

Проблемы минерального сырья



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

АКАДЕМИЯ НАУК СССР МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР

Институт минералогии, геохимии и кристаллографии
редких элементов



А. Е. ФЕРСМАН

Проблемы минерального сырья

553.042

*Памяти
академика
А.Е.ФЕРСМАНА*



Издательство «Наука» Москва 1975



Сборник посвящен памяти выдающегося советского ученого — академика А. Е. Ферсмана. В него включены статьи самого А. Е. Ферсмана, представляющие и поныне большую актуальность. Проблемы минерального сырья в целом и по отдельным их видам освещаются в статьях ряда ведущих ученых и специалистов промышленности. Эти проблемы находят отражение и во второй части сборника — воспоминания современников А. Е. Ферсмана. Сборник представляет интерес для геологов, минералогов, геохимиков, экономистов, географов, технологов, преподавателей высших учебных заведений и широкого круга читателей.

Ответственный редактор

член-корреспондент АН СССР

Л. Н. ОВЧИННИКОВ

Редколлегия

В. И. ГЕРАСИМОВСКИЙ, А. Н. ЕРЕМЕЕВ,

Б. И. КОГАН (заместитель ответственного редактора),

Н. П. ЛАВЕРОВ, В. В. ЛЯХОВИЧ, Д. А. МИНЕЕВ,

Г. А. МИРЛИН, В. П. ФЕДОРЧУК

От редколлегии

8 ноября 1973 г. исполнилось 90 лет со дня рождения выдающегося советского ученого — академика Александра Евгеньевича Ферсмана.

Научные интересы Александра Евгеньевича отличались, как известно, исключительно широким диапазоном, многообразием и разносторонностью. Он был не только геохимиком и минералогом, но и геологом в широком смысле этого понятия, географом-путешественником. Его научное наследие представляет большую ценность также для химиков, экономистов, технологов.

В своем непрестанном и неиссякаемом активном творчестве Александр Евгеньевич не ограничивался только лишь изучением явлений природы, законов образования и преобразования минеральных ассоциаций. Он систематически, неизменно и неустанно занимался претворением в жизнь этих законов, приложением их к интересам практики. Он был борцом за освоение горных богатств, за их использование на благо человека, для повышения материальной и духовной культуры.

Борьбу за превращение мертвого камня в полезные ископаемые и реальные ценности Александр Евгеньевич считал своим священным долгом, она красной линией проходила во всей его деятельности с предреволюционных лет и до конца Великой Отечественной войны. К этому призывал он и всех нас. «Не фотографировать и сухо описывать, не просто систематизировать и классифицировать, а изучать для того, чтобы овладеть и переделывать, для того, чтобы подчинять своей воле, чтобы смелой, новой, передовой творческой мыслью все полезное и бесполезное, все живительное и вредное правращать в величайшие достижения культуры и промышленности». «...Разве в области науки и жизни есть более высокая цель, чем эти задачи? Разве в этой проблеме не величайшее счастье ученого наших дней?» — вопрошал он.

Изданием этого сборника делается первая попытка осветить роль А. Е. Ферсмана в проблемах минерального сырья.

Открывается сборник двумя статьями самого Александра Евгеньевича: «В. И. Ленин и изучение производительных сил» и «Комплексное использование ископаемого сырья».

Эти статьи, написанные более 40 лет назад, теперь известны только небольшому кругу специалистов. Между тем, будучи блестящими по содержанию и по форме, они до сих пор сохраняют ценность фактических данных и яркость мыслей. Можно не сомневаться в полезности переопубликования этих работ.

Приводимые в первом — научном разделе книги статьи академиков А. П. Виноградова и А. В. Сидоренко были также ранее напечатаны в других изданиях. Они воспроизведены здесь вторично в силу их актуальности, обобщающего характера и широкой постановки задач в области наук о Земле, геологии и полезных ископаемых.

Настоящий сборник не исчерпывает, естественно, всех аспектов проблемы минерального сырья, он только частично освещает их. Поэтому вполне логичным будет продолжение этой работы.

Вторая часть сборника посвящается воспоминаниям об А. Е. Ферсмана его современников.

Тематика этих воспоминаний касается не только вопросов минерального сырья. В них освещаются разные другие стороны деятельности Александра Евгеньевича, а во многих случаях характеризуются его личные качества как ученого и человека.

Редколлегия сочла возможным и целесообразным сохранить все эти сведения, хотя формально они и не соответствуют названию и назначению сборника. Надеемся, что читатели не будут в претензии за это отступление.

Считаем своим долгом выразить сердечную благодарность авторам, отдавшим дань светлой памяти незабвенного Александра Евгеньевича Ферсмана.

Академик

А. Е. ФЕРСМАН

В. И. Ленин и изучение производительных сил СССР¹

«Взглянув материалистически на мир и человечество, они (Маркс и Энгельс) увидели, что как в основе всех явлений природы лежат причины материальные, так и развитие человеческого общества обуславливается развитием материальных, производительных сил»².

В. И. Ленин (1895 г.)

Советское государство с самого своего возникновения поставило своей важнейшей задачей научное использование производительных сил страны, выработку новых путей и новых форм использования их человеческим обществом. Известно, какие успехи здесь достигнуты, какого гигантского развития достигли производительные силы советского общества, какими темпами они продолжают развиваться.

Но проблемы, связанные с изучением и развитием производительных сил в нашей стране, далеко выходят за рамки краткой статьи.

Мне хочется остановиться на гораздо более скромной и конкретной задаче. Возьму лишь один ленинский документ, тесно связанный с работой нашей Академии, расскажу о некоторых судьбах этого документа и попытаюсь показать роль отдельных его тезисов в развитии советской науки.

В «Правде» от 4 марта 1924 г. впервые был напечатан набросок плана научно-технических работ, заключавший перечисление тех поручений, которые нужно дать Академии наук, начавшей систематическое изучение и обследование естественных производительных сил.

Этот документ был написан Лениным в апреле 1918 г., т. е. тогда, когда Владимир Ильич занимался «Очередными задачами советской власти». В этой своей работе Ленин писал, что «подъем производительности труда требует, прежде всего, обеспечения материальной основы крупной индустрии: развития производства, топлива, железа, машиностроения, химической промышленности». Отметив, что наша страна обладает наиболее важными ресурсами (железная руда, каменный уголь, нефть, торф, лес, гидроэнергия, химическое сырье и пр.), Ленин указывал, что «разработка этих естественных богатств приемами новейшей техники даст основу невиданного прогресса производительных сил»³. В тесной связи с разработкой этих очередных задач советской власти, очевидно, и стоял ленинский «Набросок плана научно-технических работ».

Рассмотрим обстановку, в которой был написан этот документ, и проследим его влияние на деятельность Академии наук СССР и на изучение производительных сил нашей страны.

¹ Доклад на Общем Собрании Академии наук СССР 28 апреля 1940 г., посвященном 70-летию со дня рождения В. И. Ленина.

Печатается по тексту статьи, опубликованной в Вестнике АН СССР, 1940, № 4—5, с. 64—73. См. также журнал «Партийное строительство», 1940, № 10, с. 23—29.

² В. И. Ленин. Соч., т. I, стр. 435.

³ В. И. Ленин. Соч., т. XXII, стр. 453.

Набросок этот в официальной форме не был сообщен Академии наук, однако как раз в апреле того же года Народный комиссариат просвещения в лице А. В. Луначарского обратился в Академию наук с письмом примерно аналогичного содержания. Дальнейшие архивные исследования, надо думать, выяснят связь между обращением Народного комиссариата и наброском В. И. Ленина, но нет никакого сомнения, что именно Владимир Ильич обратил внимание на необходимость привлечь Академию наук к разрешению ряда народнохозяйственных проблем.

В это время, в начале 1918 г. в составе Академии наук работала Комиссия естественных производительных сил, о которой и пишет Ленин в начале своего наброска. Она была организована по инициативе акад. В. И. Вернадского еще в 1915 г., но приступить к работе Комиссия могла только в 1916 г. и даже в 1917 г., после того как были получены ничтожные суммы, преимущественно от военного ведомства, для проведения ряда научно-исследовательских работ по самым острым проблемам изыскания дефицитного сырья. Этой комиссией руководили акад. В. И. Вернадский (председатель), акад. Н. С. Курнаков (по вопросам химии), акад. Н. И. Андрусов и акад. А. П. Карпинский (по геологии), акад. Б. Б. Голицын как физик и акад. А. А. Фаминцын (по биологическим проблемам). В качестве секретаря Комиссии, с самого начала ее деятельности, я близко стоял к тем проблемам, которые выдвигались как членами этой комиссии, так и рядом научных учреждений страны. Среди этих проблем уже тогда выделялась задача поисков алюминиевых руд, использования битуминозных сланцев окрестностей Ленинграда, огнеупорных глин Севера и особенно солей Кара-Богаз-Гола и других соляных озер; выдвигались проблемы обеспечения страны сырьем молибдена, никеля и вольфрама, проектировалось создание новых научно-исследовательских институтов. После обращения Ленина впервые в 1918 г. была организована Северная подкомиссия для изучения производительных сил прилегающих к Ленинграду районов.

До Октябрьской революции работа Комиссии естественных производительных сил не могла развернуться. В тяжелых условиях, в которых находилась тогда русская наука, инициатива ученых наталкивалась на бесчисленные препятствия. Даже на разработку такой исключительно важной проблемы, как освоение месторождений вольфрама, в течение двух лет Академия наук не могла получить самых ничтожных кредитов. Специалисты по изучению Кавказа установили ряд интересных месторождений шеелита на северном склоне Кавказского хребта. Министерство отказывало в отпуске 500 руб. для проверки и этих месторождений. Я вспоминаю, как на одном бурном заседании, после оглашения отказа царского правительства в отпуске кредитов, один из членов Комиссии, академик А. Н. Крылов, со свойственной ему страстностью заявил, что этому безобразию должен быть положен конец, что скоро «к черту полетит вся царская семья и великие князья, которые захватили в свои руки вольфрамовые месторождения Забайкалья» и вынул из кармана 500 руб. для обследования кавказских месторождений — «для спасения армии, погибающей от отсутствия снарядов».

Октябрьская революция создала новые условия, обеспечившие небывалый расцвет изучения производительных сил и их бурное, не сдерживаемое капиталистической собственностью, небывалое быстрое развитие. По-иному сложились и условия работы академической Комиссии. В начале

1918 г. Комиссия естественных производительных сил представила в Народный комиссариат просвещения свои труды, список рукописей и изложила ход тех работ, которые были намечены на 1918 г. Мы видим из наброска В. И. Ленина, что он был знаком с работами Комиссии, ибо в приложении к своей записке он пишет о необходимости ускорить «изо всех сил» издание материалов Комиссии естественных производительных сил.

Обращение Народного комиссариата просвещения в Академию наук привело к очень серьезным результатам. При обсуждении поставленных вопросов в комиссии и в Академии наук была составлена развернутая программа новых научных исследований. Началась организация различных отделов Комиссии, были созданы новые ячейки, из которых потом отпочковались самостоятельные научно-исследовательские институты: Оптический, Радиевый, Гос. гидрологический, Гос. керамический, Почвенный институт АН и части современного Института общей химии — Платиновый институт и Институт физико-химического анализа. Было обеспечено печатание работ Комиссии, начались исследования районов Севера. Таким образом, Ленин дал Академии наук громадный толчок и стимул для дальнейшей работы.

Попытаемся проанализировать «Набросок плана научно-технических работ», написанный В. И. Лениным почти одновременно с его статьей «Очередные задачи советской власти», и, очевидно, в связи с этой статьей. Попытаемся вкратце рассмотреть те проблемы, которые так сжато и четко были намечены великим Лениным и которые, в сущности, предопределили дальнейшие пути развития советской науки в области изучения производительных сил в нашей стране и их использования.

Приведу прежде всего полный текст ленинского «Наброска»: «Академии наук, начавшей систематическое изучение и обследование естественных производительных сил России, следует немедленно дать от В. С. Н. Х. поручение образовать ряд комиссий из специалистов для возможного более быстрого составления плана реорганизации промышленности и экономического подъема России. В этот план должно входить:

Рациональное размещение промышленности в России с точки зрения близости сырья и возможности наименьшей потери труда при переходе от обработки сырья ко всем последовательным стадиям обработки полуфабрикатов вплоть до получения готового продукта.

Рациональное с точки зрения новейшей наиболее крупной промышленности и особенно трестов слияние и сосредоточение производства в немногих крупнейших предприятиях.

Наибольшее обеспечение теперешней Российской Советской республики (без Украины и без занятых немцами областей) возможности самостоятельно снабдить себя всеми главнейшими видами сырья и промышленности.

Обращение особого внимания на электрификацию промышленности и транспорта и применение электричества к земледелию. Использование непервоклассных сортов топлива (торф, уголь худших сортов) для получения электрической энергии с наименьшими затратами на добычу и перевоз горючего.

Водные силы и ветряные двигатели вообще в применении к земледелию»¹.

¹ В. И. Ленин. Соч., т. XXII, стр. 434.

Рассмотрим эти предложения по следующим отдельным пунктам, связав их с положениями, высказанными тогда же Лениным в «Очередных задачах советской власти» по этим вопросам:

1. Общие проблемы самостоятельного снабжения страны всеми главными видами сырья и промышленности.

2. Рациональное размещение промышленности с точки зрения близости сырья к районам его потребления и переработки, связанное с изучением производительных сил отдельных территорий Союза, их освоением и хозяйственным районированием.

3. Широкое применение энергии в различных отраслях промышленности и, что очень важно, с использованием местных непервоклассных сортов топлива.

4. В тесной связи с этим находится и проблема, более детально разработанная Лениным в «Очередных задачах советской власти», — это проблема использования всех видов сырья для нужд народного хозяйства с применением новейшей техники.

5. Проблема воды и водных сил, а также ветряных двигателей как одна из задач народного хозяйства.

6. Проблема общего подъема техники и науки на основе изучения и освещения производительных сил и их государственного учета.

Уже из этого перечисления видно, что указанные шесть пунктов охватывают самые острые и самые важные проблемы народного хозяйства и науки в нашей стране¹.

Попытаемся вкратце рассмотреть каждое из приведенных положений и указать, какую роль в разрешении этих проблем сыграло обращение В. И. Ленина в Академию наук.

I

Необходимость обеспечения Советской республики возможностью самостоятельно снабжать себя всеми главнейшими видами сырья и промышленности теперь настолько очевидна и общепризнана, настолько эта идея лежит в основе развития всего нашего народного хозяйства, что теперь даже трудно оценить всю смелость и все значение этой мысли, высказанной в 1918 г., когда она многим казалась недостижимой утопией. Ведь в дореволюционное время хозяйство России опиралось в подавляющей части на чужеземное сырье и чужеземные орудия производства. Сейчас звучит анекдотом такой факт, что мостовая около Большого театра в Москве была замощена кубиками гранита, полученного через Ригу из Швеции, что простая глина для стекольных горшков, имевших применение в довольно уже старой стекольной промышленности России, ввозилась из Германии. Даже такой распространеннейший минерал нашего юга, как простой кремень, требующийся для шаровых мельниц, выписывался из Дании.

В 1914 г., в начале мировой войны была составлена табличка химических элементов, которые использовались промышленностью царской Рос-

¹ В своем докладе я не касаюсь высказываний В. И. Ленина об общих теоретических проблемах науки.

сии. Оказалось, что выявленные запасы страны касались только 14 элементов, причем сколько-нибудь достаточные запасы имелись только в отношении четырех элементов и слабые запасы в отношении шести элементов. Все остальное было неизвестно и неизведано.

Таким образом, старая Россия обладала совершенно ничтожным количеством доступного для использования минерального сырья.

В 1916 г. акад. В. И. Вернадский подвел итоги наших знаний в области минеральных ресурсов и отметил, что запасы сырья известны для 30 элементов, хотя не все они используются. При этом он установил, что «вообще мы почти не встречаем сейчас таких химических элементов, нахождение которых в удобной для разработки форме не было бы возможно, т. е. не заслуживало бы поисков с надеждой на успех». При этом он подчеркивал, что с несколькими элементами дело обстоит менее благоприятно, хотя и по отношению к ним «всякий, знакомый с геологическими и технологическими работами, может дать ряд ясных указаний на то, что дело не в отсутствии элементов, а в нашем недостаточном знании».

Список этих наименее благоприятных элементов в 1916 г. был следующий: гелий, калий, никель и кобальт.

Таким образом, эти наименее благоприятные в 1916 г. объекты поисков сейчас уже превратились в могучее орудие развития народного хозяйства и укрепления обороны нашей страны.

Уже к 1932 г. крупные запасы оказываются в наличии для 20 элементов, достаточные для 27, неизвестны запасы только для 6, число используемых элементов достигает 60. Из списка дефицитных элементов исключается калий в связи с открытыми грандиозными запасами Соликамска, из дефицитности выходят никель, кобальт, радиоактивные элементы. Остается лишь очень немного пустых мест в списке менделеевской таблицы. К ним долгое время относились бор и алмаз. Открытие крупных борных месторождений Казахстана полностью разрешило задачу бора, и сейчас, когда перед этим элементом открывается грандиозное будущее, когда из элемента химической и фармацевтической промышленности он превращается в одно из ведущих удобрений, — мы получили крупнейшее месторождение этого вещества и можем полностью отказаться от привоза борной кислоты из Италии и боратов с берегов Мраморного моря.

И вот сейчас, к 1940 г., мы стоим на пороге полного подчинения нам всех элементов менделеевской таблицы. Не дается нам еще углерод в виде алмаза, но уже с успехом работают полевые партии над поисками этого самоцвета на Урале и Саянах, уже намечается ряд теоретических предпосылок для искусственного воспроизведения алмаза, и новые работы, при всей смелости их постановки, намечают те условия температуры и давления, правда, еще не достигнутые современной техникой, которые отвечают полям равновесия этого замечательного минерала природы. С успехом идет и получение его заменителя — карбида бора.

Сейчас речь идет уже не об отсутствии или дефицитности того или иного элемента, а о количественных запасах, качественной и технологической характеристике, а о более выгодном географическом распределении месторождений. За открытием месторождений следует их технологическое исследование, за исследованием развивается промышленное использование.

Задача еще не решена до конца, впереди еще огромная исследовательская работа, но путь, намеченный в этом направлении Лениным, ясен и открыт.

В вышеприведенных примерах я остановился лишь на объектах мнерального мира, между тем огромные завоевания происходят и в области сырья растительного и животного. Не мне рисовать достаточно авторитетно картину той громадной победы, которая достигается осеврением земледелия и проникновением сельскохозяйственных культур далеко за Полярный круг; не мне говорить об успехах тех новых подходов к стадийности развития, позволивших вводить новые сорта и новые виды в сельское хозяйство; не мне говорить об исключительных успехах в использовании наших субтропиков, где постепенно осваиваются те редкие тропические и субтропические виды сырья, которые столь необходимы для получения масел и фармацевтических препаратов и пищевых продуктов. Наряду с этим успехи химии в области каучука, получения новых синтетических продуктов, выдвинутая Академией наук замена природного хирина акрихином — все это показывает, что и здесь достигнуты очень крупные научные и практические результаты.

II

Рациональное размещение промышленности в России с точки зрения близости сырья и возможности наименьшей потери труда при переходе от обработки сырья ко всем последовательным стадиям обработки полуфабрикатов вплоть до получения готового продукта. Эта исключительной важности проблема была прекрасно разработана на XVIII съезде партии. В ее основу положена идея рационального районирования нашей страны на основе природных ресурсов и хозяйственных возможностей каждой республики, края и области. Из нее вытекает задача детального, углубленного изучения всех районов нашего Союза с целью выявления местных богатств для правильного и равномерного распределения промышленности.

За последние 20 лет перед нами прошла грандиозная картина создания новой географии нашего Союза.

Я не буду напоминать грандиозные картины реорганизации нашей страны на новых, предудказанных Лениным основах, я лишь отмечу, что большие территории нашего Союза только за эти годы стали превращаться в настоящие промышленные и культурные центры страны.

Мы часто забываем, что весь Южный Урал с его старой купеческой Челябиной превратился в крупнейший промышленный центр только в самые последние годы. Этот район вырос на наших глазах: и Магнитогорск, и Орские никелевые и металлургические заводы и весь комплекс замечательных предприятий Челябинска начиная с тракторного завода и кончая заводами ферросплавов и цинковых продуктов.

Мы часто забываем, что за эти годы старые кустарные варницы Соликамска превратились в мировой калийный рудник, создан Березниковский комбинат с его сложным комплексом химических производств.

На наших глазах идет рождение «Второго Баку», т. е. полная реорганизация хозяйства западных склонов Урала с новыми перспективами нефтяного хозяйства и мировыми запасами калийных солей. Имена ака-

демиков Н. С. Курнакова и И. М. Губкина тесно связаны с этими двумя крупнейшими победами ленинской хозяйственной политики. На наших глазах при особой инициативе и энергии Академии наук к новой жизни пробуждаются естественные ресурсы песчаных пространств Средней Азии. Только в 1925 г. открыто было экономическое значение Каракумских песков и, начиная с этого момента, наступление на пустыню привело не только к созданию там крупных заводов серы, но к новой культуре, пришедшей на смену вековому невежеству и дикости. Там, где на карте были белые пятна, там стали возникать советские формы хозяйства: уже крупные овцеводческие и верблюдоводческие совхозы используют песчаные пространства под поля, уже в маленьком домике Репетекской исследовательской станции рождаются крупнейшие проблемы овладения песками и превращения их в производительные районы страны.

Также при непосредственном участии Академии наук на северо-западе нашего Союза к новой промышленной жизни возродился Кольский край. Инициативой и энергией С. М. Кирова этот край превратился за последние 10 лет в богатейший индустриальный центр нашего Союза. Это лишь первая страница в овладении теми 12 полезными ископаемыми, запасы которых, являясь мировыми, превратят Мурманскую область в крупнейший источник не только фосфорных удобрений, не только цветных металлов, алюминия, никеля и меди, но и в источник редчайших металлов, в мирового поставщика огнеупорных веществ самых высоких марок.

И все же, как ни грандиозна картина этой новой географии, от которой нельзя оторваться, когда мысленно охватываешь территорию нашего Союза, этот завет Ленина далеко еще не выполнен до конца. Сколько еще предстоит грандиозной исследовательской работы в восточном крае, где на пространствах в полмиллиона квадратных километров таятся мировые богатства золота и цветных металлов! Весь северо-восток Сибири еще медленно закрашивается красками на схематических картах наших геосъемок. Еще не изведаны центральные части Европейской равнины, и только новые большие изыскания Академии наук за последние годы начинают путем геофизических разведок проливать свет на таинственные глубины, лежащие под Москвой.

О том, как грандиозны еще не исследованные области нашего Севера, о которых так красочно говорил В. И. Ленин в одном из своих выступлений, нам, специальной бригаде Академии наук, пришлось убедиться месяц тому назад, когда мы на автомобиле проехали тысячи километров по необозримым пространствам республики Коми. Сотни и сотни километров снежного тракта несут вас по бесконечным просторам лесов, болот и речных долин. Только изредка дымок поднимается среди синевы северных лесов. Мы охватили лишь небольшую часть той большой магистрали, которая через 2—3 года свяжет Ледовитый океан с Москвой через Ухту, Тиман, Печору, где лежат новые богатейшие районы угля, нефти, и внесет новую культурную жизнь в этот край, охватывающий сотни тысяч квадратных километров.

III

Электрификация промышленности и транспорта, применение электричества к земледелию, использование непервоклассных сортов топлива с наименьшей затратой средств на их перевозку, применение водных сил и ветряных двигателей — в этих предложениях дана полная картина развертывания всей современной советской энергетики, здесь схема той «электрической утопии», о которой говорил Уэллс в 1920 г., когда он после беседы с Лениным с удивлением рассказывал о плане электрификации «кремлевского мечтателя». «Приезжайте опять в Россию через 10 лет и посмотрите, что мы за это время сделали», — сказал Ленин Уэллсу. Действительно, наша страна не только создает смелые планы и верит в них, но она превращает гениальные идеи в реальную действительность. Смелый план ГОЭЛРО, созданный по инициативе В. И. Ленина, оказался перевыполненным больше чем в три раза.

За последние годы в заседаниях Президиума Академии наук проходили отдельные странички этой борьбы за энергию: вопросы использования малых рек, проблемы пылевидного топлива, использование битуминозных сланцев с новой рациональной постановкой печей — все это лишь небольшая часть громадной работы по электрификации СССР.

Я не хочу, однако, сказать, что заветы Ленина полностью выполнены научными учреждениями. Если вертятся турбины Днепрогэса, Нивы и Туломы, развивается строительство величайшего в мире Куйбышевского гидроузла, если с успехом осуществляется ленинская идея подземной газификации, если во всей стране работают сотни новых электростанций и «лампочка Ильича» превратилась в родное, всем знакомое слово, то это все же далеко не значит, что разрешены все основные проблемы энергетики. Проблема малых рек только поставлена, но не осуществлена. Старые ветряные мельницы до сего времени не заменены еще в новой колхозной деревне, но новое крыло, построенное по законам аэродинамики, приходит уже на смену старым кустарным крыльям деревенских ветряных мельниц. Новая маленькая турбина должна заменить скрипящее, медленно вращающееся колесо старой крестьянской водяной мельницы. Идет борьба за новые идеи и новые принципы в народном хозяйстве, и много сил было вложено Академией наук и ее учреждениями, чтобы поднять проблемы энергетики на более высокий научный и технический уровень. Но впереди еще гораздо больше новых проблем и задач.

IV

Рациональное использование низкосортного и местного сырья. К вопросам использования вещества Владимир Ильич возвращается неоднократно, причем в отдельных его указаниях постоянно отмечается необходимость форсирования новых технологических приемов и использования новых видов сырья. Уже самая идея подземной газификации является прекрасным примером глубокого понимания Лениным новейших идей техники.

Нужно сказать, что в этом отношении нашей страной достигнуты очень крупные успехи. Мне трудно даже перечислить достижения научно-технической мысли в этой области, я могу лишь кратко остановиться на тех принципиально новых установках, которые были выдвинуты за последние годы, в частности работами Академии наук.

Первый и основной вопрос — это переход к комплексному использованию сырья, к полному превращению в практические ценности всей горной массы, извлекаемой с таким трудом из недр земли. Утилизация всех отходов, использование мельчайших примесей, комбинирование технологического, горно-технического и химического, — таковы те принципы, которые лежат в основе советского хозяйства. Мы должны сказать, что здесь еще непочатый край огромной творческой научной работы. Здесь не надо ни общих слов, ни новых установок, нужна конкретная работа над каждым вопросом, над каждой деталью технологического процесса.

В нашей стране проведена огромная работа по овладению новыми видами сырья и форсированию использования старых. Мы уже привыкли сейчас к вновь выявленным миллиардным запасам калия, железа и торфа, мы свыклились с тем, что за годы советской власти запасы угля увеличены в 7 раз, нефти — в 10 раз, железа — в 133 раза, меди — в 32 раза, цинка — в 12 раз. Но и здесь мы должны обратить глубокое внимание на самое важное в процессе овладения веществом — на промышленное использование новых видов сырья, например, кианита на Кольском севере, палладия в сибирских рудах, андалузита в Казахстане, и создание новых подходов и новых путей в использовании специфических полезных ископаемых нашей страны — апатитов и нефелинов, титаномагнетитов и лопаритов, туюмунитов и кнопитов.

Однако из всего нового, что вошло в нашу практику, самое главное и принципиально важное — это смелые технологические подходы, опрокидывающие старые предельные нормы добычи полезных ископаемых и открывающие совершенно новые перспективы в ряде областей.

Новая технология решает задачу использования рассеянных металлов — одну из важнейших проблем современной тонкой химии, металлургии, электропромышленности и оборонной техники. Количества, выражаемые ничтожными долями миллионных частей процента, делаются реальными в овладении радием и рением, теллуром и галлием.

V

Переходим к пятому положению, к которому В. И. Ленин неоднократно возвращается в своих работах и выступлениях. (Речь идет о воде.) Здесь мы имеем одну из сложнейших и труднейших проблем как хозяйственного, так и технологического характера. Вода относится к самым важным ресурсам страны. Вода — не только транспортная и энергетическая сила, она — промышленное сырье, полезное ископаемое, избыток и недостаток которого решает судьбу сельского хозяйства. И наша страна с ее 60 тыс. километров береговой линии, с величайшими внутренними морями, с величайшими в мире реками, прорезанная поясом в десятки тысяч соляных озер, неизбежно должна явиться застрельщиком в постановке сложнейших и важнейших методов исследования этой силы.

Толчок в этом направлении был дан только ленинскими указаниями. В рамках той же Комиссии естественных производительных сил еще тогда, в 1918 г., был основан Гидрологический отдел, превратившийся потом в Государственный гидрологический институт; сейчас создан в Главгеологии Гидрогеологический институт, а в Академии наук имеется ряд ячеек, связанных с изучением и использованием воды: комиссия

минеральных источников, ряд учреждений по изучению озер, Водохозяинская комиссия технического отделения и другие.

Нам пришлось в Академии наук за последний год много поработать над проблемой чистоты питьевой воды, в частности, для Москвы. Мы убедились, насколько сложна и тонка эта проблема. В блестящих работах школы академика Н. Д. Зелинского выяснилось, что вещества, обуславливающие те или иные отрицательные стороны воды — ее запах или вкус, содержатся в количествах порядка минус 10 в тринадцатой или даже порядка пятнадцатой степени. Эти количества не поддаются никаким нормальным методам химических исследований, для них реактивом являются только новые физические методы, например, флюоресценция, начинающая заменять тончайшие органы человеческого восприятия — обоняние и вкусовые ощущения.

Я не касаюсь вопросов энергетического порядка, связанных с водой, начиная с проблемы Куйбышевского гидроузла и кончая мельчайшими местными мельницами на малых реках.

VI

Перехожу к последнему пункту — к науке и технике в деле использования производительных сил. О роли техники Ленин говорил, в частности, в 1901 г., когда он призывал экономистов смотреть вперед, в сторону прогресса техники, в 1913 г. в своей замечательной статье «Одна из величайших побед техники»; в 1918 г. в своих «Очередных задачах советской власти» он возвращался к роли прогресса техники, «дающего невиданный размах развитию производительных сил».

Вопросы планомерного и систематического изучения природных богатств нашей страны получили мощный толчок в Академии после обращения В. И. Ленина в Академию наук в апреле 1918 г. Это была новая, более углубленная постановка проблемы, коренным образом повлиявшая на дальнейшие судьбы научного исследования и на реорганизацию Академии наук.

Не раз в своей сложной и извилистой двухсотлетней истории Академия наук становилась на путь изучения нашей страны и ее производительных сил. В блестящей академической речи акад. Гильденштедт в 1776 г. говорил о необходимости «узнавать свой край, определить свои богатства, использовать их взамен чужеземных богатств, искать уголья под Петербургом и в южных степях, посещать свои родные ключи вместо чужеземных минеральных вод, ловить свою собственную каспийскую сельдьку».

Конец XVIII в. ознаменовался историческими путешествиями по нашей стране, толчок которым был дан Михайлой Ломоносовым. В блестящих работах Палласа, Гмелина, Лепехина и других Академия наук вписала тогда новые страницы в понимание и изучение нашей страны и ее природных богатств. Затем только в отдельные периоды намечались попытки вернуться к этим блестящим страницам.

Лишь 1918—1919 гг. разбудили Академию наук к новым творческим порывам. По указаниям Владимира Ильича были быстро напечатаны лежавшие в Комиссии естественных производительных сил материалы о природных богатствах нашей страны. Отпущены были значительные кредиты, и Академия начала развертывать свою экспедиционную работу.

Сейчас наступил новый подъем, когда Академия должна во всей глубине и широте поставить проблему изучения производительных сил, реорганизовать свои экспедиции на основе новых теоретических данных, развить и укрепить свои филиалы и базы. Мы не должны забывать, что изучение производительных сил не есть изучение готовых, определенных раз навсегда природных объектов. Производительные силы создаются по мере роста культуры и техники. Силы природы превращаются человеческим трудом, его технической мыслью и творчеством в производительные силы. Нет ничего более заманчивого в научной работе, как именно такой творческий подход к изучению окружающей природы. Не фотографировать и сухо описывать, не просто систематизировать и классифицировать, а изучать для того, чтобы овладеть и переработать, для того, чтобы подчинять своей воле, чтобы смелой, новой, передовой творческой мыслью и делом превращать все элементы и силы природы в величайшие достижения культуры и промышленности.

Разве в области науки и жизни есть более высокая цель, чем эти задачи? Разве в этой проблеме не величайшее счастье ученого наших дней? И к этим целям Академия наук должна идти новыми, смелыми порывами, идя по пути, предуказанному Лениным.

Академик

А. Е. ФЕРСМАН

Комплексное использование ископаемого сырья¹

Введение

Заглавие моего доклада по первому впечатлению чисто техническое и специальное, не отвечающее широте тех проблем, которые положены в основу Конференции Госплана СССР. А между тем нет более широких и важных вопросов, чем вопрос о комплексном характере отдельных отраслей хозяйства. Больше того, я думаю, что именно в нем лежит ведущее начало, один из жизненных нервов новых форм социалистической промышленности, и для меня несомненно, что пути ее реконструкции невозможны без комбинированного комплексного подхода в самых разнообразных формах этого понятия.

Само понятие комбинированного хозяйства, как таковое, лежит вне задач моего доклада. Я прекрасно понимаю его социально-экономическую важность и сложность и необходимость его техно-экономического анализа, но хочу подчеркнуть, что основа его лежит не во внешнем комбинировании или суммировании разнородных производств, объединенных лишь определенной территорией или в лучшем случае общим силовым и энергетическим хозяйством, а в глубоком переплетении производственных процессов, обуславливающих полное использование всей горной массы, добываемой из земли, при максимальном сужении радиуса использования сырых материалов.

С этой точки зрения для меня не являются пока комбинатами такие предприятия, например Подмосковья, где имеются разнородные производства, правда, на одном энергетическом стержне, но где само используемое сырье пока не объединено ни самими методами обработки, ни использованием его в едином технологическом процессе. Но они могут и должны сделаться такими комбинатами, когда добьются технологического использования в едином глубоком промышленном подходе, когда будут использовать весь комплекс того сырья, на котором они сидят, — уголь, его разнообразные отходы, колчедан, глины, известняки и т. д.²

... Идея комбината в наиболее полном смысле этого понятия представляет огромные трудности и требует для проведения в жизнь огром-

¹ Печатается по тексту брошюры «Комплексное использование ископаемого сырья» (Л., 1932), изданной в виде доклада А. Е. Ферсмана на предстоявшей в 1932 г. Конференции Госплана СССР по размещению производительных сил во 2-й пятилетке, с некоторыми сокращениями и редакционными изменениями. (Прим. ред.)

² О злободневности и в настоящее время этих задач, поставленных А. Е. Ферсманом, свидетельствует статья И. Нехорошего, П. Романова и О. Белова о комплексном использовании подмосковных углей, напечатанная в газете «Социалистическая индустрия» за 14/XI 1974 г.; см. также статью Б. И. Когана о комплексной переработке золы подмосковных углей на глинозем и цемент (Цветные металлы, 1940, № 9). (Прим. ред.)

ной исследовательской и притом тоже комбинированной и комплексной работы. Я постараюсь проанализировать ее на ряде конкретных примеров, сначала наметив те основные области ископаемых богатств и их сочетания, которые по самой природе приводят к необходимости комплексного их использования, а затем остановлюсь на отдельных конкретных примерах комбинированных предприятий Союза.

При этом грубо мы можем наметить следующие основные типы горно-промышленного комбинирования.

1. Закономерное сочетание полезных ископаемых в одном районе, но не в одном и том же рудном теле, — комбинирование горно-промышленное (как пример, пегматиты Карелии).

2. Закономерное сочетание нескольких полезных веществ в одном и том же минеральном теле — горно-химическое комбинирование (как пример, титаномагнетиты Урала и Хибин).

3. Комбинированное использование различных ископаемых тел определенного района — территориальное горно-химическое комбинирование (как пример, Хибинский комплекс).

4. Комбинированное использование различных производительных сил данной территории — территориально-промышленный комбинат (как пример, Березники, Ангарстрой).

5. Межрайонное промышленное комбинированное (как пример, Урало-Кузбасс).

Анализ отдельных примеров

Мы, геохимики, считаем, что сочетания полезных ископаемых вовсе не случайны, а подчинены совершенно определенным законам геохимии, и потому на какой-либо определенной территории мы не встречаемся с самыми разнообразными сочетаниями веществ, а наоборот, имеем ряд, и даже не очень длинный, типических случаев совместного нахождения металлов и других полезных ископаемых. Таким образом, сами законы геохимии нам подсказывают промышленные возможности и говорят о так называемых типических сочетаниях нерудных и рудных тел. Эти постоянные природные сочетания позволяют говорить и о некоторых постоянных чертах промышленных комбинатов, которые с небольшими изменениями встречаются в различных местностях, но в общем со сходными чертами.

Как пример мы можем привести совместное нахождение следующих веществ:

1. Олово, вольфрам, висмут, литий (иногда бериллий).
2. Золото, олово, монацит, шеелит и др.
3. Калий, магний, бром, хлор.
4. Титан, железо, ванадий.
5. Уголь, колчедан, огнеупорные глины и другие.

Мы, например, знаем, что в гранитных пегматитах совместно встречаются: полевой шпат, чистый кварц, слюда, драгоценные камни, минералы некоторых редких металлов, как, например, бериллия и лития. Этими полезными ископаемыми определяется весьма обычный комплекс совместной их добычи и использования. Больше того, мы хорошо знаем, что нужно искать в таком природном комплексе, и, если есть слюда, то

должны вместе с ней искать уран и радий, а если есть литий, то обязательно должно найтись олово и соединения вступающих в промышленность редких металлов — рубидия и особенно цезия.

Комплексное использование всей горной массы в данном случае диктуется самими законами геохимии и не удивительно, если в Южной Дакоте в одной пегматитовой жиле одновременно добывается до 15 полезных ископаемых.

Возьмем другой пример, гораздо более интересный и гораздо более важный — *проблему редких металлов* и, в частности, проблему олова, выдвинутую в особенности на XVII Партконференции.

Редкие элементы, и в частности олово, висмут, вольфрам, отчасти молибден, тантал и редкие земли, по законам геохимии, о которых я говорил выше, связаны общим происхождением из последних выжимок гранитных пород. Они очень тесно переплетаются с золотом, и потому обычно месторождения этих металлов, а также олова, вольфрама, висмута связаны с одной и той же областью гранитных массивов, а при разрушении последних попадают вместе в черные магнитные шлихи, из которых у нас обычно извлекают россыпное золото. Золотая промышленность на старых путях своей работы мало заботилась о природе этих черных шлихов, а между тем в некоторых районах эти шлихи содержат оловянный камень, источник олова... Но в золотых шлихах не одно олово должно привлекать наше внимание, с ним вместе находятся висмут и монацит, в ряде мест наблюдается очень высокое содержание вольфрамовых руд — шеелита и т. д. Шлиховой материал таких золотосодержащих полей может представить ценный источник сырья для ряда отраслей промышленности редких металлов, но до сих пор эти шлихи мало изучались комплексно, не собирались и обычно терялись после добычи золота. Одна из задач нашей золотой промышленности заключается в том, чтобы технически и практически использовать целиком все полезные ископаемые, входящие в состав шлихов.

Но эта проблема касается не только россыпей, у нас в Забайкалье есть одно месторождение, которое по своей комплексности представляет совершенно исключительный случай: я говорю о Шерловой Горе... Удивительная судьба этого месторождения, известного с 1768 г.: сначала его разведывал трест «Самоцветы» исключительно на драгоценные камни, потом стал разведывать на вольфрам бывший трест Редзлем, теперь разведывают на олово, и все на той же площади в 2 км²! Но никто не разведывает всего комплекса с учетом всех полезных ископаемых этого интереснейшего месторождения Союза.

Переходя от более частных проблем к более общим и более крупным по своему народнохозяйственному значению, я беру в качестве третьего примера один из больших вопросов последнего времени, из-за которого ломались копыя и в которых противостояли не две партии, а целых два различных мировоззрения технической мысли. Я говорю о борьбе между химией и металлургией в области использования *комплексных сульфидных руд*. Как химик, очевидно, я не могу беспристрастно осветить эту проблему, оставшуюся практически нерешенной¹, но для меня как для защитника комплексного метода нет другого пути при использовании

¹ Сейчас эта проблема в значительной степени решена. (Прим. ред.)

сульфидов, как использования полностью, целиком — цветного металла, железа в огарке, серы, селена, теллура и всех остальных примесей. Линия проф. Юшкевича в этом вопросе есть линия геохимика, не допускающего расточения природных богатств ради извлечения только одного, хотя бы и очень ценного продукта.

Перед нами грандиозная задача реорганизации цветной металлургии Урала, Казахстана и Средней Азии с использованием газовых отходов, с переработкой хвостов флотационных концентратов на серную кислоту и обработкой огарка, вероятно, хлорирующим обжигом на прекрасную железную руду...

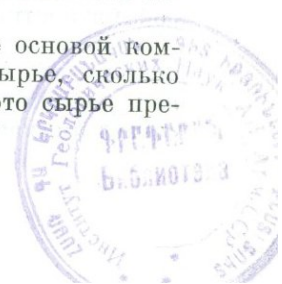
Но для окончательного разрешения вопроса о настоящем комплексном использовании сульфидных руд необходимо скорее изжить практику, когда сернистые газы заводов улетали на воздух, растрачивая не только ценное сырье, но и заражая окружающую местность, а хвосты флотационных фабрик бесцельно «сгорали» в отвалах.

Совершенно новая область и, может быть, несколько неожиданная намечается в старой и, казалось бы, совершенно установившейся отрасли нашей промышленности — в нефтяной. Газовое хозяйство уже сделалось в ряде наших крупных нефтяных районов совершенно полноправным членом самой нефти (Баку, Грозный и др.), хотя далеко еще не все промыслы поставили у себя эту задачу.

Но вместе с газом новый источник полезных веществ начинает намечаться в водах как самих нефтяных источников, так и в разнообразных водных струях нефтеносных районов. Сначала это были только проблемы иода с их значительными запасами в Бьюкшорском районе, но потом к ним прибавился бром, ряд галоидных солей калия, кальция, стронция, бария и магния, а также других металлов. Если в одном месте нефтяные рассолы содержат эти элементы на границе рентабельности их эксплуатации, то в других или в тех же, но при комплексном использовании (Берекей, Нефтечала на берегу Каспийского моря и т. д.) мы с несомненностью подойдем к разрешению блестящей проблемы в крупном заводском масштабе, которая должна дать значительные количества иода, брома, разнообразных хлористых солей, в особенности ценные соли хлористого бария и хлористого калия. Если мы еще к этому присоединим нахождение в некоторых из районов благородных газов, то этим самым намечается совершенно исключительный комплекс полезных веществ, который впервые открыт исследовательскими работами нашего Союза. И если он не всюду полностью выдерживается, то все же в общем намечает собой необычайно интересные промышленные предприятия, в которых одновременно будут добываться: нефть, углеводородные газы, соляные рассолы с бромом, иодом и т. д. Мы ждем от Кавказа практического решения этой технологической задачи.

Таковы отдельные примеры, позволяющие на основе комбинирования природного сырья, на основе закономерных природных ассоциаций химических элементов строить комбинированные производства, в которых само сочетание элементов подсказывает и технические пути их совместного использования.

Я перехожу теперь ко второй части моих примеров, где основой комбината является не столько само совместно находимое сырье, сколько *комбинирование технологических процессов*, позволяющее это сырье превратить в наиболее высокие промышленные ценности.



Конечно, на первом месте по своему ведущему значению совершенно необходимо поставить *проблему угля*. Нет никакого сомнения, что уголь в целом ряде своих сортов, так же как и нефть, является значительно более ценным как сырье химическое, чем как топливо, и что правильное его использование во что бы то ни стало требует особого типа комбинированного химико-энергетического хозяйства. Я не буду останавливаться на этом вопросе, он получил достаточно яркое освещение на ряде специальных конференций. Но несомненно, что именно на новых путях продуманного химического использования угля лежит одна из крупнейших и важнейших проблем всего нашего хозяйства. Трудно найти во всей промышленности Союза другую область, которая бы более красочно очередила металл и угля, кокса и газа, энергетики и химии, металлических элементов и цементов, синтетических красителей и производных азота, азотной кислоты и удобрений и т. д. Этот вопрос в сущности и технологически и экономически совершенно ясен, но несмотря на это он все-таки еще очень далек от реальной постановки на сегодняшний день.

Это область, где должна произойти решительная ломка старых навыков и традиций, и не в перспективном плане топливного хозяйства, а в плане завтрашнего дня должна быть поставлена химия, столь часто забываемая как важнейшая часть этой энергетической и металлургической проблемы!

Хорошим примером технологического комбинирования является заканчиваемый ныне цикл интереснейших работ Института прикладной минералогии над титаномагнетитами Урала. Их значительные запасы на западном, отчасти и восточном склонах хребта, содержание в них от 5 до 15% окиси титана, постоянное нахождение в них окиси ванадия, в среднем около 0,5%, делает их интереснейшим сырьем для комбинированного процесса. Перевод титана в шлак при доменном процессе на соляном коксе, перевод ванадия в шлак с его концентрированием до 7% при мартеновском процессе позволяет наметить один из блестящих путей для получения высокосортного чугуна, стали, ванадиевого концентрата и титанистого шлака, который может быть переработан в окись титана. Но этот случай — одна из интереснейших проблем Урала — наталкивается на необычайные трудности в своем проведении. С одной стороны, черный металл и его организации тянут в свою сторону, цветная металлургия в свою, и в сущности эта борьба оттягивает дело с опытной заводской установкой.

А между тем мы должны учесть, что при правильном проектировании Кусинского металлургического завода одновременно с производством чугуна и стали можно получить пятиокись ванадия и окись титана для производства титановых белил.

Очень интересным по своей комплексности вырисовывается Березниковский комбинат, который может служить примером технологического комбинирования нескольких сырьевых комплексов, прежде всего *соляного, фосфорного и угольного*. Вот как характеризует этот комбинат проект второй пятилетки Урала: «Особенностью плана развития промышленности Урала является организация межотраслевого комбинированного производства, что объясняется территориальным размещением сырьевых баз; как, например, в группе заводов Соликамско-Березниковского района — синтез аммиака на основе использования кизеловских углей, остатки обо-

гащения которых дают пирит для серной кислоты, с одной стороны, а с другой — дают низкое по стоимости энергетическое топливо и возможность получения дешевой энергии; производство калиевых солей, хлора, брома, соляной кислоты, окиси магния и металлургического магния объединяется с Березниковским содовым и туковым производством и Вишерской лесохимией и металлургией; при проработке карналлитов в качестве отхода получается магнезит, который с отходами лесопиления является исходным сырьем для термолитового производства».

Этот интереснейший передел производств ведет к значительному удешевлению себестоимости продукции.

Наконец, последний пример — Хибинь как случай наиболее углубленного и продуманного комбинированного производства в области горнохимической промышленности. Все потребности Хибинского комбината ставятся под углом зрения комбинированного хозяйства, и его будущее развитие мыслится лишь под углом зрения основных идей использования всей горной массы, минимум дальнепривозного сырья, полное отсутствие отбросов и получение высокопроцентного ценностного конечного продукта, который может выдержать перевозку до Одессы и Тифлиса¹, до Иркутска и Минска...

Но задумаемся в нашу систему: мы имеем в ней два основных материала — апатит и нефелин. Чтобы сделать апатит полезным сырьем для удобрений, надо отнять у него избыточную известь, чтобы извлечь из нефелина его алюминий, надо его обработать известью... и во всей глубине встает задача технологической увязки этих двух процессов: надо суметь отнять известь из одного и придать ее другому. Теоретические пути в этом направлении уже намечаются, но практического решения пока нет. Мы ставим эту задачу как боевую задачу нашей работы, так как ее разрешение замкнет весь грандиозный цикл химических процессов в самом себе и даст высокую продукцию нашему хозяйству, не загружая транспорта.

Подчеркивая эту задачу, я вместе с тем хочу ее отметить как пример того, что промышленное комбинирование ставит перед научно-технической мыслью новые проблемы и толкает ее на новые теоретические и практические пути.

Выводы

Я подхожу к некоторым выводам: комбинированное использование полезных ископаемых не есть арифметическое сложение отдельных различных производств — это *тесно-экономическая задача огромного значения, это хозяйственно-организующий принцип отдельных территорий Союза*. Мы еще далеко не овладели методом решений этой задачи, хотя много говорим и принципиально ей сочувствуем. Но мы не умеем и не проводим в жизнь, особенно тогда, когда сталкиваются интересы различных ведомств, различных хозяйственных организаций. Здесь нередко живое дело уступает ведомственной неувязке и случайной победе более сильного.

¹ С 1936 г. — Тбилиси.

Методы комбинирования мы должны прежде всего внедрить в разведку, где нельзя искать отдельные ископаемые независимо друг от друга, например, слюду или гранат, а надо, оценивая геохимическую обстановку данного района, одновременно искать и то, и другое. Надо территориально охватывать проблему полезных ископаемых, и только таким путем, ставя поисковые и разведочные работы, мы сможем прийти к желательным результатам.

Мы должны внедрить методы комбинирования в эксплуатацию с целью полного извлечения всей горной массы, полного использования золотых шлихов и всех сульфидных комплексов. В целом ряде случаев надо идти на использование боковых пород, применять отходы обогащательных фабрик и т. д.

Наконец, надо вложить идею комбинирования в самое промышленное строительство, которое еще далеко не сумело полностью использовать свои же материалы и отходы, широко применяя в различных сочетаниях местное сырье, шлаки производства, золу и мусор, отбросы металлургических и химических установок.

Необходимо идею комбинирования вложить и в технологию, т. е. в изучение процесса всякого рода металлургических, химических и механических производств. Здесь открывается грандиозная область совершенно новой научной и научно-технической работы, которая сможет поставить по-новому ряд задач.

Втягивание в использование низкосортного сырья, которое при других условиях не имело бы никакой ценности, может и должно на основе имеющихся материалов создавать новые полезные ископаемые, новые вещества.

Именно здесь место геохимика, который знает свойства природных соединений и который должен вместе с технологом создавать новые ценности, комбинировать процессы и решать их в свете общей экономической целесообразности всего комбината в целом.

Но и этого всего мало. Комбинирование горного хозяйства есть все-таки лишь часть задачи. Комбинирование должно вращаться корнями и верхками во всю хозяйственную жизнь края или района, являясь частью, и притом очень важной, общехозяйственного плана, органически внедряясь и срастаясь со всеми его отраслями в целом. Разделение промышленности по горизонтали — по типу производств, или по вертикали — от сырья к конечному продукту не всегда достаточно гибко отвечает этим проблемам, или будем точнее, очень редко. Географический или топографический момент при этом обезличивается, и специфичность данного производства в данном хозяйстве и в данной социально-политической обстановке теряется, забывается и уравнивается. Территориальные комплексы остаются лишь терминами, словами, на деле же оторванными от всей местной обстановки. Я горячо возражаю против обезлички и уравниловки в хозяйственной оценке и хозяйственной организации отдельных точек одного и того же производства.

Если мы строим гигант Магнитогорского района, то его задача — не сидеть на горе Магнитной и ждать разных благ, вроде магнезита, хромита, песка, строительных материалов, глин, марганца, доломита, кокса, угля по задыхающейся от перегрузки железной дороге, а суметь построить свое производство на своем собственном сырье, технологически использовать и замечательные кремневые туфы своего же района, и разрушенные в пески и гальки порфиры, и атациты самого Магнитного месторождения, и соче-

тать все это с рудой, углем, коксом, отходами колчеданов, с серной кислотой.

Старая привычка получать готовые продукты определенной казенной марки, так как это указано в учебниках технологии, душил наш транспорт, создавая самые большие в мире по дальности пробега перевозки самых простых вещей: известняков до 2 тыс. км, песка и глины до 1 тыс. км.

Принцип, предуказанный В. И. Лениным в его известном письме в 1918 г. Академии наук о необходимости выявления местных сырьевых ресурсов и перехода на новые формы районирования хозяйства, остался еще далеко невыполненным.

Комбинированное хозяйство требует самых решительных мероприятий в этом направлении. Некоторые из наших комбинатов должны ликвидировать обезличку и должны быть подчинены единой организационной технической воле на принципах территориального использования всего природного сырьевого комплекса и всей хозяйственной конъюнктуры данного края. Надо пойти по этому новому пути и дать образцовые комбинирования, хотя бы как пример, как школу нового вида социалистической промышленности. Но даже, если мы сейчас не пойдем полностью по этому пути, я вижу необходимость решительно настаивать на коренном пересмотре использования сырья, на необходимости по-новому заострить научно-техническую мысль и сказать: там поставлено правильно производство, где не пропадает ни грамма добытой горной массы, нет ни грамма отбросов, где ничто не улетает на воздух и не смывается водами.

География промышленности есть в значительной степени география комбинированного использования местного сырья,— таков мой конечный вывод, который я ставлю, однако, со всеми теми оговорками, которые вносятся в современное хозяйство новой экономической географией, построенной на основах диалектического материализма. Комплексная идея есть идея в корне экономическая, создающая максимальные ценности с наименьшей затратой средств и энергии, но это идея не только сегодняшнего дня, это идея охраны наших природных богатств от их хищнического расточения, идея использования сырья* до конца, идея возможного сохранения наших природных запасов на будущее. Эта идея дает максимально эффективное использование производительных сил, открывая пути для приложения самых высоких технических методов и вместе с тем группируя предприятия не только по типу продукции, но по типу технологических процессов и свойствам местного сырья.

Я сознательно при изложении уклонился от сообщения цифровых данных изменения себестоимости. Я мог бы их дать с большой проработанностью, например, по отношению к Хибинскому комбинату, но я сознательно отошел от этой задачи. Снижение себестоимости есть совершенно неизбежный результат комбинированного процесса, но не в нем одном лежит, как мы видим, основное значение народнохозяйственного комбинирования.

Я кончаю этим выводом общего характера, но если Конференция хочет получить список конкретных предложений, то я их дать не могу. В сущности, на каждом шагу, в каждом месте мы встречаемся с необходимостью применения этих положений, и перечислить те мероприятия, которые следовало бы принять, можно лишь по отношению к отдельным конкретным случаям или районам.

То, что необходимо сделать сейчас — так это нужно *пробудить* *техническую мысль* в этом направлении, надо при наших комбинатах в их исследовательских ячейках, при институтах развивать эту мысль, технически и геохимически охватывая идею в применении к данной производственной единице.

Я призываю к этим новым формам нашего горного хозяйства, в которых геолог должен быть геохимиком, геохимик — технологом, технолог — экономистом, а хозяйственник, опираясь на всех вместе, тем общественником, который ставит новое социалистическое хозяйство на основах комбинирования.

Свердловск 20 апреля 1932 г.

Академик
А. П. ВИНОГРАДОВ

Роль наук о Земле в техническом прогрессе¹

Ни одна отрасль науки не связана так тесно с развитием производительных сил, как геология: разработка недр являлась самой наглядной из всех видов геологической деятельности человека. Не случайно она отразилась в периодизации самой древней истории на эпохи каменного, бронзового и железного веков. Но не только камень и металл были известны древним. Еще за шесть тысячелетий до нашей эры людям были известны нефть и природный газ. Но только в половине XIX в., после того, как научились получать из нефти «осветительное масло» — керосин — и вместо рытья колодцев для ее добычи применили буровую скважину, нефть стала энергетическим и топливным богатством народов.

На рубеже XX в. русская геологическая наука была представлена блестящей плеядой ученых — В. И. Вернадским, А. П. Карпинским, Б. Б. Голицыным и другими, каждый из которых создал новое научное направление. Но царское правительство игнорировало практическую геологическую деятельность. Больше половины добывавшихся в то время химических соединений (около 30) ввозилось в Россию извне, использование их к тому же было крайне ограничено. Так, в Петербург ввозили кардифский уголь, серный колчедан для получения серной кислоты из Португалии, фосфориты для удобрений из Алжира и т. д. Сырую платину отправляли на аффинаж в Германию. Трагическая неподготовленность России из-за отсутствия собственного разведанного сырья обнаружилась с начала первой мировой войны.

Сразу же после Великой Октябрьской революции положение дел в нашей стране в области изучения Земли и использования ее богатств в корне изменилось. По указанию В. И. Ленина в 1918 г. Совет Народных Комиссаров вынес решение о финансировании работ по изучению производительных сил страны. В короткое время были организованы большие экспедиции для изучения ряда крупных районов страны, многие из которых стали новыми источниками минеральных богатств. Была создана единая геологическая служба. Если старыми рудными районами в России были Урал и Кавказ, то в годы Советской власти благодаря энергии В. А. Обручева, А. Е. Ферсмана, И. М. Губкина и многих других ученых были открыты новые колоссальные запасы разнообразной руды, а крупнейшими рудными районами стали Казахстан, Кольский полуостров, Средняя Азия, Дальний Восток. Было открыто до 15 000 различных крупных месторождений. Благодаря этому в 1937 г. появилась первая геологическая карта СССР, где были сняты все белые пятна.

¹ Сокращенный текст доклада на общем собрании АН СССР 4 февраля 1970 г., посвященном вопросам технического прогресса. Печатается по Вестнику АН СССР, 1970, № 4, с. 81—86.

Как это было и в далеком прошлом, вокруг рудников, шахт собиралось население и создавались города. Из 5250, возникших при Советской власти городов и поселков, более 700 выросло вокруг вновь открытых и разрабатываемых месторождений. По существу вновь была создана промышленность цветных и редких металлов. В нашей стране возникли ниобиевая, урановая, титановая, бериллиевая, борная, германиевая, редкоземельная, циркониевая и другие новые виды промышленности. К 1970 г. СССР занял первое место по достоверным запасам и добыче многих полезных ископаемых в мире.

Проделать огромную работу, например по поискам, разведке и добыче редких элементов, было бы невозможно без развития геохимии, возникшей впервые у нас. В наше время практически почти все химические элементы до урана используются в промышленности, сельском хозяйстве, медицине. Самые редкие элементы добываются в количестве многих тонн. Без поисков, разведки и добычи урана нельзя было бы создать атомную промышленность. Технический прогресс вообще немислимым без использования редких элементов.

Гидросфера давно эксплуатируется человеком. Все подземные и поверхностные воды образуют единую гидросферу, которая состоит из водонапорных систем, связанных между собой. Все воды континентов — производные морской воды. Эти идеи позволили положить начало учению о режиме и балансе всех вод.

В XX в. во весь рост встала проблема освоения природных ресурсов океана. На изучение океана государства направляли экспедиции, создали морские исследовательские базы, люди опускались на большие глубины в батискафах. Возникли мировые океанические центры, координирующие эту обширную область. Учение о навигации, о способах связи в океане и многое другое обеспечивало развитие технического прогресса.

Предсказание погоды было бы невозможно без многочисленных сведений, получаемых ныне с огромной акватории океана. Изучение теплообмена между атмосферой и водой укрепило эти метеорологические прогнозы.

Вместо абиссальных равнин океанского дна океанологи обнаружили сложный рельеф дна, с срединноокеаническими хребтами, рифтовыми долинами, которые «дышат» древними ископаемыми газами, а на приконтинентальном мелкоморье — шельфе — обнаружили огромные запасы нефти и газа.

Дно океана местами оказалось покрытым железомарганцевыми конкрециями, составляющими триллионы тонн. Исключительный размах приобрело развитие водного хозяйства: гидроэлектростроительство, каналы, сотни регулирующих водохранилищ.

За последние годы создалось правило рассматривать будущее в аспекте 2000 г. Мы все пытаемся заглянуть на тридцать лет вперед и дальше. Может быть, самым главным из того, что потребует технический прогресс от наук о Земле является возможно раннее отыскание наиболее важных, комплексных научно-технических проблем, без предварительного разрешения которых невозможно дальнейшее научное прогнозирование.

Общее потребление энергии резко возрастет, и параллельно с этим будет расти потребление урана и, вероятно, тория, особенно за пределами 2000 г. Человечество встретится с новой обширной технологией —

превращением химических элементов, которая позволит изменять химический состав Земли. Поэтому сведения о распространении химических элементов и изотопов на Земле будут приобретать все большее и большее экономическое значение.

С начала XIX в. происходит заметный рост добычи каменного угля, а затем нефти, газа, железа. Этот рост добычи в наше время развивается подобно лавине и достигает гигантских цифр. К 1970 г. только за 20 последних лет было добыто 70% из 33 млрд. т нефти, добытых за все время эксплуатации человеком недр Земли. Добыча угля за те же 20 лет составляет 37% от 125 млрд. т, добытых за всю историю, и железа 50% от 10 млрд. т, извлеченных за все время добычи железа человеком.

Добыча угля в мире в 1970 г. превысила 2,5 млрд. т, а к 2000 г. достигнет 4 млрд. т в год и будет расти до 2400—2200 гг., а затем, по-видимому, начнет падать. Достоверные запасы угля сейчас достигают свыше 10 тыс. млрд. т.

Практически весь газ был получен за последние 20 лет — 100 млрд. т по весу, а его геологические запасы составляют многие триллионы м³. Мировая добыча нефти и газа растет в поражающем темпе, и трудно сказать, когда будет исчерпаны месторождения этих полезных ископаемых. Во всяком случае за пределы, вероятно, 2100 г. К 2000 г. добыча нефти достигнет 6000 млн. т в год и только около 10% будет использовано в химической промышленности. Мировые разведанные запасы газа, видимо, превышают 50 трлн. м³, а нефти — 60 млрд. т. Вероятные запасы нефти под дном Мирового океана пока исчисляются 200 млрд. т.

Потребление энергии также удвоилось за последние 20—25 лет по сравнению со всей полученной энергией за все время жизни людей.

Кривые добычи железа, что также важно и для многих цветных и редких металлов, стремятся вверх. К 2000 г. добыча железа достигнет 1 млрд. т при достоверных запасах около 100 млрд. т железа в руде. Исключительное положение занимает алюминий. Его добыча растет и к 2000 г. увеличится почти в 10 раз. В промышленности будущего алюминий должен заменить медь, поскольку ее распространение в земной коре составляет тысячные доли процента, а алюминия — 8%. Потребление урана в связи с развитием атомных электростанций будет расти. К 2000 г. его потребление атомными станциями в производстве электроэнергии выравняется с потреблением нефти и газа — примерно по 25% в условном топливе. Потребление титана, например в США, шло параллельно с производством самолетов и будет расти дальше. Титан и его сплавы не корродируют в морской воде. Его добыча в 2000 г. достигнет, вероятно, более 100 тыс. т. Более значительным станет в общем балансе удельный вес редких земель.

Структура потребления редких элементов будет некоторое время неустойчивой, поскольку еще будут идти поиски наиболее рационального применения их в промышленности.

Поиски и разведка недр будут изменяться в сторону использования физических, химических и математических методов и, возможно, прямых методов, например со спутников при поисках слепых, не выходящих на поверхность месторождений, использование «чистых» (без радиоактивных осколков) ядерных зарядов для геологических целей. Но бурение будет долго сохраняться. Географическое распределение месторождений потеря-

ет большое значение. Требования на концентрацию руды понизятся. Особый интерес будут иметь, конечно, поиски слепых месторождений. В связи с этим в ближайшие годы геологу придется переместить свое внимание на поиски и извлечение из недр руды с некоторых больших глубин, в среднем, вероятно, около 2 км. При большом разнообразии извлекаемых металлов возможна широкая замена в промышленности одного металла другим.

Современные мировые запасы многих металлов даже без их пополнения гарантируют использование и добычу их в том же темпе и при той же технологии в течение многих столетий. Но нужно различать запасы горючих ископаемых — нефти, угля, природного газа, горючих сланцев — и запасы рудных и нерудных минеральных ископаемых. Первые представляют по существу восстанавливаемые природные ресурсы, которые образуются непрерывно. Однако скорость их образования или возобновления несоизмеримо мала по сравнению со скоростью их использования в наш век. Потому эти полезные ископаемые истощаются или исчерпываются и необратимо исчезают. Вторые — как это ни парадоксально — не восстанавливаются на месте прежних месторождений, но не исчезают с лица Земли. В той или иной форме они рассеиваются или концентрируются в результате человеческой деятельности. Вопрос только в том, с какими рудными материалами для извлечения рудных металлов придется встретиться в будущем и какие технологические методы придется для этого применить.

Таким образом, вопрос не в исчерпании запасов вообще, а прежде всего в мудрой бережливости и самое главное — в возможной смене характера источников рудного вещества и изменения в связи с этим технологии его добычи и переработки в будущем. Скорость смены характера источников и технологии всецело находятся в руках человека.

Потребность в пресной воде с увеличением народонаселения, мелиорации почв, ростом городов непрерывно возрастает. В 2000 г. ожидается потребление 400—600 л воды в сутки на человека. Общая потребность в пресной воде к 2000 г. достигнет 1/2 объема естественно восстанавливаемых водных ресурсов Земли. Из-за неравномерного распределения водных ресурсов главной задачей является их регулирование. Значительные ресурсы в СССР представляют подземные воды, достигающие по запасам 1/3 объема общего речного стока. Ныне эксплуатируются лишь 5—6% объема речного стока. Естественно, что использование этих вод должно идти параллельно с изучением скорости их формирования, возобновления и т. д.

Идея возобновления ресурсов, используемых человеком, должна являться кардинальной. В бюджете всех стран растут расходы по изучению ресурсов океана особенно за последние 10—20 лет. Конечно, это связано не только с надеждами на новые источники питания и залежи минералов. Многие задачи в океанологии непосредственно связаны с техническим прогрессом. Во-первых, это использование огромных запасов железо-марганцевых конкреций, лежащих на больших глубинах. Они содержат в значительных концентрациях многие редкие элементы, кобальт, титан, серебро и т. д. Проблема использования железо-марганцевых конкреций вызвала другую проблему — скорее политическую, чем научную — проблему эксплуатации дна океана и в связи с этим деления дна открытого океана на области влияния. Пока не созданы подводные механиз-

мы для рентабельной промышленной добычи железо-марганцевых конкреций через толщу воды в 5—6 км, как бы рассыпанных в один слой по всему дну океана. Но далее могут возникнуть монополистические тенденции. Надо организовать в международном плане эксплуатацию дна океана. На обширных отмелях океана и морей, на так называемых материковых шельфах, которые составляют около 25% всей поверхности океана и морей, открыты обширные нефтяные и газовые залежи. В международном праве шельф определен не очень точно как территория от линии берега до 200 м глубины с уклоном $0,1^\circ$, а затем, возможно, и глубже. Сейчас эта неопределенность вызывает стремление в разных странах увеличить размеры полосы территориальных и шельфовых вод и т. д. Запасы нефти на шельфах по современным подсчетам составляют около 50% от общих разведанных запасов. Уже сегодня добыча на шельфах составляет около 20% всей добычи нефти. Таким образом, в областях шельфа открывается громадная перспектива для экономической и промышленной деятельности человека. Может быть, пока еще нет прямой необходимости выходить за шельф за нефтью, но мы должны в короткие сроки освоить технику бурения дна через толщу воды в несколько километров. Помимо того, шельфы несут россыпи рудных минералов.

Очевидно, на шельфах мы можем использовать современную теорию случайностей и теоретического моделирования вероятного размещения нефти и газа в недрах, когда изучаемая территория превышает некоторые пороговые размеры, гарантирующие успех поисков при бурении скважин. Из воды океана извлекают магний, бром, иод, соли. Однако этот ассортимент может быть увеличен.

Нельзя считать химерой получение в будущем из морской воды (как из наиболее технологически простого сырья) более рассеянных в ней химических элементов.

Намного большее значение для человека имеют биологические ресурсы океана. Необходимо не только регулировать вылов рыбы (что частично имеет место в мировой практике), но и думать об искусственном ее воспроизводстве. Создавать морские фермы. А сколько еще других морских организмов могут быть использованы в качестве пищевых средств для увеличивающегося народонаселения. Очевидно, как и всюду в биосфере, там, где человек нарушил природное равновесие,— необходимо восстанавливать использованные ресурсы.

Могущество человека изменяет облик Земли. Геологическая деятельность человека соизмерима по масштабам с природными геологическими процессами и она нарушает природное равновесие в биосфере, что нередко приносит экологический вред. В наши дни из недр Земли добывается около 20 т минерального сырья в день на душу населения! Во многих странах это вызвало опускание грунта. Огромные пространства Земли занимают ненужными отходами горнорудной промышленности. В недра, через брошенные шахты, буровые скважины человек научился прятать вредные отходы промышленности и т. п. Производятся подземные взрывы для строительных работ (с зарядами в миллионы тонн взрывчатки); атомные подземные взрывы — и т. д. В результате деятельности человека начала загрязняться земная кора. Идет интенсивное загрязнение рек, прежде всего нефтью и другими промышленными сбросами,

вредными для жизни организмов. Недостаточность работ по дренажу на орошаемых землях приводит к их засолению и заболачиванию.

Огромное потребление воды в одной области вызывает уменьшение дебита вод в соседней. Даже откачка воды из открытых карьеров понижает уровень соседних водных горизонтов. Загрязнение водных бассейнов не ограничивается реками и озерами, которые из-за сбросов органических веществ «цветут» и зарастают. Даже океаны стали загрязняться нефтью, сбросами с континентов в результате эрозии почв, выноса различных веществ, вводимых в почву с сельскохозяйственными целями, но оказывающих вредное действие на морские организмы.

Не меньшее влияние оказывает человеческая деятельность на загрязнение атмосферы, прежде всего выбросами сернистого газа, окислов азота и многих других газов и пыли.

В процессе преобразования природы редко учитывают возможные вредные отдаленные последствия. За последние годы повсюду звучат слова — «охрана природы», «сохранить биосферу для будущих поколений» и т. д. Охрана природы — это направленный и длительный процесс. Глубоко уверен, что в наше время постоянной взаимосвязи между государствами и колоссальной геологической деятельности человека борьба за ресурсы и стремление сохранить биосферу для будущего неразделимы. Единственно правильным научным подходом здесь должен быть динамический глобальный аспект в любом крупном мероприятии. Любое нарушение равновесия в биосфере должно сопровождаться обязательным стремлением научно-техническими средствами восстановить равновесие, воспроизвести используемые биологические богатства.

Как показали космические исследования, у нас не остается большой надежды встретиться с биосферой на других планетах нашей солнечной системы. Тем более мы ответственны перед будущими поколениями людей за биосферу Земли.

В науках о Земле есть свои особенности — масштаб объектов и явлений, которые они изучают. Геологические процессы весьма длительны, они не могут непосредственно наблюдаться. Вследствие этого результаты открытия, повороты в науке растягиваются на многие годы. В геологических науках мы встречаемся с фактами разного уровня достоверности, а степень их обобщения еще недостаточна. Это прежде всего относится к кардинальным проблемам, решение которых могло бы изменить наши представления и которые не могут быть решены на протяжении многих десятков лет в силу их сложности.

Мы должны, не отрываясь от полевых работ, организовать математическое моделирование процессов, разрабатывать физико-химические теории геологических процессов на основе экспериментальной проверки, привлекать больше физических и химических данных и научных технических средств для решения крупных задач. Ученые, работающие в области наук о Земле, должны помнить, что технический прогресс не должен наносить ущерб природе.

Академик

А. В. СИДОРЕНКО

Геология в 2000 году¹

Несколько лет назад автор опубликовал брошюру «Геология — наука будущего»². Это название было выбрано не случайно. Дело в том, что геологические открытия сегодня в основном нацелены не столько на удовлетворение текущих потребностей горной промышленности, что уже сделано ранее, сколько на обеспечение создаваемой промышленности, ее дальнейшее развитие в более отдаленной перспективе. Затраты на широкие комплексные геологические исследования территории страны, которые ведутся сейчас, и открытия новых месторождений, которые на их основе будут сделаны, с лихвой окупятся через некоторое время. Известно, что от начала поиска до открытия месторождений, от открытия месторождений до завершения его разведки и начала промышленного освоения, как правило, проходят годы. Вот почему работа геолога сегодня — это работа на ближайшую обозримую и отдаленную перспективу, вот почему геология должна иметь задел в виде достаточной геологической изученности, детально разработанной геологической теории, учета всех рудопроявлений и предварительной оценки выявленных месторождений.

Решить эти задачи можно только на основе планомерного комплексного, осуществляемого по единому плану геологического изучения страны, имея передовую геологическую науку, мощную производственную геологическую службу. За годы Советской власти Советский Союз стал крупнейшей минерально-сырьевой державой, единственной большой страной мира, способной не только развивать экономику на собственных полезных ископаемых, но и быть экспортером угля, руд, нефти, природного газа.

Для обеспечения развития промышленности в очередной пятилетке 1971—1975 гг. геологи уже создали необходимую минерально-сырьевую базу. Промышленность и планирующие органы имеют достаточный выбор месторождений для оптимального размещения производительных сил страны. Ведь от того, где откроют геологи месторождение, в значительной степени зависит в дальнейшем не только размещение рудников, металлургических заводов, нефтяных и газовых промыслов, нефтеперерагонных заводов, но и транспортные связи (железные и шоссейные дороги, нефте- и газопроводы), строительство городов, размещение населения и т. п. Вот почему геология работает на будущее, а тема — «будущее геологии» — близка геологам по самой сущности их повседневного труда.

У темы «геология в будущем» довольно много аспектов. Прежде всего это аспект минерально-сырьевой. Он является ведущим, ибо с ним свя-

¹ Печатается с сокращениями по тексту одноименной статьи, опубликованной в сборнике «Будущее науки», вып. 4. М., «Знание», 1971, с. 271—287.

² Сидоренко А. В. Геология — наука будущего. М., «Знание», 1969.

зано развитие индустрии. Нас интересует, как будет расти потребление минерального сырья, какой спрос предъявит промышленность на то или другое полезное ископаемое. Особенно трудно предсказать потребность в тех видах минерального сырья, потребление которых в настоящее время незначительно, или же определить, как с развитием техники вырастет потребность в новых видах минерального сырья. Это одна из очень сложных и ответственных задач, над решением которой должны работать не только геологи и экономисты, но и технологи, физики, химики, ибо только на основе глубокого анализа тенденций развития науки и техники можно предвидеть потребности в различных видах минерального сырья, особенно нового. Это большая комплексная проблема, ждущая своих исследователей.

Можно рассматривать развитие геологических исследований в будущем и в географическом или, точнее, географо-экономическом плане, в плане размещения минерально-сырьевых баз. Сейчас мы имеем определенный комплекс сложившихся рудных районов, в которых и проводятся геологические работы. Однако ими не исчерпываются все потенциальные рудные и нефтегазоносные территории. Научные прогнозы нацеливают нас на новые перспективные площади. В результате геологического поиска появятся новые минерально-сырьевые базы; предвидеть, где они будут созданы и устанавливать очередность их изучения,— это тоже один из аспектов перспективного развития геологии.

Развитие геологии можно рассматривать и с позиции методики разведки. Поиски полезных ископаемых в перспективе будут ориентироваться не только на существующие методы горных работ, но и на те новые методы, новые технические средства, которые сейчас только зарождаются или появятся в будущем.

В послевоенный период мы вряд ли могли подумать о том, что геологическое строение земной коры можно познать с помощью спутников, так как изучение геологического строения с помощью аэрофотосъемки тогда только зарождалось. Возникновение, развитие и становление геофизики и геофизических методов исследования глубин, а также создание новых буровых станков дало возможность открывать месторождения нефти и природного газа на глубинах до 5 км и даже глубже.

И, наконец, перспективы развития самой геологической теории. Какие новые научные направления родятся в геологии? Какие новые точки роста геологического знания будут появляться? Как будет преодолевать-ся старое геологическое представление и рождаться новое? Это тоже вопросы не праздные. В соответствии с этим нужно думать и о том, чтобы подготовка специалистов-геологов ориентировалась на новые научные представления, на прогрессивные идеи и, одновременно с этим отбрасывались бы концепции, которые не дают результатов, которые являются устаревшими.

Какой же представляется нам геология в будущем — на рубеже второго и третьего тысячелетия?

Предвидение будущего геологии, как предвидение вообще будущего, задача далеко не простая. Прогноз в науке должен строиться на конкретной исторической основе, должен учитывать весь ход развития отдельных направлений, отдельных идей и лишь на основании всего этого давать выводы.

Так, нам кажется, что прогнозирование развития геологии определяется не только потребностями в минеральном сырье, но и всем тем геологическим заделом, который накоплен за прежние годы (геологическая изученность территории, разведанность месторождений, учет всех рудопроявлений, прогнозная оценка отдельных регионов и т. п.).

Прежде всего бесспорно, что в будущем, несмотря на грандиозные успехи химии и физики, создающих новые виды синтетических материалов, заменяющих природные, потребности в минеральном сырье не только не уменьшатся, а будут непрерывно возрастать.

Весь опыт развития промышленности отдельных стран и мировой экономики показывает, что несмотря на изменения потребности в отдельных видах минерального сырья, при которых одно сырье потребляется в больших количествах, другое — в меньших, идет непрерывный абсолютный рост потребности человечества во всех видах минерального сырья. Например, добыча всех видов топлива в нашей стране возросла в 1968 г. по сравнению с 1913 г. в 23,4 раза и составила 1127 млн. т условного топлива.

Росло также потребление других полезных ископаемых, особенно тех, которые находили применение в новой технике. Так, например, во время второй мировой войны и в послевоенный период (с 1940 по 1960 г.) в связи с развитием авиации мировая добыча алюминиевых руд возросла в 7 раз, развитие титановой промышленности в этот же период увеличило потребление титаносодержащих руд в 9 раз, развитие атомной промышленности и металлургии увеличило потребление циркониевых руд более чем в 20 раз.

Бесспорно, что и в предстоящие 30 лет до 2000 г. промышленность потребует в огромных количествах не только уже известное традиционное минеральное сырье, но и поставит задачу обеспечить ее новыми видами полезных ископаемых.

Опыт развития мировой экономики показывает, что промышленность на ближайшие годы проявляет повышенный интерес к бокситам, молибдену, ванадию, танталу, ниобию, цезию, литию, рубидию, бериллию, цирконию, урану, а также иттрию, европию и другим редкоземельным элементам, к цеолитам и другим природным адсорбентам.

Исходя из предполагаемого увеличения численности населения, темпов роста промышленного производства возрастет потребность в минеральном сырье. Научные проработки показывают, что объем потребления в нашей стране только за ближайшие 10 лет, до 1980 г., возрастет: угля в 1,3 раза, нефти в 1,8 раза, природного газа в 2,8 раза, железной руды в 1,5 раза, алюминия более чем в 2 раза, меди почти в 2 раза, никеля — почти в 2 раза, минеральных удобрений — более чем в 2 раза.

Еще более крупный рост намечается на последующие 20 лет до 2000 г. Для обеспечения такого быстрого роста нужно соответственно увеличить разведанные запасы минерального сырья в недрах — не только восполнить те разведанные запасы, которые поглощаются ежегодной добычей, но и подготавливать запасы для дальнейшего развития промышленности за пределами уже 2000 г.

Смогут ли геологи обеспечить развитие промышленности необходимыми полезными ископаемыми в будущем? Не иссякнут ли наши недра? Несмотря на то что полезные ископаемые являются невозполнимым природным ресурсом, мы на этот вопрос отвечаем оптимистически: ни в

ближайшие годы, ни в обозримом будущем голода в тех или других минеральных ресурсах не будет, промышленность будет полностью обеспечена всеми необходимыми видами минерального сырья. В процессе познания недр будут выявляться все новые и новые месторождения полезных ископаемых. Но для этого геологоразведочные работы должны вестись во все возрастающих масштабах.

При современном уровне изученности земной коры, состоянии геологоразведочной, горнодобывающей и перерабатывающей техники, при современном состоянии экономики по многим видам полезных ископаемых мы разведали не более 5% от возможных запасов этих видов сырья в недрах. При этом нужно учесть, что с расширением геологических исследований прогнозные (возможные) запасы сырья в недрах растут.

Полезное ископаемое — понятие историческое, оно зависит прежде всего от уровня развития общества, от уровня развития экономики, и чем выше экономика, чем больше энергетическая вооруженность человечества, тем шире ассортимент полезных ископаемых, тем больше новых видов минерального сырья вовлекается в хозяйственный оборот. Поэтому есть уверенность в том, что все необходимые виды полезных ископаемых будут найдены и разведаны. В будущем ассортимент руд значительно расширится. То, что сегодня не является полезным ископаемым в силу экономической невыгодности разработки, в будущем при новой технике и технологии переработки может стать полезным ископаемым.

Уже в настоящее время геологический поиск и разведка — это не простое выявление рудного тела с тем или другим содержанием полезных ископаемых и определение их запасов, но и геолого-экономическая задача. Геологи теперь определяют не только масштабы месторождения, но и технологические свойства руд, дают экономическую оценку месторождению. В дальнейшем геологическая разведка еще более тесно сольется с технолого-экономической оценкой минерального сырья.

Полезными ископаемыми уже стали не только твердые породы, жидкие и газообразные углеводороды, но и многочисленные водные растворы — минеральные рассолы, минеральные воды. Сейчас пока мы используем небольшое количество минеральных вод в основном в лечебных целях, реже как сырье для получения из воды отдельных растворенных солей (йод, бром, поваренная соль, мирабилит). В будущем, вероятно, многие минеральные рассолы как в озерах, лагунах, так и находящиеся на больших глубинах в земной коре станут месторождениями ценнейших химических элементов: лития, рубидия, цезия, бора, стронция, хлористого магния и кальция, вольфрама и многих других элементов вплоть до золота и урана. Способы извлечения их будут настолько рентабельны, что рассолы станут такими же источниками полезных ископаемых, как и твердые минеральные концентрации.

Прогноз изменения самого понятия минерального сырья является очень важной и сложной задачей.

Сейчас отдельные виды полезных ископаемых добываются из тех или других уже известных геологических комплексов. Например, месторождения соли относятся к лагунным отложениям, месторождения угля связываются с аллювиально-дельтовыми отложениями рек, реже озерно-болотными отложениями, рудные месторождения связываются со складчатыми геосинклинальными областями и т. п. Но известными нам сейчас типами рудных залежей, бесспорно, нельзя ограничить все богатства недр Земли.

Одновременно с расширением ассортимента видов минерального сырья будет изменяться представление о тех геолого-структурных условиях, в которых следует искать новые типы рудных месторождений, залежей нефти и газа.

Знания геологов все время меняются, накапливаются новые данные, появляются новые типы полезных ископаемых, поэтому нас интересует представление о том, в каких еще новых геологических условиях могут сосредотачиваться те или другие полезные компоненты.

Сейчас нефть в основном мы ищем на континентах и лишь частично на шельфе, являющемся погруженной частью континента. В дальнейшем за нефтью мы все больше будем выходить на шельф, а затем и в открытый океан. Изменяется представление о типах «ловушек», где концентрируется нефть и газ. Если раньше основными типами месторождений полиметаллов были жильные залежи, то теперь все более вырисовывается значение пластовых залежей этого типа руд. Если раньше основным источником многих редких элементов были пегматитовые жилы, то теперь эти полезные ископаемые можно извлекать из многих горных пород. Таким образом, геологи должны будут работать не только над расширением видов минерального сырья, но и упорно, творчески искать те новые геологические условия, новые типы месторождений, из которых можно получить нужное полезное ископаемое.

В настоящее время полезным ископаемым становится природное тепло недр Земли. Из категории природных физических явлений глубинное подземное тепло перейдет в категорию полезного ископаемого, имеющего свои размеры, количество и качество.

Уже сейчас все больше и больше возрастает использование подземного тепла, главным образом в виде горячих и перегретых растворов и газопароводяных смесей. Уже имеются теплично-парниковые комбинаты, электростанции, работающие на принципах использования тепла подземных вод. В будущем подземное тепло станет более рентабельным и более распространенным источником энергии, особенно в вулканических областях. Рождается прикладная вулканология, которая ждет своих исследователей.

В будущем несомненно возрастет значение гидрогеологии. Потребность в питьевых и технических водах так быстро растет, что обеспечение водой уже сейчас становится очень сложной проблемой, не только в пустынях. Многие крупные промышленные районы Европы, США, Японии испытывают огромные трудности в водообеспечении. В наше время вода становится важнейшим полезным ископаемым.

Чтобы удовлетворить потребность в пресных питьевых и технических водах в дальнейшем, вероятно, будет мало использовать только имеющиеся подземные или поверхностные воды, нужно будет осуществить целый комплекс мероприятий, в том числе меры по охране источников водоснабжения от загрязнения, создание искусственных подземных водохранилищ за счет сбора и магазинирования паводковых и весенних вод, а также мероприятий по использованию соленых вод путем их опреснения на мощных установках.

В тесной связи с развитием минерально-сырьевого аспекта геологии будущего, как уже говорилось, стоят географо-экономические проблемы размещения минерально-сырьевых баз. Удовлетворение быстро растущей потребности в минеральном сырье может быть осуществлено только за

счет дальнейшего геологического освоения новых территорий земного шара и проникновения в более глубокие горизонты Земли. В будущем промышленность станет добывать полезные ископаемые с таких глубин, которые раньше были технически недоступны или экономически нерентабельны. Например, в настоящее время наибольшие глубины, с которых добываются твердые полезные ископаемые, как правило, не превышают 500—600, реже до 1000—1500 м. И только отдельные шахты и отдельные рудники достигают большей глубины. Нефть за редким исключением добывается с глубины до 5 км.

Увеличение глубины добычи полезного ископаемого — одна из интереснейших научных и экономических проблем. Важную роль в этом призваны сыграть новые методы разведки и добычи, о которых сказано ниже.

В будущем человечество станет добывать полезные ископаемые и со дна Мирового океана. Уже в настоящее время в зонах морского шельфа, как упоминалось, добывается нефть и газ; разрабатываются и россypi титана, олова, алмазов, золота, начата опытная добыча железомарганцевых конкреций с ложа Мирового океана. Добыча полезных ископаемых с морского дна резко возрастает. В дальнейшем морское дно будет геологически изучено и освоено так же, как и континенты, и многие полезные ископаемые будут добываться не только из зоны шельфа, но и из ложа Мирового океана. Это расширит площади геологических исследований по сравнению с сушей в 3—4 раза, а также потенциальные возможности для развития минерально-сырьевых ресурсов.

Исходя из существующих на сей день знаний геологического строения земной коры и распределения в ней полезных ископаемых, можно высказать некоторые предположения о том, как будут развиваться в дальнейшем районы геологоразведочных работ на те или другие полезные ископаемые и где будут созданы новые минерало-сырьевые базы. Конечно, такой прогноз носит самый предварительный характер.

Большой интерес представит, по нашему мнению, изучение погребенного докембрийского основания Русской платформы, особенно его приподнятых частей, весьма перспективных для поисков железных руд, никеля, меди, бокситов, алмазов и других полезных ископаемых. В первую очередь должны быть обследованы те выступы докембрийского фундамента, которые залегают на глубинах до 500 м. Это Курско-Воронежская антиклизы, Белорусский выступ, погребенные части Украинского кристаллического щита. Заслуживают внимания исследования склонов Балтийского щита, на которых хорошо проявились вторичные тектонические движения, приведшие к оруденению, — так называемые вторичные зоны активизации рудных процессов.

Особое внимание должно быть привлечено к изучению погребенных складчатых систем, где могут быть выявлены новые рудные провинции. Тиманский кряж на севере, Нагольный кряж в Донбассе, погребенные складчатые продолжения Урала на восток и на юг, сочленение Урала с Тянь-Шанем (Кызылкум) станут объектами не только поисков и разведки, но и поставщиками руд цветных и черных металлов, нерудного сырья. Нуждаются в переоценке представления о геологическом строении многих складчатых сооружений Кавказа, Памира, Тянь-Шаня. Это позволит выявить новые крупные месторождения минерального сырья и создать на их базе крупные промышленные центры.

Будущее географического размещения нефтяной и газодобывающей промышленности можно представить, исходя из развития современных геологоразведочных работ. Разведке месторождений нефти и газа — этих важнейших для развития энергетики, химии, транспорта полезных ископаемых — уделяется ныне большое внимание во всем мире. В Советском Союзе созданы научно обоснованные прогнозные карты распределения нефтегазоносных бассейнов страны, опираясь на которые, мы ведем широким фронтом поиски и разведку нефти.

Совсем недавно в Западно-Сибирской низменности были открыты первые месторождения нефти и газа, а теперь здесь разведаны крупнейшие в стране месторождения. В 1980 г. здесь будет добываться более 300 млн. т нефти. В дальнейшем Западная Сибирь даст более половины добычи нефти и природного газа в стране, далеко обогнав такие традиционные места добычи, как Татария, Башкирия и другие промысловые районы между Волгой и Уралом. На базе открытий геологов Западная Сибирь станет не только крупнейшим нефтегазодобывающим регионом, но и промышленным центром нефтехимии, энергоемких производств, нефтяного машиностроения.

Крупные районы добычи нефти и газа возникнут в Коми АССР. Наличие крупных месторождений нефти и газа к востоку и западу от Урала открывает огромные перспективы для развития черной и цветной металлургии на Северном и Полярном Урале, где возможны крупные месторождения бокситов, меди, железа, редких элементов и т. п.

Сейчас мы начали искать нефть в Центральных районах Европейской части страны — в Вологодской, Ярославской, Костромской областях. Эти работы дальше охватят Архангельскую область, прежде всего Мезенскую котловину. Конечно, сейчас есть только предпосылки к поискам нефтяных и газовых месторождений в так называемой Московской синеклизе. Однако эти предпосылки в какой-то мере начинают реализовываться. Получены первые притоки нефти и газа, и мы рассчитываем, что в будущем эта полоса мощных осадочных отложений между Ярославлем, Вологдой и Костромой, протягивающаяся дальше на север в пределы Архангельской области, станет не только районом больших поисков, но и районом добычи нефти и газа. Поиски нефти и газа в этих районах ведутся в древнейших отложениях рифейского возраста и имеют большое принципиальное значение. Если нам удастся доказать, что верхние горизонты докембрия — рифей — нефтегазоносны, это откроет новые, очень большие перспективы для дальнейшего поиска и разведки нефтяных месторождений на всей территории Русской платформы, в ее наиболее глубоких погруженных частях.

Начаты поиски нефти в Прибалтике. В Калининградской области, Литовской ССР уже выявлены промышленные месторождения нефти в кембрийских отложениях.

Широко развернутся работы вокруг Каспийского моря. Это одна из наиболее глубоких впадин в фундаменте земной коры. На ее бортах и на морском дне уже сейчас интенсивно добывается нефть в Баку, Туркмении, на Мангышлаке. Разведаны крупные месторождения газа под Оренбургом. Вскрыть всю многокилометровую толщу осадочного чехла Прикаспийской впадины и открыть там новые месторождения нефти и газа — одна из важнейших геологических и экономических задач. Она, конечно, сложна, потребует новых технических средств для проникно-

вения на глубины 7—9 км, потребует не одного десятка лет, но бесспорно, что здесь будут созданы новые крупнейшие промышленные центры.

Раскроет свои нефтяные и газовые недра Кавказ. В настоящее время на Кавказе нефть добывается преимущественно только на берегу Каспийского моря и в Предкавказье — в районе Краснодара и Ставрополя. В то же время весь Кавказский регион — Закавказье, Предкавказье — очень перспективен для открытия там новых крупных месторождений нефти и природного газа. Уже сейчас ведутся поиски газа между Тбилиси и Боржомом и получены первые промышленные притоки газа. Начато разбуривание Кахетии, бурятся опорные скважины в Колхиде. Нам надо смелее пойти на разведку более глубоких горизонтов Кавказа, на поиски так называемой мезозойской нефти. Меловые и юрские отложения Кавказа могут оказаться новым крупным источником получения углеводородов на юге страны, дать вторую жизнь знаменитому нефтяному Баку.

Мы уже говорили об открытии нефти и газа в Западно-Сибирской низменности. Но Сибирь только приоткрыла свои кладовые. На очереди широкое развитие работ на Сибирской платформе — к востоку от Енисея. Здесь на самой платформе и в Тунгусском прогибе, в Вилюйской впадине Якутии весьма благоприятны прогнозы для открытия новых крупных месторождений нефти и газа. Это нефтяная целина, такая же, какой когда-то были тюменские земли. Через один-два десятка лет здесь на базе геологических открытий будут созданы новые промышленные центры.

Первые работы, проведенные по р. Вилюй — в Якутии, показали, что мы имеем там крупнейшие месторождения природного газа. Этот газ используется только для газификации Якутска. Но в будущем в развитии алмазодобывающей промышленности Якутии вилюйский газ станет играть решающую роль.

Недавно начато бурение первых скважин на Чукотке и Камчатке. Это очень перспективные районы для поисков нефти и газа. Развитие геологоразведочных работ здесь уже становится практической задачей. Предстоит в ближайшее время развернуть широкие поиски нефти и газа на северо-востоке страны, которые так необходимы для развития здесь горнорудной промышленности, цветной металлургии, добычи золота и цветных металлов. Мы полагаем, что не только к 2000 г., а значительно раньше северо-восток нашей страны станет крупным источником углеводородов для промышленности.

Не менее грандиозные задачи возникнут в будущем в связи с освоением нефтяных богатств морского дна. Сейчас, как уже сказано, мы ищем и добываем нефть на Каспийском море. Уже на очереди бурение скважин на газ в Черном море. Вся территория северо-запада Черного моря между Крымом и Одессой представляется очень перспективной для поисков нефти. Здесь геофизиками уже подготовлена крупная структура — Голицынская, — на которой в настоящее время ведется бурение, и мы не сомневаемся в том, что значительно раньше 2000 г. здесь будет создан крупный газодобывающий район нашей страны.

Ждет разведчиков нефти и газа Азовское море; крупнейшее рыбное нерестилище нашей страны станет также и крупным источником углеводородов. Надо только так организовать работу, создать такую техноло-

гию разведки, добычи нефти и газа, которые бы не влияли на морскую фауну. И это вполне возможно. Уже сейчас геологи при геофизических работах на морях отказываются от взрывных методов возбуждения упругих колебаний в земной коре и начинают применять новые методы, безопасные для обитателей моря.

Разработка новых приемов добычи минерального сырья из недр имеет большое значение не только для развития самого горного дела, экономики горной промышленности, но и для развития геологоразведочных работ и размещения производительных сил. Возникает необходимость пересмотреть экономические понятия руды, вовлечь в хозяйственный оборот руды с таким содержанием полезных компонентов, которые прежде считались нерентабельными, вовлечь в эксплуатацию такие залежи, которые по горно-геологическим условиям также считаются экономически нерентабельными. Поэтому оценка минерально-сырьевой базы страны, перспективы ее развития должны рассматриваться не только с позиций современного состояния горнодобывающей промышленности, технологии переработки руд, но и с позиций технического прогресса в горной промышленности.

Сейчас, например, добыча твердых полезных ископаемых осуществляется в основном механическим путем, с большим или меньшим присутствием в забое человека. Однако разработаны и практически применяются другие методы добычи полезных ископаемых: подземное химическое выщелачивание, термическая возгонка, подземный электролиз. Их применение открывает новые возможности для использования глубокозалегающих или бедных руд и может дать новый качественный скачок в горном деле.

В будущем резко изменится методика поисков и разведки нефти и газа. Идет совершенствование буровой техники, в том числе и создание автоматических буровых установок, создается более совершенная геофизическая аппаратура, внедряются совершенные электронно-вычислительные машины для обработки геологической информации, разрабатываются теоретические основы нефтегазоаккумуляции, миграции углеводородов, разрабатываются прямые геохимические методы поисков месторождений.

Научно-технический прогресс вызвал к жизни новую интенсивно развивающуюся отрасль знания и производства — синтез минерального сырья. Синтезируются те полезные ископаемые, ресурсы которых в природе ограничены или добыча которых сложнее и дороже, чем выращивание кристаллов в лабораторных и заводских условиях. Известно, например, что в электронике и электротехнике синтетический пьезокварц сейчас успешно вытесняет природный. В будущем синтетическая слюда вытеснит природную слюду, синтетический рубин давно уже в заводских условиях производится в количествах, больших, чем его можно добыть в природе. В будущем появится синтетический оптический кварц, синтетический исландский шпат для оптических приборов. Мы сейчас работаем над получением синтетических бериллов. Синтетические алмазы все больше и больше конкурируют с природными алмазами. Будут синтезироваться минеральные соединения с заранее заданными свойствами. При производстве искусственных кристаллов стремятся не только воспроизвести природные свойства минерала, но и улучшить их. Например, получая синтетический горный хрусталь, можно введением различных элементов придать разнообразную окраску кристаллам, создав по существу, новые виды сырья для ювелирных изделий.

Мы, конечно, не хотим этим сказать, что природные соединения полностью будут вытеснены. Вероятно, в ряде случаев природные соединения также будут разыскиваться, разведываться и использоваться промышленностью, но большое будущее ожидает синтез минерального сырья. Пока им занимаются геологи, но в дальнейшем это вырастет в самостоятельную отрасль промышленности.

Основой любого геологического поиска является геологическая теория и один из главнейших ее разделов — закономерности формирования и размещения полезных ископаемых. Познание закономерностей — синтез всей суммы геологических знаний о строении земной коры, геологических процессах, в ней проходящих, законах миграции и концентрации химических элементов. Одной из важнейших теоретических предпосылок к выяснению закономерности является создание единой историко-геологической концепции развития земной коры от архея до кайнозоя.

Удовлетворение потребностей народного хозяйства в минеральном сырье будет возможно только на основе дальнейшего развития геологической науки и геологоразведочной практики. Повторим и подчеркнем, что коренным образом изменятся методы поисков и разведки полезных ископаемых. В первую очередь осуществится дальнейшая математизация геологии. Геологические явления будут положены на язык цифр и формул, что позволит вводить в геологический прогноз и обрабатывать значительно больше информации, чем это делается в настоящее время. Значительного развития достигнут геохимические методы поисков. Закономерности, устанавливаемые с помощью этих методов, будут главными критериями в поисках, в прогнозировании районов, где следует искать месторождения полезных ископаемых.

Геология весьма многообразна как по видам минерального сырья, так и по характеру геологических объектов, сформировавшихся на протяжении геологической истории Земли, которая составляет более 4 млрд. лет. Трудно осветить все аспекты будущего геологической науки. Мы остановились только на основных вопросах развития геологических работ в нашей стране и геологической науки.

В жизни общества роль геологии, создающей материальную основу для развития промышленности, велика и ответственна. Поэтому в заключение мне хотелось бы выразить надежду, что в будущем геологические знания станут достоянием самых широких кругов населения.

Об А. Е. Ферсмана

Довольно давно, когда я был начинающим геологом, я получил от Александра Евгеньевича Ферсмана проспект его будущей книги о геохимических методах поисков полезных ископаемых с просьбой сообщить о нем свое мнение. Проспект и структура книги мне тогда почему-то очень понравились и я написал ее автору с откровенностью молодости, что предпочитаю высказать свое суждение не по проекту, а по самой книге, когда она выйдет в свет.

Возможно, это обстоятельство, а возможно, общая обстановка привели к тому, что я с Александром Евгеньевичем так и не встретился, не был лично с ним знаком. Но я, как и все мои современники, с интересом наблюдал за этим выдающимся человеком и ученым, видел, слышал его и восхищался его блестящим талантом.

Был он тучен, шарообразен и привлекал внимание окружающих отнюдь, не воздействием своего внешнего облика. Вероятно, он сам это понимал и компенсировал тяжесть и неуклюжесть своей фигуры необычайной подвижностью тела и лица, светлостью мысли и изящностью слова. Говорил он всегда вдохновенно, художественно выразительно, с врожденным талантом оратора и блеском мыслителя. Причем это не были выступления артиста или чтеца с заранее разученной ролью. Наоборот, в его речах было много экспромтного, когда его в порыве ораторского возбуждения поражала неожиданно налетевшая мысль и он искрометно развивал ее, постепенно накаляя себя и покоряя затаившую дыхание аудиторию, бешено аплодировавшую ему, когда он кончал речь, обессиленный и обмякший, садился на стул.

Я помню одно из таких выступлений в Московском геологоразведочном институте. В сравнительно небольшой комнате, переполненной слушателями, Александр Евгеньевич рассказывал об атомистической геохимии. Речь шла об атоме, его строении, о роли особенностей его структуры для геохимических процессов. В комнате стоял рояль. Александр Евгеньевич начал говорить, опершись о его полированную поверхность. Затем он заметил рояль, и вдруг его мысль заработала в этом направлении. Он начал сравнивать строение атома со строением рояля, показывая, что атом так же сложен, как этот музыкальный инструмент, начиненный огромным количеством тончайших деталей, сопряженных между собой таким стройным образом, что они способны создавать волнующую гармонию музыки. По красоте и силе воздействия это была одна из самых великолепных речей, когда-либо мною слышанных.

Известна картина кисти современного художника. На ней изображено мглистое северное небо и завьюженная земля. У задержавшихся на развилке дорог русских розвальней стоит путник, внимательно слушающий другого. А этот другой что-то с жаром рассказывает. Это А. Е. Ферсман сопровождает С. М. Кирова на Кольский полуостров, чтобы пока-

зять ему сокровища недр Хибинских и Ловозерских тундр. На картине очень точно схвачен образ Александра Евгеньевича — человека восторженного до самозабвения и предельно целеустремленного.

Как и всякий выдающийся ученый, Александр Евгеньевич был в душе поэтом. Однако этот поэтический строй научного творчества он, как никто другой, умел подчинять решению прозаических, земных задач, мобилизуя свои высокие научные порывы для дела создания твердых материальных основ строительства социализма в нашей стране.

А. М. Горький в своем письме из Сорренто просил А. Е. Ферсмана, «не обходя исследовательских задач, подчеркивать погуще практические значения исследований и достижений» [2].

Справедливость требует отметить, что в сложные для части русской интеллигенции переломные годы революции А. Е. Ферсман пытался уйти подальше от житейских забот в мир прекрасного камня [3]. Но вскоре раз и навсегда А. Е. Ферсман понял, что только практическая реализация его научных открытий способна придать им должный размах, раскрыть новые горизонты для его пытливых исканий, расширить пределы науки. Вот почему в кипучей деятельности Александра Евгеньевича тесно переплетаются ажурные исследования геохимика и минералога с напористым стремлением внедрить в промышленный круговорот все новые и новые виды минерального сырья. Круг его прикладных интересов был необычайно широк. Тут бариты и фосфориты, калиевые соли и сульфидные глины, слюда и природные краски, железо и марганец, тантал и ниобий, платина и золото, строительные материалы и драгоценные камни, бирюза и русский жемчуг. Некоторые из них относятся к эпизодическим увлечениям ученого, другим он отдал долгие годы своей жизни, вложив в них всю силу своего таланта, страсть ненасытного исследователя, энергию творца нового производства. К проблемам, которым А. Е. Ферсман посвятил многие годы и которыми он занимался в сущности до последних дней своей яркой жизни, относятся, как известно, пегматиты, геохимия, русские самоцветы, алмазы, месторождения Урала, Забайкалья и Средней Азии и, конечно, Кольское Заполярье. Деятельность ученого в перечисленных областях хорошо известна, она описана в трудах самого Ферсмана, в книгах и статьях его биографов и почитателей. Я бы хотел только подчеркнуть прикладное направление мысли, ярко проявленное в основных линиях ведущих работ замечательного ученого.

Толчком к исследованию пегматитов послужил маршрут юного Александра Евгеньевича по следам легендарного Ферручио на о-ве Эльба, приведший его в ущелье Бовалике к пегматитовой жиле Гротта-Доджи. Затем последовал 25-летний период изучения пегматитовых полей Урала, Забайкалья, Кольского полуострова, Туркестанского хребта, Дзирульского массива на Кавказе и других провинций Советского Союза, а также зарубежных стран, и мир получил уникальную монографию о письменных гранитах, образованных из остаточных магматических расплавов [8]. Этот выдающийся научный труд вводит читателя не только в круг увлекательных идей об условиях формирования пегматитов, как образований пограничных между магматическими и постмагматическими, но и ориентирует в путях их промышленного использования. Книга так и называется: «Пегматиты, их научное и практическое значение».

Четырехтомная «Геохимия» А. Е. Ферсмана не только раскрыла «историю химических элементов атомов в земной коре и их поведение

при различных термодинамических и физико-химических условиях природы» [9], но и включила в арсенал методов геологической работы новое мощное средство, резко повышающее эффективность разведочных и особенно поисковых работ, развивающихся на геохимической основе.

В двухтомной монографии А. Е. Ферсмана о драгоценных и цветных камнях Советского Союза [4] с большой любовью подобраны сведения о геологии, минералогии, кристаллографии и геохимии 60 групп русских самоцветов и щедрой рукой разбросаны конкретные рекомендации о приемах их поисков, о моделях промывальных аппаратов, способах извлечения и обработки этих чудесных даров природы.

Глубокий интерес к алмазу возник у Александра Евгеньевича, пожалуй, впервые в 1908 г., когда он по поручению Виктора-Морица Гольдшмита объехал крупнейшие ювелирные мастерские Западной Европы, отбирая здесь те экземпляры этого диковинного минерала, которые были необходимы для выявления кристаллографии алмаза, особенностей строения его деформированных кристаллов. А затем много лет алмаз в тысячах, десятках тысяч карат проходил перед его глазами, завораживая его своим сверкающим блеском, и законы его рождения казались ему величайшими тайнами мира. Все направление мыслей А. Е. Ферсмана подводило к возможности обнаружения алмазов в Сибири, а данная им точная характеристика природных условий нахождения ценного минерала не могла не содействовать этому выдающемуся открытию наших дней.

К месторождениям Урала, Забайкалья и Средней Азии А. Е. Ферсман возвращался неоднократно, начав изучение их, путешествуя на бричке между сопками Даурии в 1914 г. и закончив автопробегами по пустыням и горным хребтам Средней Азии в 1929 и в 1932 г. [10]. Работы Александра Евгеньевича об этих провинциях замечательны, с одной стороны, глубоким проникновением в тонкую минералогию и геохимию месторождений руд и самоцветов, а с другой — смелым анализом региональных закономерностей размещения этих месторождений, рисуя широкими мазками перспективы выявления новых залежей драгоценного минерального сырья.

Выдающимся научным подвигом всем нам представляются Кольские экспедиции А. Е. Ферсмана и его соратников. Эта северная эпопея, начавшаяся летом 1920 г. с маршрута ученого вместе с А. П. Карпинским и А. П. Герасимовым, затем, как известно, перешла в ряд напряженных походов в глубь Хибинских и Ловозерских тундр. И наша страна приняла подарок от энтузиастов «самой древней земли» [1] — открытие уникального месторождения сульфидных медно-никелевых руд, выдающегося месторождения ловчоррита и мирового значения месторождения апатита, эту «окаменелую сказку природы».

Геохимические и геологические исследования А. Е. Ферсмана обычно завершались реальными делами. По следам его маршрутов выросли города Кольского полуострова — Кировск и Мончегорск, первый серный завод Туркмении, трест «Русские самоцветы», Ильменский заповедник, Кольская база — теперешний Кольский филиал Академии наук СССР. Но не только эти материальные памятники хранят воспоминания о научных трудах Александра Евгеньевича. Он относится к такой категории ученых, сила научных открытий и идей которых повелительно владеет умами последующих поколений. Многие направления наших современных геологических исследований опираются на труды А. Е. Ферсмана и еще

очень долго будут питаться его плодотворными мыслями. В одной только области прикладной геологии направляющее значение идей А. Е. Ферсмана в деле расширения минерально-сырьевой базы нашей страны столь многообразно и велико, что невозможно осветить эту проблему всеобъемлюще; ограничимся лишь отдельными примерами.

В настоящее время геологи Советского Союза, а вслед за ними и мира ведут широкий цикл важных исследований по выявлению природных закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых в недрах нашей страны. И работы А. Е. Ферсмана этого профиля оказываются необычайно актуальными. Прекрасным примером оценки перспектив крупных провинций нашей страны является региональный анализ особенностей оруденения юго-восточной части Советского Союза, выполненный А. Е. Ферсманом в 20-х годах. Здесь он выделил грандиозный пояс эндогенных месторождений полезных ископаемых, протягивающийся из пределов Монголии, через Восточное Забайкалье, в бассейны рек Амура и Зеи и далее до побережья Охотского моря на расстояние 1800 км [5]. Монголо-Охотский металлогенический пояс характеризуется, с одной стороны, единством процессов формирования развитых в его пределах месторождений, и с другой — закономерным чередованием их в рамках этого пояса, обусловленным, по А. Е. Ферсману, различным расстоянием участков локализации постмагматических продуктов от гранитных интрузий. Уже тогда ученый намечал центральное положение пневматолитовых месторождений вольфрамовых руд и драгоценных камней и периферическое развитие полиметаллических свинцово-цинково-серебряных руд, особенно характерное для Восточного Забайкалья. Пусть в этой закономерности переоценивается роль околобатолитовой горизонтальной зональности, отдается непомерная дань любимым Александром Евгеньевичем самоцветам, но общее положение Монголо-Охотского пояса, его значение в металлогении Сибири и удивительная внутренняя стройность распределения руд разного состава, как мы знаем, прекрасно подтвердились последующими исследованиями. Таким образом, еще более 50 лет тому назад А. Е. Ферсман предвосхитил идею об особенностях оруденения Тихоокеанского рудного пояса, точное описание которого в последующих трудах акад. С. С. Смирнова все мы склонны рассматривать как поворотный момент в развитии науки о региональной металлогенности, закрепившейся уже после смерти Ферсмана в понятии о металлогении. Это утверждение тем более справедливо, что ученый не ограничился характеристикой оруденения Монголо-Охотской зоны, а переставил мост к другому крупному звену Тихоокеанского пояса, сопоставив рудоносность намеченной им провинции с «рудными гирляндами» Южного Китая, получившими уже к тому времени отчетливую характеристику в трудах Уонга [11].

Еще большее значение имеет другая, более широкая и хорошо известная работа Александра Евгеньевича этого же плана, посвященная общему анализу перспектив распространения полезных ископаемых на территории СССР [6]. Ценность этой работы определяется не только классической систематизацией рудоносности территории Советского Союза по элементам региональной тектоники, эпохам и типам эндогенного минералообразования, но также смелым прогнозом обнаружения новых месторождений, не потерявшим своей силы по ряду положений до наших дней. Разве не актуально звучат такие строки из этого труда: «...всма-

риваясь в геохимические особенности Урала и в их изменения, мы должны ожидать к востоку от современного хребта продолжения тех явлений более отдаленных концентров, которые себя частично выявили на огромном пространстве...» и далее: «думаю, что в будущем предстоит интереснейшая задача путем физических методов и частично наклонного бурения доказать эту мысль и найти методы, пока может быть еще очень фантастичные для поисковых работ в этом равнинном районе, перекрывшем своими третичными осадками огромную древнюю складчатую область...». К увлекательной проблеме глубинных поисков в складчатых структурах Палеоурала, перекрытых чехлом рыхлых отложений Западно-Сибирской низменности, мы по существу только приступили.

Каждый раз, когда перед геологами выдвигается очередная задача по выявлению промышленных запасов сырья для производства новых элементов, мы обращаемся к «Геохимии» А. Е. Ферсмана, где сконцентрированы мудрые указания об условиях концентрации в земных недрах всех элементов менделеевской таблицы. Интересуясь, например, в настоящее время сырьем для получения бора, мы не можем пройти мимо указаний ученого, вытекающих из анализа геохимических свойств этого элемента. Особенно, вероятно, важны представления Александра Евгеньевича о легкой растворимости щелочных соединений комплексных ионов бора, приводящей к концентрации его в нефтяных водах и их осадках, а также в остаточных рассолах отмирающих морей и океанов.

Исключительно прикладным вопросам посвящена одна из последних работ А. Е. Ферсмана — книга о геохимических и минералогических методах поисков полезных ископаемых [7], с которой я начал этот очерк. Очевидно, мы еще не в полной мере оценили этот первый в мировой литературе труд по геохимической методике поисковых работ, те его разделы, в которых описано использование закономерностей парагенезиса при поисках, поиска месторождений генетических типов и геохимические основы поисковых работ в различных природных условиях.

Перелистывая сейчас, тридцать лет спустя после смерти А. Е. Ферсмана, страницы многочисленных его трудов, нельзя не заметить, как сильно они согреты любовью к тому делу, которому он посвятил свою жизнь. И они еще долго будут излучать тепло идей талантливого ученого и мыслителя, освещая сложные и трудные пути исследователям-геологам.

Литература

1. Киров С. М. Доклад на IV областной и городской Ленинградской партийной Конференции 23 января 1932 г. Л., 1932.
2. Писаржевский О. Н. Александр Евгеньевич Ферсман. Жизнь замечательных людей. Изд-во «Молодая гвардия», 1955.
3. Ферсман А. Е. Самоцветы России. Пг., 1920.
4. Ферсман А. Е. Драгоценные и цветные камни России. Т. 1, 1920; Драгоценные и цветные камни СССР. Т. 2. Изд-во АН СССР, 1925.
5. Ферсман А. Е. Монголо-Охотский металлогенический пояс.— Поверхность и недра, 1926, № 3.
6. Ферсман А. Е. Перспективы распространения полезных ископаемых на территории Союза. Изд-во АН СССР, 1932.
7. Ферсман А. Е. Геохимические и минералогические методы поисков полезных ископаемых. Изд-во АН СССР, 1939.
8. Ферсман А. Е. Пегматиты. 3-е изд. Изд-во АН СССР, 1940.
9. Ферсман А. Е. Избранные труды. Т. 3, 1955; т. 4. Изд-во АН СССР, 1958.
10. Щербаков Д. И. А. Е. Ферсман и его путешествия. Географгиз, 1950.
11. Wong W. Les provinces metallogenes de la Chine.— Bull. Geol. Surv. China, 1920, N 2.

Академик

Н. Н. НЕКРАСОВ

Идеи академика А. Е. Ферсмана и современное размещение производительных сил

Академик А. Е. Ферсман — один из основателей Комиссии естественных производительных сил и Совета по изучению производительных сил Академии наук СССР. На протяжении длительного времени А. Е. Ферсман успешно работал в Совете по изучению производительных сил, являясь одним из руководителей Совета и оказывал огромное влияние на развитие идей комплексного использования природных ресурсов и размещения социалистических производительных сил.

Идеи комплексного использования природных ресурсов разрабатывались А. Е. Ферсманом на протяжении многих лет и, что самое ценное, находили непосредственное осуществление в практике планирования народного хозяйства СССР.

Экономическое значение комплексности использования сырьевых и энергетических ресурсов в социалистическом хозяйстве ярко подчеркнуто в следующем определении понятия комплексности: «Комплексная идея есть идея в корне экономическая, создающая максимальные ценности с наименьшей затратой средств и энергии, но это идея не только сегодняшнего дня, это идея охраны наших природных богатств от их хищнического расточения, идея использования сырья до конца, идея возможного сохранения наших природных запасов на будущее. Эта идея дает максимально эффективное использование производительных сил, открывая пути для приложения самых высоких технических методов и вместе с тем группируя предприятия не только по типу продукции, но и по типу технологических процессов и свойствам местного сырья... Снижение себестоимости есть совершенно неизбежный результат комбинированного процесса»¹.

В настоящее время идея комплексности, особенно в планировании и организации территориального хозяйства страны, приобретает все большее и большее практическое значение и не только в отношении природных ресурсов, но и в организации всего комплекса хозяйства союзных республик. Характерно, что А. Е. Ферсман уже в начале 30-х годов особое внимание уделил разработке проблем комплексного использования природных ресурсов в связи с возможностями охраны природной среды и природных ресурсов. Одновременно А. Е. Ферсман отметил особую роль прогресса технологии для рационального комплексного использования сырьевых и энергетических ресурсов. В этом отношении А. Е. Ферсман выступает как яркий представитель науки и практики социалистического планирования, который на основе исключительно широкого диапазона знаний в области природных ресурсов уже в 30-е годы ставит конкретные практические задачи и успешно их решает.

¹ А. Е. Ферсман. Комплексное использование ископаемого сырья. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1932, стр. 19.

В настоящее время мы рассматриваем комплексное изучение хибинских апатитов, проводившееся под руководством академика А. Е. Ферсмана, как классический пример действительно комплексного крупномасштабного подхода к использованию природных богатств северной тундры. Хибинская экспедиция академика А. Е. Ферсмана и последующие широкие комплексные исследования, определившие создание крупнейшего хибинского горно-промышленного района, стали образцом научного обоснования народнохозяйственного освоения новых районов. В разработке идеи Хибин А. Е. Ферсман подходит не только с позиции геохимического, геологического и технологического исследования хибинского апатитового массива, но также глубоко научно с экономической стороны открывает практические перспективы хозяйственного развития этого северного района. Наряду с апатитами А. Е. Ферсман глубоко исследует сопутствующие апатитам минералы и определяет основные экономические направления в их практическом использовании. В своих трудах А. Е. Ферсман уже в 30-х годах дает химическую, технологическую и экономическую оценку нефелинов как ценнейшего сырья для получения глинозема, цемента и содовых продуктов. Долгое время не решалась проблема нефелинов. Однако особенно в последнее десятилетие идеи А. Е. Ферсмана находят все более широкое промышленное применение. На базе хибинских нефелинов, являющихся сопутствующим минералом хибинских апатитов, работают Волховский алюминиевый и Пикалевский глиноземный заводы. Техничко-экономические показатели промышленной переработки нефелиновых руд на этих заводах весьма благоприятны и в полной мере доказывают правильность поставленной в свое время А. Е. Ферсманом проблемы. Но эта идея получила гораздо большее распространение. Были открыты сибирские (ужурские) нефелиновые руды, являющиеся сырьевой базой крупного Ачинского глиноземного комбината. Применение нефелинов как комплексной руды для получения глинозема, цемента и содовых продуктов все время расширяется. Намечается строительство ряда крупных заводов по переработке нефелиновых руд Кольского полуострова в европейской части СССР. Экономическое значение переработки нефелиновых руд как комплексного сырья заключается не только в получении ценных для народного хозяйства промышленных продуктов, но имеет принципиальное значение для охраны природной среды и природных ресурсов. Дело заключается в том, что современные способы получения содовых продуктов связаны с одновременным получением так называемой дистиллерной жидкости, которую практически использовать очень сложно. Эта дистиллерная жидкость образует огромные «белые моря», которые в дальнейшем сбрасываются в речные системы, что приносит большой вред водоемам. Производство содовых продуктов на базе нефелиновых промышленных руд лишено этого крупнейшего недостатка. Практически никаких вредных отходов при комплексной переработке нефелинов не получается. Поэтому метод производства глинозема, цемента и содовых продуктов является не только весьма экономичным, но и определяет новые отношения к сохранению природной среды.

Академик А. Е. Ферсман большое внимание уделил изучению металлогенических поясов и провинций, особенно в Сибири и на Дальнем Востоке. Дальнейшие геохимические и геологические исследования обширной полосы Сибири и Дальнего Востока подтвердили и уточнили на-

хождение крупнейших рудных поясов, имеющих принципиальное значение для организации геологопоисковых и геологоразведочных работ в Сибири и на Дальнем Востоке. Все большее значение приобретает тихоокеанский рудный пояс, протягивающийся на обширной территории Дальнего Востока и Забайкалья, где обнаруживаются крупные новые месторождения цветных металлов и золота. Идеи Ферсмана в отношении рудных поясов имеют в наше время практическое значение с точки зрения определения дальнейших направлений в развитии производительных сил на обширной территории Сибири и Дальнего Востока.

Я хотел бы особо отметить большой интерес, который проявлял А. Е. Ферсман к проблемам Сибири и к изучению ее природных богатств. Исключительно широкая эрудиция академика А. Е. Ферсмана позволила ему не только оценить возможные богатства недр Сибири, но и правильно определить направление их практического использования. Активное участие А. Е. Ферсмана в плановой работе, в дискуссиях по научным проблемам развития производительных сил оказало огромное влияние на постановку новых проблем и их практическое решение. Мне приходилось встречаться с А. Е. Ферсманом в Иркутске, в Забайкалье, на Байкале. Он всегда был полон большим запасом идей, огромной энергией и ярко представлял себе будущее развитие Сибири и Дальнего Востока. Следует отметить, что многие из идей А. Е. Ферсмана практически осуществлялись или находятся в стадии планового решения.

В настоящее время, когда приходится ставить и изучать новые проблемы развития и размещения производительных сил СССР мы непременно возвращаемся к трудам Александра Евгеньевича Ферсмана. Особенно ценным являются комплексные методы изучения новых районов, освоения обширных природных ресурсов северных регионов, разработанные акад. А. Е. Ферсманом еще в первые годы широкого индустриального развития страны. Его увлечение реальным подходом к использованию комплекса природных богатств страны имело большие последствия для планового социалистического хозяйства.

Вадозные термальные растворы и рудообразование

Введение

В настоящее время имеется достаточно оснований предполагать, что многие гидротермальные рудные месторождения образовались путем отложения минералов из вадозных растворов. Источником рудных веществ таких месторождений следует считать породы, в которых циркулируют нагретые подземные воды (вадозные термальные воды). В соответствии с этой концепцией образование осадочных гидротермальных (термально-осадочных) месторождений на дне моря происходит в местах разгрузки термальных вод или близ них. Если разгрузка термальных рудоносных вод является внутренней, т. е. происходит на той или иной глубине от поверхности дна моря или поверхности суши, то образуются так называемые вадозно-гидротермальные месторождения; многие ценные идеи об их формировании были сформулированы А. И. Германовым [6] и А. М. Овчинниковым [16]. Таким образом, в зависимости от условий из одних и тех же металлоносных термальных вод вадозного типа (нагретых немагматических подземных вод) могут формироваться: а) месторождения термально-осадочных руд — при излиянии термальных вод на морское дно или (значительно реже) на поверхность Земли; б) месторождения типа выполнения трещин и полостей, а также метасоматические тела — при внутренней разгрузке термальных вод.

Многие месторождения, которые могут быть отнесены к одной из двух указанных групп, по совокупности данных принадлежат к низкотемпературным. К их числу относятся некоторые месторождения железа, марганца, свинца и цинка, меди, а также все месторождения барита и многие месторождения флюорита. Предпосылками для образования подобных месторождений являются: наличие на глубине термальных вод, активно и продолжительно воздействовавших на породы с мобилизацией рудообразующих компонентов; возможность разгрузки термальных вод. Масса термальных вод подземной гидросферы огромна.

Воды платформ, краевых прогибов и межгорных впадин образуют артезианские бассейны, в которых ближе к поверхности находятся пресные и солоноватые гидрокарбонатно-сульфатные, гидрокарбонатные и гидрокарбонатно-хлоридные воды; их температура редко превышает 20°. Ниже располагаются сульфатные воды, температура которых большей частью ниже 50°. Термальные воды, характерные для более глубоких горизонтов, обычно являются солеными или рассольными хлоридно-натриевыми до хлоридно-кальциевых с минерализацией до 500—650 г/л. В более молодых артезианских бассейнах термальные воды значительно менее минерализованы [14]. В формировании соленых вод и рассолов большую роль играет растворение эвапоритов.

В геотектонически подвижных областях циркуляция вод трещинно-пластовая и трещинная. Наиболее интенсивный водообмен происходит в

вулканических областях, где дренируются практически все водоносные комплексы верхней гидросферы, часто с изменением состава захороненных морских вод вследствие инфильтрации вод с поверхности [7]. Местами, как в Исландии, в термальные поля подземной гидросферы поступает морская вода [38].

В областях древних горных сооружений, как Центральный Казахстан и Урал, которые характеризуются открытыми структурами, термальные воды отсутствуют. Зоны питания, распространения и дренажа здесь совпадают. Трещинные воды обычно слабо минерализованы (не более 1 г/л), большей частью гидрокарбонатно-кальциевые [21].

Соленые или рассольные термальные воды хлоридного типа обладают наибольшей способностью к растворению рудообразующих компонентов. По данным В. А. Кротовой [10], рН подземных вод с глубиной падает до 3—5; для некоторых рассолов отмечены значения рН 2—3. В рассолах из пород переходят большие количества железа, марганца, бария, стронция, много свинца, цинка, меди, а также другие элементы. В сравнении с солеными или рассольными хлоридными водами общее мобилизирующее действие вод других типов значительно ниже. Длина путей циркуляции термальных вод может исчисляться сотнями километров.

Следует подчеркнуть, что подземные воды континентов могут разгружаться не только в пределах суши, но и в море; примеры современных подводно-морских источников многочисленны [26]. Подземные пресные воды континентального происхождения при бурении обнаружены в породах дна Атлантического океана на расстоянии около 100 км от побережья Флориды. У восточного побережья Африки (между Танзанией и Мозамбиком) пресные воды выходят на дне моря на глубине 1735—1771 м [20]. Выходы таких вод могут быть приурочены и к подводным вулканам.

Главная масса современных подземных термальных вод представлена солеными водами и рассолами. Они вскрыты многими скважинами и в ряде мест выходят на поверхность в виде источников.

Разгрузка подземных термальных вод предопределяется в основном тектоническими факторами. Большое региональное значение имеют рифтовые зоны и зоны крупных разломов. К локальным участкам разгрузки термальных вод принадлежат трубки взрыва. При разгрузке термальных вод на морском дне первостепенное значение имеет его рельеф: при отсутствии впадин, особенно в зоне сильных придонных течений, накопление значительных масс рудного вещества, выделяющегося из растворов, невозможно. Важнейшим условием для образования сульфидных руд на морском дне является возможность достаточно интенсивного проявления в них бактериальной сульфатредукции с выделением свободного сероводорода. Помимо изложенных выше общих соображений о вадозных термальных водах и образовании руд при их разгрузке, представления о генезисе термально-осадочных и вадозно-гидротермальных месторождений основываются на данных о современных термальных системах и молодых рудных отложениях из нагретых вадозных вод. Соответствующие примеры рассмотрены ниже.

Волго-Уральский регион Русской платформы. Пресные, преимущественно гидрокарбонатные и гидрокарбонатно-сульфатные воды, характерные для верхних частей водоносной толщи, с глубиной сменяются со-

леными (минерализация до 50 г/л), а еще ниже — рассолами (минерализация 50—300 г/л и более); мощность толщи пород с рассолами от 400 до 3000 м [1]. Соленые воды и рассолы из девонских толщ характеризуются высокими содержаниями железа (до 500 мг/л), стронция (до 700 мг/л), бария (до 200 мг/л). В небольших количествах в девонских водах содержатся марганец, цинк, ванадий, фтор и другие элементы. Температура вод в девонских толщах на глубине 1500—1800 м составляет около 35—40°. Предполагается, что эти воды формировались очень длительно. Сульфатная сера во многих девонских рассолах практически отсутствует. Сероводород в них не обнаружен, что связывается с завершением сульфатредукции в более ранний период. В отличие от девонских воды карбоновых и пермских отложений большей частью являются сероводородсодержащими. Воды пермских отложений Краснокамского района содержат сероводорода до 1000 мг/л, а воды среднего карбона Башкирии — до 1092 мг/л [10].

На территории Поволжья и Прикаспия сероводородная зона выше сменяется кислородной, а ниже — метановой (2). Зона сероводородных вод характеризуется замедленным водообменом. Воды этой зоны являются сульфатно-хлоридными. Источником их сульфатной серы послужили пермские гипсоносные отложения. Отмечается связь образования сероводорода с содержанием в породах битуминозных веществ. Воды с температурой выше 100° в Поволжье залегают на глубине 3,0—4,5 км. Наиболее высокие температуры подземных вод характерны для закрытых структур.

В Оренбургской области рассолы из пермских отложений (минерализация до 300 г/л) содержат до 1750 мг/л стронция. В рассолах из верхнедевонских отложений Саратовской области содержится до 4 мг/л меди. Ее содержание возрастает с глубиной с понижением рН рассолов. В грунтовых водах верхних горизонтов содержание меди не превышает 7 мкг/л. Содержание цинка в рассолах из пермских отложений юго-востока Русской платформы увеличивается с возрастанием их общей минерализации и понижением рН; местами оно достигает 140 мг/л. Характерно, что в пресных и солоноватых водах этой территории содержится не более 0,26 мг/л цинка. Источниками меди и цинка считаются терригенные отложения [17].

Сибирская платформа. В западных и южных районах Сибирской платформы распространены глубинные хлоридные кальциево-натриевые и кальциевые рассолы, обычно кислые (рН 2—6), с минерализацией до 300 г/л и выше. Характерно высокое содержание в них стронция (до 5 г/кг), марганца (до 1 г/кг) и (при отсутствии сероводорода) железа (до 3 г/кг и более). Некоторые воды кембрийских сланцев Лено-Алданского района содержат до 1440 мг/л бария [6]. Происхождение рассолов связывается с метаморфизацией рапы нижнекембрийских соленых бассейнов [3]. В некоторых рассолах содержатся повышенные количества кремнезема, например в Нижнеудинской и Атовской скважинах, в рассолах, температура которых равна 50—65°, содержится 1445—1745 мг/л SiO₂ [14].

Челекен. Многочисленными буровыми скважинами здесь на поверхность из неогеновых отложений выводятся хлоридно-натриевые воды с температурой до 92°, минерализацией 150—290 г/л и рН 5,5—6,6. Из двенадцати водоносных горизонтов, которые дренируются скважинами,

самый верхний характеризуется содержанием в водах сероводорода. В крепких термальных рассолах с рН 5,5–6,2 содержится до 40 мг/л Рb и до 25 мг/л Zn. Содержание в подземных водах Челекена марганца — 50 мг/л, кадмия — 1,8 мг/л, мышьяка — 0,7 мг/л и т. д. По А. В. Щербакову [20], в подземных водах Челекена содержится до 2 г/л железа. Содержание Cl и SO₄ соответственно составляет до 150–165 и 250–575 мг/л, а содержание Na и Ca — до 65–85 и около 20 мг/л.

В осадках, выделившихся из термальных вод Челекена, выведенных на поверхность скважинами, обнаружены сульфиды железа, сфалерит, галенит, самородный свинец. В сбросовых и трещинных зонах обычны выделения тонкозернистого пирита с небольшим количеством галенита и сфалерита [12, 13]. По нашим данным, железо при выходе на поверхность выделяется в виде ферригидрита. Величина δ³⁴S сульфидов цинка и железа, выделившихся у устья скважин, составляет от +10,7 до +14,1‰, а величина δ³⁴S сероводорода, выделяющегося из нефтяных скважин района, от +12,0 до +13,2‰, δ³⁴S сульфата из контура нефтеносности — до +28,7‰ [5]. Положительные значения δ³⁴S сероводорода и сульфидов следует объяснить сульфатредукцией при затрудненном поступлении сульфатсодержащих растворов и очень низкой концентрацией сульфата в сфере бактериальной активности. По данным З. И. Кузнецовой [11], в пластовых водах Челекена, содержащих сероводород, обычны сульфатредуцирующие бактерии.

Другие районы СССР. В водах юрского комплекса Южно-Мангышлакско — Устюртского прогиба содержания цинка и меди соответственно достигают 4 и 2 мг/л, а содержание стронция колеблется в пределах 500–700 мг/л [9]. Воды из палеогеновых отложений Северного Кавказа содержат (в мг/л): Zn — 2,1, Рb — 3,8, Cu — 1,8 [6].

В Гаурдаке (Туркм. ССР) из горячих рассолов нижнемеловых отложений в скважинах выделяется осадок, содержащий свинец, мышьяк, серебро и другие металлы [18].

Центральная часть штата Миссисипи. Буровыми скважинами на площади 2600 км на глубинах от 2440 до 4000 м обнаружены рассолы, содержащие значительное количество стронция, железа, цинка, свинца и других элементов. В нефтеносном поле Рэлей рассол происходит из юрских отложений формации Бей-Спрингс; его температура 130°, рН 5,77. Состав рассола из скважин района Рэлей (в мг/л): Na — 79200; Ca — 37700; Mg — 2680; Sr — 2260; K — 860; Fe — 420; Zn — 357; Pb — 111; Ba — 59; Cl — 194 600; Br — 1710; SO₄ < 50; HCO₃ < 30; J — 22; H₂S < 0,1.

Среднее содержание свинца и цинка в рассолах формации Бэй-Спрингс соответственно 65 и 280 мг/л.

Породы этой формации представлены грубозернистыми кварцитами, в породах которых наблюдаются кальцит (FeO — 0,8% и MgO — 1,1%), анкерит, диксит и барит. Предполагается, что свинец и цинк происходят из калиевого полевого шпата и обломков пород [27].

Солтон-Си (Калифорния). Широкую известность получили горячие хлоридные рассолы, вскрытые буровой скважиной, глубиной 1570 м; в ее нижней части температура превышает 270° и, возможно, достигает 370°. Содержание ряда компонентов в рассоле (в частях на миллион частей рассола): Na — 54000; K — 23 800; Fe — 3000; Sr — 2000; Mn — 1000;

Zn — 500; В — 500; Li — 321; Ba — 200; Pb — 100; Cu — 20; Ni — 2; Ag — 2; Cr — 0,5.

Главным анионом рассолов является хлор; сульфатный ион не обнаружен. Сероводород отсутствует или содержится в ничтожном количестве. Осадок, выделившийся из этого рассола в буровой трубе, содержит железо, марганец, серебро, золото и другие элементы. В основном он рентгеноаморфный. Отдельные пики дифрактограмм отвечают борниту. В качестве новообразований, возникших при действии горячих рассолов на породы (глинистый сланец и очень тонкозернистый песчаник), отмечены хлорит, альбит, эпидот, кварц, пирит и др. [39].

Данные об изотопном составе свинца и стронция показывают, что оба эти элемента в рассолах Солтон-Си могут целиком происходить из осадочных пород [29].

Области молодого вулканизма. Образование термальных систем в вулканических областях является результатом поступления в них вадозных вод с окружающих территорий или непосредственно с поверхности. В том и другом случае происходит нагревание вод, вследствие чего их способность к растворению компонентов вулканогенных пород сильно возрастает. В более ранний период вулканической активности такие воды обогащены хлористоводородной или серной кислотой, что резко усиливает их агрессивность по отношению к породам. Бесспорные доказательства выделения существенных количеств рудообразующих элементов вулканических областей из магмы отсутствуют.

Кислые термальные воды с HCl или H₂SO₄ известны во многих областях современного вулканизма. Многие из них отличаются повышенным содержанием железа и алюминия [8].

В *Японии* в кислых существенно хлоридных водах источников группы Томагава (Cl — до 3175 мг/л; SO₄ — до 174 мг/л; HSO₄ — до 1178 мг/л; pH 1,2—1,7) наряду с железом (до 85 мг/л) и алюминием (до 170 мг/л) содержится свинец (в виде ионов Pb²⁺ и PbCl⁺); барит из осадков этих источников содержит 1—16% Pb [36].

На *о-ве Новая Британия* (архипелаг Бисмарка) в гавань Матупи из вулканической области изливаются горячие источники с pH 2,5—4,0, которые содержат много железа и более 1000 мг/л цинка. Вследствие образования водной окиси железа вода приобретает красновато-бурю окраску [22]. Из-за очень кислой реакции воды или отсутствия органического вещества сульфатредукция с образованием сероводорода в охарактеризованных случаях не проявляется, поэтому сульфиды в осадках отсутствуют.

Вадозная природа основной массы термальных вод Курило-Камчатской вулканической области с несомненностью подтверждается определениями изотопного состава водорода, кислорода, углерода, гелия и аргона [4]; такое же происхождение следует приписать термальным водам других областей активного вулканизма [37]. В областях активного вулканизма термальные подземные воды (особенно не содержащие значительных количеств серной кислоты) обычно несравненно более слабо минерализованы, чем глубинные термальные рассолы, и содержат очень небольшие количества ряда элементов. Это может быть проиллюстрировано данными, приводимыми в таблице содержания отдельных элементов [31], относящимися, за исключением Солтон-Си, к термальным водам вулканических областей.

Содержание элементов в термальных водах вулканических областей
(в частях на 1 млн.)

Район	$t, ^\circ\text{C}$	Cl	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Ba
Солтон-Си	до 340	205 000	2500	2000	600	85	6	20
Вайракей	250	2200	1,1	0,2	0,012	0,002	0,8	0,01
Вайотапу	98	2000	0,5	0,5	0,006	0,001	—	0,14
Иеллоустонский парк	94	405	0,06	0,1	0,1	0,01	0,03	0,1
Исландия	90,5	63	0,1	—	—	—	—	0,01

Особенности состава вод вулканических районов объясняются тем, что в таких районах условия весьма благоприятны для разгрузки вод верхних водоносных горизонтов.

Ниже даны примеры отложения рудного вещества при естественной разгрузке подземных вод в позднетретичное и четвертичное время.

А. Вне вулканических областей.

Красное море. В рифтовой зоне Красного моря обнаружено несколько глубоких впадин (Атлантис II, Чейн, Дискавери), в которых в течение продолжительного времени происходит разгрузка металлоносных существенно хлоридных рассолов (t 41,2—57,7°), с образованием существенно железистых осадков. Проба рассола из впадины Атлантис II ($t=56^\circ$) содержит (в мг/кг): Mn — 82,0; Fe — 81; Zn — 4,8; Pb — 0,63; Cu — 0,26; Co — 0,16; SO₄ — 8,40; Cl — 156 030.

Содержание в рассолах кремнезема после его частичного осаждения составляло 59 мг/л; pH рассолов от 5,61 до 6,5. Состав проб бурого осадка из впадины Атлантис II (в %):

	Обр. 1	Обр. 2
Fe	53,53	57,18
Mn	0,215	0,367
Zn	0,58	0,52
Cu	0,57	0,37
S	0,655	—
Сорг	0,2—0,5	—
CO ₂	2,90	1,30

В поровых водах осадка из этой впадины содержится около 1 мг/л меди.

Сульфатная сера из пор осадка имеет практически тот же изотопный состав, что и сульфатная сера воды Красного моря. Сульфидная сера осадка характеризуется величиной $\delta^{34}\text{S}$ от +3,4 до +6,2‰. Вероятно, она уже имелась в рассоле, так как при ее возникновении *in situ* сульфатная сера поровой воды осадков должна была отличаться более высокими значениями $\delta^{34}\text{S}$. Наличие в осадках самородной серы ($\delta^{34}\text{S}$ от +4,0 до +6,0‰) свидетельствует о содержании в металлоносных рассолах свободного сероводорода. $\delta^{34}\text{S}$ сульфата рассолов — от +18,2 до +21,9‰. Сульфатредуцирующие бактерии в рассолах не обнаружены; очевидно, что образование сульфидной серы происходило в толще пород, через которые просачивались рассолы.

Предполагается, что было несколько циклов поступления металлоносных рассолов на дно Красного моря. Процесс их разгрузки с образованием осадков продолжается и в настоящее время. Бесспорных доказательств связи металлоносности рассолов с вулканической активностью нет.

Среди осадков впадин Красного моря выделяются фации: железисто-монтмориллонита, водных окислов железа, сульфидная, манганосидеритовая, ангидритовая, марганцевая. Причинами образования осадков являются охлаждение и смешение рассолов с кислородсодержащей морской водой. Осадки имеют очень тонкую слоистость. Железистый монтмориллонит содержит Fe^{2+} и Fe^{3+} ; в нем обычны выделения сфалерита, встречаются гётит и манганосидерит.

Окислы железа из впадины Дискавери оказались ферригидритом [19]; отмечено наличие в них небольших количеств лепидокрокита и в единичных находках — гематита. В осадках окислов железа в среднем содержится (в %): Fe_2O_3 — 64,2; FeO — 2,7; Mn_2O_4 — 1,1; ZnO — 0,7; Cu — 0,3; CO_2 — 3,6; S — 0,6; SiO_2 — 8,7; CaO — 3,4. Цинк в этих осадках в основном представлен сфалеритом. Образование слоя окислов железа происходило не ранее 60—65 тыс. лет назад; часть окислов железа отложена по крайней мере 100 тысяч лет назад. Сульфидные осадки образуют пласт черного цвета, состоящий из сфалерита, подчиненного количества пирита и халькопирита; в одном образце обнаружен грубокристаллический барит. Большая часть кремнезема содержится в остатках радиолярий.

Манганосидеритовый осадок образует полулитифицированные прослойки (до 2 см) среди железистого монтмориллонита или окислов железа. Ангидрит слагает прослой мощностью до 20 см. Марганцевые осадки сложены хорошо окристаллизованным манганитом, местами вместе с тодорокитом, гроутитом или вудраффитом. Предполагается, что окисные минералы марганца образовались по манганосидериту, который в свою очередь рассматривается как продукт замещения карбоната кальция детрита.

Средние содержания металлов в осадках впадин Красного моря (в %): Fe — 29, Zn — 3,4; Cu — 1,3, Pb — 0,1. Кроме того, установлены (в частях на миллион): Ag — 54 и Au — 0,5. Средние мощности осадков во впадине Атлантик II: железистый монтмориллонит — 4 м, окислы железа — 3,5 м, сульфиды — 1 м. Скорость накопления осадков составила более 40 см за 1000 лет (вне впадин 2—8 см за 1000 лет). Возможной причиной низкого содержания свинца в осадках считается его выделение из металлоносных рассолов на пути их следования в трещинах, сбросовых зонах, участках брекчирования и по плоскостям напластования в карбонатных породах, залегающих под современным дном Красного моря. Возможными источниками металлов явились глинистые сланцы и другие осадочные породы. Данные об изотопном составе кислорода и содержания дейтерия указывают на вадозный характер рассольных вод и их разгрузку на расстоянии по крайней мере 400 км от области питания через несколько тысяч лет с начала их перемещения из этой области [32].

Северный Афарский рифт (Абиссиния) расположен на пересечении трех рифтовых зон Земли: Индийской, Восточно-Африканской и зоны Красного моря. Площадь Афарского рифта в течение большей части

позднемиоценового времени была занята морем, которое сообщалось с Красным морем; отделение от последнего произошло 30 000 лет назад. В формации Эн-Кафала в основании толщи рифтовых известняков имеется марганцево-баритовая залежь, возраст которой — 200 000 лет. Мощность залежи до 2 м. В участках наибольшей мощности обособляются руды, состоящие из водных окислов железа, возможно, с нонтронитом. Минералы марганца в рудах представлены пиролюзитом, бёрнесситом, тодорокитом и редким родохрозитом; в марганцевых рудах много стронциобарита, содержащего 14,9% SrSO_4 и менее 0,1% PbSO_4 . Рудная залежь подстилается туфогенными породами. Месторождение рассматривается как гидротермальное подводно-морское, сформировавшееся в тот период, когда море Афарского рифта и Красное море составляли единое целое. В настоящее время на территории, примыкающей к Афарскому рифту, имеются термальные источники ($40-50^\circ$), питающие соленые озера; вода этих источников содержит до 35,9 г/л Cl, до 0,62 SO_4 , Na — до 13,75 и Ca — до 6,40 г/л. В основании депрессии Афар залегают эвапориты. На расстоянии в несколько километров от марганцево-баритовой залежи на поверхность выходит концентрированный раствор FeCl_2 с температурой около 108° . Очевидно, термальная активность вдоль Афарского рифта проявилась в течение большей части плейстоцена; соли вадозных вод происходят в основном из эвапоритов, многие катионы экстрагированы из базальтов. Отсутствие сульфидов в рудах Эн-Кафала объясняется тем, что рассольные воды изливались в зоне мелководья, где восстановительные условия отсутствовали [23].

Восточно-Тихоокеанское поднятие (экваториальная область Тихого океана). На вершине этого поднятия (хребта) обнаружены осадки, обогащенные железом, марганцем, медью, хромом, никелем и свинцом. В отличие от вершин на флангах поднятия наблюдается обогащение барием и стронцием (в виде целестобарита). Отмечается связь поднятия с рифтообразованием в Калифорнийском заливе. Отложение осадков связывается с излиянием на морское дно горячих растворов [25].

Аналогичные осадки обнаружены бурением в других местах восточной части Тихого океана. Одна из скважин показала, что нижняя часть слоя таких осадков состоит из рентгеноаморфных окислов железа и марганца, а верхняя обогащена детритным материалом, в основном эолового происхождения, местами с баритом [24]. Другая скважина вскрыла осадки (ранний миоцен — средний эоцен), обогащенные железом и марганцем; некоторые железистые осадки содержат цинк, никель, медь, кобальт и свинец [28].

Соленое озеро Пернэтти-Лэгуи (Южная Австралия). Здесь имеются концентрации меди в виде сульфидов, выделившихся под действием сероводорода бактериального происхождения из инфильтрационных медьсодержащих вадозных вод в осадочных породах, залегающих под дном озера. Водопроницаемые породы (песчаники, реже — брекчированные доломиты), несущие медное оруденение, подстилаются менее проницаемыми и практически безрудными породами. Сульфидные минералы представлены халькопиритом, халькозином, борнитом, ковеллином, сфалеритом, пиритом.

Изверженные породы в этом районе отсутствуют. Нет также признаков явного структурного контроля оруденения. Начало образования сульфидов относится к третичному периоду. Грунтовые воды, относительно

пресные или соленые, содержат 4 мг/л Cu и местами такое же количество цинка; их pH 5,4—7,3.

В илах Пернэтти-Лэгуи содержится (в частях на миллион): Cu — до 500 000, Zn — до 230, Pb — до 80, Mn — до 2230. Содержание Fe достигает 4,2% [33]. В илах обнаружены различные виды сульфатредуцирующих бактерий [22, 30]. $\delta^{34}\text{S}$ сульфидной серы рудоносных пород составляет от $-15,6$ до $+26,0\text{‰}$. Судя по этим данным, осаждение меди начиналось в иле, насыщенном морской водой, и продолжалось после того как ил практически оказывался изолированным от нее, в более поздний период образования сульфидов, когда содержание изотопа $\delta^{34}\text{S}$ в сульфидной сере стало высоким. Закономерные различия в изотопном составе серы отдельных сульфидных минералов отсутствуют. $\delta^{34}\text{S}$ грунтовых вод составляет от $+13,3$ до $+19,10\text{‰}$. Гипс из осадков озера характеризуется величиной $\delta^{34}\text{S}$ от $+15,7$ до $+18,2\text{‰}$.

Б. В вулканических областях.

Кальдера вулкана Санторин в Эгейском море. В этой кальдере на морское дно выходят источники с температурой воды до $30\text{--}40^\circ$ (температура морской воды здесь около 17°). Некоторые источники относятся к группе углекислых и содержат $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$. Окисление железа приводит к образованию его водной окиси.

В бухте у юго-западного берега о-ва Нео Камени толщина слоя железистого осадка составляет до 70 см. Его верхняя часть (25—40 см) сложена ржаво-бурым или оранжево-красным илом, в котором железо в главной массе содержится в виде водной окиси; по нашим данным, она в значительной части представлена ферригидритом [19].

Вулканическая область Таупо в Новой Зеландии. Термальные флюиды этой области являются хлоридными натриевыми. Их температура в Вайракее на глубине 1200 м достигает 265° ; газы флюидов — углекислота и сероводород. Сульфидные минералы, образовавшиеся из горячих флюидов, представлены пиритом и пирротином. Местами наблюдается ангидрит, реже — алунит. Термальный флюид характеризуется величинами $\delta^{34}\text{S}$ [35]: H_2S — средн. $+3,00\text{‰}$; SO_4 — средн. $+22,0\text{‰}$. Значения $\delta^{34}\text{S}$ отдельных минералов: пирит от $+3,5$ до $+7,4\text{‰}$; пирротин от $+2,7$ до $+5,9\text{‰}$; ангидрит $+16,1\text{‰}$; алунит (гипергенный) — от $-1,4$ до $+6,9\text{‰}$. По-видимому, в гидротермальном флюиде происходила регенерация сульфата за счет H_2S ; вследствие чего сера ангидрида является более легкой, чем сера растворенного сульфата. Сульфидная сера термального флюида была относительно хорошо гомогенизирована еще до поступления в сферу образования сульфидов. В осадках из горячих вод Вайотапу обнаружены: Sb и As — до 2%, Hg — 400 частей на 1 млн.; Tl — 350 частей на 1 млн., Ag — 200 частей на 1 млн. и Au — 80 частей на 1 млн. [31].

Кальдера Узон на Камчатке. В этой кольцевой вулcano-тектонической депрессии, возникшей в начале верхнего плейстоцена, имеются выходы термальных натриево-хлоридных или сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатных вод с pH 1—8 и температурой $20\text{--}90^\circ$. Рудная минерализация и современные термальные воды приурочены к системе разломов. В месте разгрузки термальных вод наблюдаются реальгар, аурипигмент, антимонит и в меньших количествах — пирит, марказит, сфалерит, киноварь, метациннабарит, ковеллин, халькозин, барит, опал, гипс, битумы, самородная сера [15]; $\delta^{34}\text{S}$ сульфидов — от 6,1 до $+1,1\text{‰}$, сероводорода от $-1,6$ до $0,0\text{‰}$ [34]. Пробы сульфидной серы растворов кальдеры Узон харак-

теризуются величинами $\delta^{34}\text{S}$: 1) $-2,5$; 2) $-0,5$, 3) $+1,1$; 4) $+3,6$; 5) $+5,6$; 6) $+22,4\%$. Эти данные указывают на несомненное участие в растворах биогенной серы.

Заключение

Возможность образования месторождений руд железа, марганца, свинца, цинка и меди, а также барита и целестина из термальных вод вадозного происхождения подтверждается данными по современным термальным системам и молодым проявлениям рудной минерализации.

Главную роль в мобилизации рудообразующих элементов из пород литосферы (в основном — осадочных или вулканогенно-осадочных) принадлежит глубинным горячим хлоридным рассолам; в них легко осуществляется миграция многих элементов. Минералообразование из таких растворов происходит при выделении углекислоты (отложение карбонатов железа и марганца), падении температуры (отложение кварца, флюорита, частью — барита) или при смешении с водами иного состава, содержащими кислород (отложение окислов железа и марганца), сероводород (отложение сульфидов) или сульфатную серу (отложение барита). Из вод, несущих железо, марганец, барий и смешивающихся с кислородсодержащими сульфатными водами, образуются окисные железные и марганцевые руды с баритом; при смешении вод, содержащих Pb, Zn, Cu, Fe, с сульфатными и сероводородными водами происходит отложение сульфидов названных металлов и барита. Сульфидная и сульфатная сера минералов, выделившихся из вод вадозной природы, является биогенной; величины $\delta^{34}\text{S}$ одновозрастных сульфидов могут значительно отличаться от метеоритных и характеризоваться большим разбросом.

Выделение из нагретых вадозных вод ферригидрита, который самопроизвольно (без повышения температуры) переходит в гематит, позволяет объяснить образование многих гематитовых месторождений без участия вулканических газовых выделений или высокотемпературных растворов. Раздельное существование в подземной гидросфере вод, резко отличающихся по составу, смешение которых вызывает осаждение рудных компонентов, иллюстрируется многими примерами. Из них рассолы обычны в глубоких частях подземной гидросферы. Разгрузка подземных вод может происходить как в тектонических зонах (Красное море, Афарский рифт) и вулканических областях (Таупо, кальдера Санторина и др.), так и вне их (Пернэтти Лэгуи). При разгрузке на дне моря возникают гермально-осадочные месторождения; содержание в осадках вулканогенного материала не является доказательством происхождения рудного вещества из магмы вулканов. Внутренняя разгрузка термальных вадозных вод приводит к образованию многих жильных или близких к ним рудных тел.

Литература

1. *Афанасьев Т. П.* Подземные воды Среднего Поволжья и Прикамья и их гидрохимическая зональность. Изд-во АН СССР, 1956.
2. *Афанасьев Т. П.* Формирование подземных вод, гидрохимическая и геотермическая зональность. Гидрогеология СССР, т. 19. Поволжье и Прикамье. М., 1970.
3. *Басков Е. А.* Подземные рассолы седиментационного генезиса и их роль в процессах рудообразования (на примере Ангаро-Илимских железорудных месторождений Сибирской платформы). Материалы совещ. «Общие закономерности геологических явлений». Л., 1965.
4. *Басков Е. А., Ветштейн В. Е., Суриков С. Н., Толстухин И. Н., Малюк Г. А., Мишина Т. А.* Изотопный состав Н, О, С, Аг, Не термальных вод и газов Курило-Камчатской вулканической области как показатель условий их формирования.— Геохимия, 1973, № 2.
5. *Виноградов В. И., Чернышев И. В., Шанин Л. Л.* Изотопный состав серы в современных металлоносных гидротермах Челекена.— Геол. рудных месторожд., 1969, № 3.
6. *Германов А. И.* О возможном участии подземных вод в гидротермальном рудообразовании.— Изв. АН СССР, серия геол., 1953, № 6.
7. *Германов А. И., Маврицкий Б. Ф., Пигьева К. Е., Поляков В. А., Седлецкий Ю. Б., Швец В. М.* Проблема глубинного происхождения термальных подземных вод в свете современной информации о верхней гидросфере.— Изв. АН СССР, 1972, № 8.
8. *Зеленов К. К.* Вулканы как источники рудообразующих компонентов осадочных толщ. «Наука», 1972.
9. *Корценштейн В. Н.* Гидрогеология нефтегазовых месторождений и разведочных площадей Южного Мангышлака и сопредельных районов Устьурта. «Недра», 1972.
10. *Кротова В. А.* Гидрогеологические критерии нефтеносности.— Труды ВНИГРИ, 1960, вып. 147.
11. *Кузнецова З. И.* Изучение влияния сульфатредуцирующих и метанообразующих бактерий на газовый и химический состав подземных вод п-ва Челекен.— Вопросы гидрогеол. и инж. геол., 1959, сб. 18.
12. *Лебедев Л. М., Бугельский Ю. Ю.* О металлоносности высокоминерализованных термальных вод Челекена.— Геол. рудных месторожд., 1967, № 3.
13. *Лебедев Л. М., Никитина И. Б.* Особенности химического состава и рудоносность гидротерм Челекена.— Докл. АН СССР, 1968, 183, № 2.
14. *Маврицкий Б. Ф.* Термальные воды складчатых и платформенных областей СССР. «Наука», 1971.
15. *Набоко С. И.* Роль наземного вулканизма в процессах рудообразования.— Геол. и геофиз., 1970, № 1 (124).
16. *Овчинников А. М.* Гидрогеологические условия гидротермальных процессов.— Бюлл. МОИП, 1957, отд. геол., 32.
17. *Славянова Л. В., Галицын М. С.* Микрокомпоненты в подземных водах Прикаспийской впадины и прилегающих к ней районов юго-востока СССР. «Недра», 1970.
18. *Соколовский Л. Г., Седлецкий В. И.* Геохимические особенности и происхождение высокоминерализованных рассолов юга Средней Азии.— Сов. геология, 1970, № 7.
19. *Чухров Ф. В., Зяегин Б. В., Горшков А. И., Ермилова Л. П., Балашова В. В.* О ферригидрите. Изв. АН СССР, серия геол., 1973, № 4.
20. *Щербаков А. В.* Геохимия термальных вод. «Наука», 1968.
21. *Щербаков А. В., Козлова Н. Д., Смирнова Г. Н.* Распределение газов в термальных водах СССР. «Наука», 1972.
22. Annual report 1968—1969, Division of applied mineralogy. Chemical Research Laboratories. Commonwealth Sci. Industr. Research Organiz., Australia.
23. *Bonatti E., Fisher D. E., Joensuu O., Rydel H. S., Blyth U.* Iron-manganese-barium deposit from the Northern Afar rift (Ethiopia).— Econ. Geol., 1972, 67, N 6.
24. *Von der Borch C. C., Rex R. W.* Amorphous iron oxide precipitates in sediments cored during Leg 5, Deep Sea Drilling Project.— In «Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project», Washington, v. 5, 1970.
25. *Bostrom K., Peterson M. N. A.* Precipitates from hydrothermal exhalations on the East Pacific Rise.— Econ. Geol., 1966, 61, N 7.
26. *Calvino F., Stejanon A.* The submarine springs of fresh water and the problems of their capture.— Rapp. Comm. Intern. Mer. Médit., 1969, 19, N 4.

27. *Carpenter A. B.* Native lead in oil field well scale in the Gulf Coast of the United States.— Inter. Geol. Congress 1972, Sect. 14.— Mineralogy, Abstracts.
28. *Cronan D. C., van Andel T. H., Heath G. R., Dinkelman M. G., Bennett R. H., Bukry D., Charlestone S., Kaneps A., Rodoljo K. S., Yeats R. S.* Iron rich basal sediments from the Eastern Equatorial Pacific: Leg 16, Deep Sea Drilling Project.— Science, 1972, 175, N 1.
29. *Doe B. R., Hedge C. E., White D. E.* Preliminary investigation of lead and strontium in deep sea brines underlying the Salton Sea geothermal area.— Econ. Geol., 1966, 61, N 3.
30. *Donnelly T. H., Lambert I. B., Dale D. H.* Sulphur isotope studies of the Mount Gunson copper deposits. Pernatty Lagoon, South Australia.— Min. Deposita, 1972, 7, N 3.
31. *Ellis A. J.* The chemistry of some explored geothermal systems.— In «Geochemistry of hydrothermal ore deposits», editor H. L. Banks, USA, 1967.
32. Hot Brines and recent heavy metal deposits in the Red Sea. Berlin — Heidelberg — N. Y., 1969.
33. *Lambert I. B., McAndrew J., Jones H. E.* Geochemical and bacteriological studies of the cupriferous environment at Pernatty Lagoon, South Australia.— Austral. Inst. Min. Metall., 1971, N 240.
34. *Ozerova N. A., Naboko S. I., Vinogradov V. I.* Sulphides of mercury, antimony, and arsenic, forming from the active thermal springs of Kamchatka and Kuril Islands. Proc. IMA — IAGOD Meetings'70, Joint Symposium vol., Tokyo, 1971.
35. *Steiner A., Rafter T. A.* Sulfur isotopes in pyrite, pyrrhotite, alunite and anhydrite from steam wells in the Taupo volcanic zone, New Zealand.— Econ. Geol., 1966, 61, N 6.
36. *Takao B.* Effect of chlorocomplex of lead on the deposition of lead-bearing barite from hot spring water.— Geochem. J. Japan, 1969, 3, N 2—3.
37. *Taylor H. P.* Isotope geochemistry of oxygen and hydrogen: a brief review.— Trans. Am. Geophys. Union, 1966, 47, N 1.
38. *Tómasson J., Kristmansdottir H.* High temperature alteration minerals and thermal brines Reykjanes, Iceland.— Contrib. Mineral. Petrol., 1972, 36.
39. *White D. E., Anderson E. T., Grubbs D. K.* Geothermal brine well: mile deep drill hole may tap ore bearing magmatic water and rocks undergoing metamorphism.— Science, 1963, 139, N 3557.

Проблемы комплексного использования минерального сырья Кольского полуострова

Полвека миновало с тех пор, когда экспедиция академика А. Е. Ферсмана обнаружила у подножья г. Кукисвумчорр в Хибинах апатито-нефелиновое месторождение. В последующие годы были открыты Юкспорское, Расвумчоррское и другие апатито-нефелиновые месторождения в Хибинском горном массиве, затем сульфидные медно-никелевые руды в Мончегорской, Оленегорской и Ковдорской железорудные, Африкандовское перовскитовое, Кейвские кианитовые и месторождения других полезных ископаемых.

В послевоенные годы благодаря широкому развороту геологопоисковых и разведочных работ выявлены новые месторождения никеля, редких металлов, слюды — мусковита, флогопита и вермикулита.

В результате проведенных комплексных научных исследований и геологоразведочных работ к настоящему времени Кольский полуостров стал одной из крупнейших минерально-сырьевых баз нашей страны. Свыше 55 химических элементов находится в недрах Кольского полуострова в скоплениях союзного и мирового масштаба, из них 40 уже используются промышленностью. По запасам апатита и нефелина некоторых цветных и редких металлов Кольский полуостров занимает ведущее место в стране.

На базе этих месторождений успешно работают комбинаты «Апатит», «Североникель», «Печенганикель», Ковдорский, Оленегорский, Африкандовский и др., а также трест «Ковдорслюда».

Строительство первых горнорудных и металлургических предприятий велось при энергичной поддержке ленинградской партийной организации, умелом и решительном руководстве С. М. Кирова. Достиженные в первые предвоенные пятилетки успехи в индустриализации Кольского полуострова сыграли большую роль в обеспечении обороны страны и разгрома врага в период Великой Отечественной войны. Последние годы характеризуются новым размахом промышленного строительства на базе использования различных полезных ископаемых.

Характернейшей особенностью минерального сырья Кольского полуострова является его комплексность. Как правило, в руде каждого месторождения содержится несколько полезных минералов, а в рудных минералах — несколько полезных химических элементов. Многие ценные химические элементы здесь встречаются в необычайно специфических минералах, которые не перерабатывались ни отечественной, ни зарубежной промышленностью. Для освоения таких месторождений необходим был комплекс глубоких исследований и создание по существу новых технологических процессов. Изучение и освоение природных богатств Кольского края с самого начала тесно связано с именем академика А. Е. Ферсмана, отдавшего этому делу много сил и энергии.

Еще в 30-х годах А. Е. Ферсманом были сформулированы основные направления научных исследований в области комплексного освое-

ния Кольского минерального сырья. «Использование кольских минералов и пород, — писал А. Е. Ферсман, — представляется совершенно иной и притом сложнейшей научной и технологической проблемой. Разрешение этой проблемы не может в общем идти по каким-либо готовым рецептам и уже разработанным методам, и поэтому требует очень большой творческой научно-исследовательской работы. Может быть, в этом лежит корень того, что в общем технологические разработки ряда проблем, обогащения и химическая переработка отстают от геологических и геохимических исследований и создают задержки в организации соответственных областей промышленности» [2, стр. 203].

И А. Е. Ферсман организует серию технологических исследований с привлечением центральных научно-исследовательских институтов.

Промышленное использование минерального сырья, по мнению А. Е. Ферсмана, должно основываться на «глубоком переплетении производственных процессов, обуславливающих полное использование всей горной массы, добываемой из Земли, при максимальном сужении радиуса использования сырых материалов» [1, стр. 1].

А. Е. Ферсманом намечены следующие типы горнопромышленного комбинирования:

1. Закономерное сочетание полезных ископаемых в одном районе, но не в одном и том же рудном теле — комбинирование горнопромышленное (как, например, использование всех составных частей пегматитовых полей).

2. Закономерное сочетание нескольких полезных ископаемых в одном и том же минеральном теле — горнохимическое комбинирование (например, апатито-нефелиновая порода).

3. Комбинированное использование различных ископаемых тел нескольких районов — территориальное горнохимическое комбинирование (например, использование серной кислоты Мончи для переработки хибинских апатитовых руд).

4. Межобластное промышленное комбинирование, например, использование девонских углей Чешской губы и углей Печоры для химических производств Кольского полуострова» [2, стр. 214].

Идеи А. Е. Ферсмана о комплексном изучении и промышленном освоении минерального сырья Кольского полуострова в последнее время успешно развиваются институтами Ордена Ленина Кольского филиала им. С. М. Кирова АН СССР.

Научные учреждения филиала разработали ряд фундаментальных и научно-технических проблем, направленных на ускорение темпов научно-технического прогресса, комплексное изучение природных ресурсов Кольского полуострова, совершенствование технологических процессов, организацию новых производств и развитие производительных сил Мурманской области и смежных с ней районов.

Геологический институт проводит широкие исследования геологического строения Кольского полуострова, закономерностей формирования и размещения месторождений полезных ископаемых, вещественного состава руд и минералов. Разработаны основные положения сводной схемы стратиграфии, дана характеристика разрезов важнейших структурно-формационных зон и отдельных формаций, выделены основные этапы геотектонического развития полуострова. Под руководством академика А. В. Сидоренко развивается новое научное направление — изучение ли-

тологии и геохимии метаморфических комплексов докембрия с целью выяснения первичных условий их образования и оценки перспектив рудоносности.

Исследована геологическая структура уникальных Хибинского и Ловозерского горных массивов, для которых обоснованы прогнозные запасы фосфорного сырья в размере свыше 5 млрд. т, большие запасы нефелина и других минералов, что является основой для дальнейшего расширения апатитовой промышленности Советского Союза; открыт ряд новых, не известных ранее минералов.

Составлены научные прогнозы для поисков новых месторождений титаномagnetитовых, апатито-magnetитовых руд, железистых кварцитов, слюды, керамического сырья.

На основе изучения многочисленных интрузивов ультраосновных-основных пород изучены общие закономерности размещения и условий формирования медно-никелевых месторождений на Кольском полуострове; детально изучены месторождения Печенгского рудного района и определены перспективы поисков новых месторождений богатых медно-никелевых руд. Установлены новые районы развития медно-никелевого оруденения в южной и юго-западной частях полуострова.

На основе изучения структуры глубоких горизонтов Ковдорского горного массива обосновано значительное увеличение запасов апатито-magnetитовых руд в глубину, дана промышленная оценка редкометального оруденения и заложена основа строительства второй обогатительной фабрики для получения редкометального и апатитового концентратов; завершено изучение вермикулитовых месторождений.

Осуществлено формационное изучение гранитоидов Кольского полуострова, выявлены основные черты химизма, вещественного состава, геохимической специализации и металлогении, составлены прогнозы для поисков некоторых видов редкометального сырья. Оценены перспективы слюдоносности, выделены перспективные участки для поисков новых месторождений.

Разработана и применена методика сейсмического изучения мощности и состава рыхлых ледниковых отложений, освоен палеомагнитный метод стратификации докембрийских пород.

Горный институт проводит исследование по совершенствованию подземных и открытых горных работ, обеспечению полного извлечения из недр полезных ископаемых.

Создана методика выбора оптимальной глубины открытых горных работ в условиях Заполярья. Внедрена на руднике «Центральный» комбината «Апатит» система вскрытия и разработки мощных апатито-нефелиновых месторождений, позволившая резко снизить объем вскрышных работ. Определено рациональное направление углубки карьера Центральный на комбинате «Печенганикель».

Исследуются принципиально новые методы разрушения горных пород в массиве, методы и аппаратура для изучения напряженного состояния горных пород и прогноза условий разработки по фактору горного давления. Методика, измерительная аппаратура и фактические данные о напряженности пород представляют интерес не только для горной науки, но и для геотектоники и сейсмологии. Исследования выполнялись в сотрудничестве с головными научно-исследовательскими организациями, а также с участием институтов стран СЭВ (ГДР, ПНР, ЧССР).

Впервые в практике добычи слюды предложена система разработки с массовым обрушением и максимальной концентрацией очистных работ на откаточном горизонте, что обеспечивает увеличение производительности блоков в 2—4 раза, снижение трудоемкости и стоимости горных работ в 1,7—2,5 раза, существенное сокращение потерь слюды. Предложение внедряется на рудниках Енского и Чупинского рудопроявлений и комбината «Алданслюда».

На основе изучения комбинированного воздействия гидродинамических водных потоков и магнитных полей низкой напряженности предложен метод и разработаны аппараты для осуществления тонких разделительных процессов, эффективно используемых при обогащении ферромагнитных руд. Это обеспечивает резкое улучшение качества железного концентрата (содержание железа повышается до 66,0—71,5%, содержание кремнезема снижается до 0,5%) на Оленегорском горнообогатительном комбинате и увеличение производительности фабрики. Созданные аппараты в пять раз дешевле типовых магнитных сепараторов.

Исследование возможности одновременного осуществления двух технологических процессов — флотации и гравитации в одном аппарате привели к созданию флотоотсадочной машины и комбинированного процесса обогащения. Применение флотоотсадки позволяет осуществлять обогащение руд при их грубом измельчении, что улучшает экономические показатели обогащения и открывает возможность вовлечения в эксплуатацию бедных руд.

Институтом химии и технологии редких элементов и минерального сырья проведены физико-химические исследования простых и комплексных сульфатов циркония и гафния со щелочными элементами в широком диапазоне концентраций и температур с целью создания основ для изучения схем переработки минерального сырья. Изучен состав ряда силикатов и сульфатов редкоземельных элементов; синтезировано и изучено около 50 новых соединений, ранее не описанных в литературе.

Завершены работы по созданию и промышленному внедрению комплексной сернокислотной технологии переработки ряда концентратов, в том числе сфенового концентрата на титановые пигменты и наполнители. Испытан и освоен промышленностью новый дубитель — двойной сульфат титанила и аммония (титановая соль).

Созданы физико-химические основы, разработан и внедряется вакуум-термический процесс получения щелочных металлов, технология синтеза ряда высокочистых соединений.

Дано физико-химическое обоснование методов разложения природных алюмосиликатов, содержащих щелочные элементы; исследуется нитрозный способ переработки сульфидных концентратов цветных металлов.

Синтезировано десять составов керамических связок для скоростного высокопрочного абразивного инструмента.

Доказана принципиальная возможность получения плавленного портландцементного клинкера из сульфатной сырьевой смеси.

Отделом энергетики проведена оценка гидроэнергоресурсов и вопросов развития энергохозяйства Мурманской области.

Отделом экономических исследований составлена схема развития и размещения народного хозяйства Мурманской области на 1971—1980 гг., обоснованы специализация и комплексное развитие хозяйства области, темпы и пропорции роста отдельных его отраслей, произведено техни-

ко-экономическое обоснование вовлечения в эксплуатацию новых минерально-сырьевых ресурсов.

Обоснована экономическая эффективность дальнейшего развития горнорудной промышленности и промышленности строительных материалов на базе комплексного использования минерального сырья Кольского полуострова, включая новые виды сырья — кианит, перовскит, вермикулит, подложные и облицовочные камни.

Несмотря на достигнутые большие успехи в изучении и комплексном промышленном использовании полезных ископаемых Кольского полуострова, по ряду минерально-сырьевых комплексов все еще имеется много нерешенных проблем. Рассмотрим главные из них.

Хибинский горно-химический комплекс

Апатито-нефелиновые руды Хибин, помимо 45—50% апатита и 35—40% нефелина, содержат также 6—10% эгирина, до 2,5% сфена и около 2% титаномагнетита.

Все перечисленные минералы в свою очередь являются комплексным многокомпонентным сырьем. Так, апатит, помимо 40% P_2O_5 , содержит до 53% CaO, до 4% F, Sr. Всего в составе апатита определено 33 химических элемента. Нефелин содержит 32—36% Al_2O_3 , 22—26% $(Na, K)_2O$, 44% SiO_2 . В сфене содержится 38—40% TiO_2 , в титаномагнетите — 78—81% Fe_2O_3 , 13—15% TiO_2 и 0,5—1,4% V_2O_5 .

В настоящее время из хибинских руд извлекается полностью апатит и около 12% нефелина. Но из апатита на суперфосфатных заводах извлекается только фосфор и частично фтор, из нефелина на глиноземных заводах — глинозем, кремнезем (в виде портландцемента) и щелочи. Стоимость используемых минералов не превышает 50% в ценностной структуре руды.

Такие компоненты апатито-нефелиновой руды, как стронций, редкие земли, фтор, двуокись титана, ванадий, железо и другие элементы, выбрасываются в виде «отходов» обогащения или же с удобрениями безвозвратно рассеиваются на полях.

Между тем технология извлечения всех минералов и химических элементов апатито-нефелиновой руды уже разработана. По технико-экономическим показателям наиболее эффективна новая технологическая схема комплексного обогащения апатито-нефелиновых руд, разработанная Кольским филиалом АН СССР совместно с комбинатом «Апатит». Она отличается от других схем своей сравнительной простотой и дает возможность добиться достаточно хороших показателей обогащения при более низких эксплуатационных и капитальных затратах. Реагентные режимы характеризуются применением доступных и недорогих флотореагентов отечественного производства, способствующих высокой селекции процесса.

В табл. 1 приводятся технологические показатели обогащения хвостов апатитовой флотации по данной схеме.

При внедрении схемы комплексного обогащения апатито-нефелиновых руд себестоимость конечных концентратов составит (в расчете на 1 т): нефелинового — 2,3—2,7 руб, сфенового — 15,2—18,0 руб, титаномагнетитового — 6,0—8,8 руб, эгиринового — 5 руб. При этом себестоимость апатитового концентрата снизится не менее чем на 30%.

Лаборатории обогащения Горного института Кольского филиала совместно с апатито-нефелиновыми обогатительными фабриками ведут сей-

Таблица 1

Основные технологические показатели обогащения хвостов апатитовой флотации

Продукты	Выход, %	Содержание, %			Извлечение, %		
		TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
Нефелиновый концентрат	57,6	0,46	29,34	3,90	9,70	73,6	24,8
Титаномагнетитовый концентрат	2,7	12,6	5,23	71,68	12,3	0,6	19,3
Сфеновый концентрат	2,9	26,7	4,61	3,16	29,1	0,6	1,1
Эгириновый концентрат	19,0	5,0	8,33	14,05	36,4	7,1	34,6
Промпродукт	17,8	2,0	23,37	9,5	12,5	18,1	20,2
Хвосты апатитовой флотации	100	2,83	22,9	8,38	100	100	100

час исследования по усовершенствованию технологии обогащения различных типов апатито-нефелиновых руд с целью повышения извлечения апатита и нефелина, стабилизации технологического процесса, увеличения нагрузок на флотомашину и в целом повышения производительности обогатительных фабрик.

Ведутся исследования по обогащению апатито-нефелиновых руд вновь разведанных месторождений с задачей получения кондиционных апатитового, нефелинового, сфенового, титаномагнетитового и эгиринового концентратов. В сфере внимания обогатителей находятся и бедные апатито-нефелиновые руды.

Из всего комплекса нерешенных вопросов на первое место должен быть поставлен нефелин — второй по значимости минерал апатито-нефелиновой руды, несколько миллионов тонн которого ежегодно выбрасывается в хвостах.

Наукой и практикой уже давно определены пути промышленного использования нефелина. На алюминиевом заводе и глиноземном комбинате организована комплексная переработка нефелинового концентрата на глинозем, соду, поташ, портланд-цемент и окись галлия, а на химическом заводе осуществляется производство нефелинового коагулянта. Частично нефелиновый концентрат применяется в стекольной и керамической промышленности. Установлена возможность применения нефелина в производстве пенокерамита, метлахских плиток, гончарных изделий, изделий для строительной керамики и т. п.

Кольским филиалом АН СССР предложена технология производства из нефелина очищенного сернокислого глинозема, комплексных нитратных (азотных) щелочных удобрений и их солей, а также более эффективные кислотные способы переработки его на глинозем, содопродукты и удобрения.

Однако цветная металлургия необычайно неохотно идет на использование хибинского нефелина и медленно строит новые глиноземные заводы, а задержка с извлечением и использованием нефелина влечет за собой задержку в использовании сфена и титаномагнетита.

Большой практический интерес представляет сфеновый концентрат, себестоимость производства которого составит не более 15—18 руб/т,

а по себестоимости двуокиси титана в сырье он явится самым дешевым видом титанового сырья в нашей стране.

Еще в довоенные годы проводились исследования по использованию сфена для получения титано-кальциевых пигментов по сернокислотной схеме. В последние годы установлена возможность использования сфенового концентрата в производстве титансодержащих эмалей, а также химически стойкого стекла и изделий из него, густотертых красок. Применение сфена облегчает варку эмалей и улучшает их технические свойства. Кроме того, сфеновый концентрат может быть использован для производства ситаллов и титановых белил.

Институтом химии и технологии Кольского филиала АН СССР разработана эффективная схема переработки сфенового концентрата на титано-кальциевый пигмент и кремнеземно-кальциевый пигмент-наполнитель. Сфен также может перерабатываться по этой схеме и на пигментную двуокись титана. Совместно с комбинатом «Апатит» проведены укрупненные опыты и выдан регламент на проектирование опытно-промышленного цеха в 1973—1974 гг. В случае промышленного освоения сфенового концентрата и переработки его на пигментную двуокись титана или титано-кальциевый пигмент ожидаются высокие технико-экономические показатели процесса, а себестоимость продукции предполагается более низкой по сравнению с получением пигментной двуокиси титана и других видов сырья (ильменит и др.).

Проблема комплексного использования апатито-нефелиновых руд становится еще более актуальной в связи с ограниченностью запасов в стране алюминийсодержащего сырья (бокситы) и возросшей потребностью в сфене для производства цветного стекла и пигментной двуокиси титана.

При увеличении переработки апатито-нефелиновых руд до 33—50 млн. т представляется возможным получить следующее количество концентратов (табл. 2).

В целом при осуществлении комплексной переработки апатито-нефелиновых руд комбинат «Апатит» уже в будущем десятилетии мог бы выпускать 35—39 млн. т различных концентратов в год и получать дополнительную прибыль порядка 25 млн. руб, увеличить производительность труда на 30—35% и повысить степень использования апатито-нефелиновых руд с 65 до 96%.

Очень важной проблемой является извлечение из апатита стронция и редкоземельных металлов (РЗМ).

Академиком С. И. Вольфовичем еще в 1930 г. был предложен способ извлечения РЗМ при производстве суперфосфата.

В последние годы Институт химии и технологии Кольского филиала АН СССР работает над созданием технологии переработки апатита на комплексные удобрения с попутным извлечением всех РЗМ и стронция. В самое ближайшее время намечено проведение опытно-промышленных испытаний этой технологии.

Наконец, вполне подготовлен для практического осуществления вопрос о переработке части хибинского апатитового концентрата на двойной суперфосфат непосредственно в пределах Мурманской области, имея в виду использовать для этих целей серную кислоту, получаемую из отходящих газов на никелевых комбинатах.

В 1976—1980 гг. целесообразно осуществить строительство первой очереди завода двойного суперфосфата в г. Апатиты производительностью

Таблица 2

Перспективы производства концентратов при комплексном обогащении апатито-нефелиновых руд, тыс. т

Продукты	1975 г.	1980 г.	1985 г.
Общее количество руды	33 000	46 000	50 000
Производство концентратов *			
апатитовый	14 500	18 000	20 000
нефелиновый	6800	12 200	13 400
титаномагнетитовый	280	540	580
сфеновый	300	560	600
эгириновый	2300	4100	4500
Итого	24 180	35 400	39 080

* Учитывается полное извлечение компонентов.

860 тыс. т в год (в пересчете на 18,7% P_2O_5) с последующим увеличением до 1720 тыс. т в год.

При переработке фосфогипса, являющегося отходом суперфосфатного производства, и получении при этом регенерированной серной кислоты и цемента уже в 1981—1985 гг. наряду со значительным сокращением объема используемой серной кислоты можно получить ежегодно около 900 тыс. т цемента, что позволит обеспечить перспективную потребность Мурманской области в этом важнейшем материале.

Организация такого производства положит начало осуществлению территориального горнохимического комбинирования в Мурманской области, на что указывал А. Е. Ферсман.

Горно-металлургический и химический комплекс производственного Объединения «Никель»

Благодаря большой исследовательской работе коллективов научных и проектных институтов, а также инженеров комбината «Североникель» и «Печенганикель» к настоящему времени достигнута достаточно высокая степень использования сульфидных медно-никелевых руд Кольского полуострова.

На комбинате «Североникель» производятся чистые никель, медь и кобальт, селеновые пламы и др. На базе отходящих сернистых газов конверторов и обжиговых печей создано производство серной кислоты. Отвальные шлаки электропечей этого же комбината частично используются для производства теплоизоляционных материалов (плиты, минераловатные изделия). За последние 10 лет производство меди возросло — 2,7 раза, выпуск валовой продукции возрос на 156,2%, производительность труда увеличилась на 167,3%, затраты на 1 руб товарной продукции снизились на 14%. Рентабельность Объединения «Никель» составляет более 17%, что выдвигает его в число передовых предприятий цветной металлургии страны. Перспективным планом развития Объединения «Никель» на 1976—1980 гг. намечено дальнейшее увеличение производства металлов.

Для еще большего повышения эффективности медно-никелевой промышленности области все возрастающее значение будет иметь рациональное и комплексное использование сырья. Намечающаяся тенденция вовлечения в эксплуатацию более бедных руд, ограниченность и невозобновляемость ресурсов требует бережного отношения к ним, начиная с добычи из недр и на всех последующих стадиях их переработки.

Улучшение показателей работы обогатительных фабрик обеспечит больше возможностей увеличения полноты использования сырья, так как 90% всей добываемой руды в Объединении «Никель» подвергается обогащению. Резервы повышения эффективности работы обогатительных фабрик состоят в совершенствовании технологического процесса, установлении надлежащего контроля за качеством руды путем непрерывного опробования и внедрения новейших методов экспресс-анализа, организации усреднения руд начиная от забоев рудников и кончая созданием соответствующих усреднительных емкостей на обогатительных фабриках.

В связи с относительно невысоким извлечением металлов в сульфидный концентрат и достаточно большим их абсолютным содержанием в отвальных хвостах обогатительных фабрик возникает необходимость проведения исследований по промышленному выщелачиванию никеля и меди из этих хвостов, включая методы бактериального выщелачивания.

Лабораторные опыты уже ведутся в Институте химии и технологии и Полярно-Альпийском ботаническом саду Кольского филиала АН СССР.

Следующей важной задачей в направлении комплексного использования сульфидных медно-никелевых руд Кольского полуострова является строительство на обоих комбинатах новых цехов по производству серной кислоты из отходящих сернистых газов. Опыт работы сернокислотного цеха на комбинате «Североникель» показал весьма высокую эффективность этого производства. Полная утилизация сернистых газов будет иметь неограниченное значение для предупреждения загрязнения воздушного и водного бассейнов, сохранения биосферы в целом, восстановления сильно пострадавших в районах металлургических заводов растительных и рыбных ресурсов.

Наконец, все еще нельзя снимать с повестки дня проблему полного использования огненно-жидких шлаков металлургических заводов. На металлургическом заводе в г. Мончегорске, помимо расширения производства шлаковатных изделий, следует провести работу в направлении использования этих шлаков для каменного литья, производства пористого легковесного строительства щебня и гранулированных плавящихся магнелиевых фосфатов, показавших сравнительно высокую эффективность на кислых подзолистых почвах северо-западных областей страны.

Гранулированные шлаки Никельского металлургического завода по данным Института химии и технологии Кольского филиала АН СССР, целесообразно использовать для производства вяжущих материалов.

Ковдорский горно-промышленный комплекс

В Ковдорском промышленном районе сосредоточены большие запасы комплексных апатито-магнетитовых руд, месторождения слюды-флогопита и вермикулита, слюды-мусковита и керамического сырья.

На сырьевой базе Ковдорского железорудного месторождения с 1964 г. успешно работает Ковдорский горно-обогатительный комбинат, выпускающий магнетитовый концентрат для Череповецкого металлургического за-

вода. Содержащиеся в железной руде апатит (в среднем 15%), бадделейт, форстерит (20%), кальцит (11%) пока что направляются в отвалы.

Выпуск новых видов продукции — апатитового, бадделейтового и редкометалльного концентратов — позволит увеличить объем товарной продукции Ковдорского ГОК к 1980 г. по стоимости на 70%. Дополнительная прибыль при этом составит около 20 млн. руб. в год и позволит в короткий срок окупить капитальные затраты на строительство новых обогатительных фабрик.

В целях полного использования минералов ковдорских руд необходимо исследовать пути выделения и практического использования форстерита и кальцита, которые будут накапливаться в отходах апатитовой фабрики.

Не все вопросы решены в отношении извлечения и практического использования флогопита и особенно вермикулита. Здесь все будет зависеть от того, насколько быстро удастся разработать технологию производства различных технических, строительных, изоляционных и других материалов из этих слюд, разведенных в достаточных количествах.

Кейвский рудный комплекс

С момента открытия в 1930 г. Кейвских кианитовых месторождений экспедицией Академии наук СССР под руководством О. А. Воробьевой и Б. М. Куплетского проведена большая научно-исследовательская работа по их геологической и технологической оценке. Из 25 месторождений кианита 6 месторождений (Тяпш-Манюк, Новая Шуурурта, Воргельурта, Тавурта, Червурта и Безымянное) подвергались разведке. Общие запасы кианитовых руд в Кейвах оцениваются в несколько миллиардов тонн.

При активной поддержке Мурманского Обкома КПСС Кольский филиал АН СССР и ленинградские институты «Гипроникель», «Механобр», ВАМИ, Институт огнеупоров начиная с 1947 г. активно выдвигают проблему промышленного освоения кейвских кианитов и добились в этом деле серьезных успехов.

Со всей очевидностью к настоящему времени показана возможность получения чистых кианитовых концентратов (56—57% Al_2O_3) и их эффективного использования для производства алюминиево-кремниевых сплавов, высокоглиноземистых огнеупоров и в качестве противопригарного материала в литейном производстве. Намечаются перспективы их использования в керамической и цементной промышленности, а также в стекольном производстве. Кианиты могут стать и стать экспорта.

В качестве высокоогнеупорных материалов кианиты могут обеспечить технический прогресс, интенсификацию технологических процессов и повышение производительности труда в ряде отраслей народного хозяйства и прежде всего в черной и цветной металлургии. В ближайшие 5—10 лет целесообразно осуществить строительство горно-обогатительного кианитового комбината.

В тесной взаимосвязи с проблемой кианитов находится освоение месторождений слюды-мусковита, абразивного граната, жильного кварца и других видов минерального сырья, разведенного в Кейвах.

Помимо рассмотренных главных минерально-сырьевых комплексов, заслуживают внимания вопросы изучения и промышленного использования разнообразного каменного строительного материала.

На территории Кольского полуострова широко развиты кристаллические породы докембрия, представляющие интерес как источник при-

родного облицовочного камня. К ним могут быть отнесены разнообразные гнейсы, граниты, особенно порфириовидные, хибиниты, габбро и т. п.

Разведанные Палагубское и Сайдагубское месторождения облицовочных гранитов имеют запасы соответственно в 8 и 16 млн. м³. На горе Айкуайвенчорр разведаны запасы облицовочных хибинитов в количестве 83 млн м³. Заслуживают большого внимания в качестве прекрасных облицовочных материалов серо-голубые гранодиориты в районе Серебрянских ГЭС. Там же имеются большие массивы красно-розовых гранитов.

В настоящее время камнедобывающая промышленность Мурманской области представлена всего лишь небольшим цехом в составе комбината «Североникель» производительностью 10 тыс. м³ облицовочной плитки в год. В небольшом количестве местной промышленностью производится мелкая крошка для терразитовой штукатурки зданий. Наличие огромных запасов разнообразных природных облицовочных материалов позволяет по-иному ставить вопрос об их использовании. В перспективе в области надо будет организовать промышленность по добыче и обработке этого вида сырья не только для местных нужд, но и для градостроительства европейского Севера и центральных районов страны.

Своеобразен и полон очарования мир полудрагоценных камней Кольского полуострова; нежно-фиолетовый аметист, зеленый амазонит, пурпурно-красный эвдиалит, темно-зеленый серпофит, великолепные поделочные доломиты, яшмы — не могут не привлекать внимания любителя камня обилием красок, красотой и совершенством форм.

В условиях современного комплексного развития производительных сил особое значение приобретает проблема освоения минерально-сырьевых ресурсов Кольского полуострова с учетом перспективного развития экономики всего европейского Севера СССР.

В недрах Карелии, Архангельской области и Коми АССР к настоящему времени также выявлены большие запасы различных полезных ископаемых, особенно топливно-энергетического сырья (нефти, природного газа, каменного угля), бокситов, железных и титановых руд.

Наличие богатых природных минерально-сырьевых ресурсов в недрах европейского Севера, развитой энергетики, благоприятных транспортных-географических условий и народонаселения позволяет обеспечить в перспективе дальнейшее развитие производительных сил путем увеличения объемов добычи и переработки минерального сырья на существующих предприятиях; развития новых отраслей горнодобывающей и перерабатывающей промышленности на основе вовлечения в эксплуатацию новых видов минерального и топливно-энергетического сырья, и что самое главное, путем наиболее полного комплексного использования минерального сырья с получением не только полуфабрикатов, но и готовых продуктов.

Кольским, Карельским и Коми филиалами Академии наук СССР уже ведутся совместные исследования по всем направлениям рационального и комплексного использования природных ресурсов, повышения эффективности производства и социально-экономического развития европейского Севера на период до 1990—2000 гг.

Так, воплощается в жизнь идея А. Е. Ферсмана о межобластном промышленном комбинировании; это стало возможным благодаря тому, что в послевоенные годы были созданы комплексные научные учреждения — филиалы Академии наук СССР в Коми АССР и Карельской АССР,

которые явились наилучшей формой научных учреждений в малоосвоенных районах страны, на что в свое время обращал внимание А. Е. Ферсман.

Сочетание перспективных теоретических работ дальнего прицела с решением актуальных проблем современного технического прогресса полностью отвечает решениям Партии и Правительства по дальнейшему повышению эффективности научно-исследовательских работ, укреплению связи науки с производством.

Литература

1. А. Е. Ферсман. Комплексное использование ископаемого сырья. Изд-во АН СССР, 1932, стр. 1.
2. А. Е. Ферсман. Полезные ископаемые Кольского полуострова. Изд-во АН СССР, 1941, стр. 214.

Формационно-парагенетическая классификация промышленных месторождений литофильных редких металлов

Введение

К настоящему времени во всех странах земного шара выявлены многие тысячи редкометалльных месторождений, образованных в широком диапазоне геологических процессов — от магматических до экзогенных — и в генетической связи как с кислыми, так и щелочными породами. Систематика всего этого большого разнообразия месторождений представляется весьма важной не только в научном, но и в прикладном отношении, поскольку всякая современная классификация должна одновременно служить основой поисков и перспективной оценки редкометалльных месторождений. Известно, какое большое внимание вопросам классификации рудных месторождений уделял А. Е. Ферсман [35].

Детальные классификации месторождений редких элементов были предложены 10—15 лет назад [9, 12]. Однако за прошедший период выявлены и изучены новые генетические типы редкометалльных месторождений, а из числа известных типов многие утратили свое практическое значение, поэтому в настоящее время появилась необходимость в обновлении их систематики. В предлагаемой статье мы попытались дать классификацию промышленных типов месторождений обширной группы из 25 литофильных редких металлов: лития, рубидия, цезия, бериллия, стронция, иттрия, лантаноидов, циркония, гафния, ниобия, тантала. Халькофильные редкие элементы (галлий, таллий, германий, индий, кадмий, селен, теллур, рений) и сидерофильные (скандий, ванадий) здесь не рассматриваются ввиду резкого отличия их поведения в земной коре, благодаря чему они, как правило, не образуют месторождений совместно с литофильными редкими металлами.

Предлагаемая систематика базируется на материалах изучения редкометалльных месторождений, выполненных за 20 лет коллективом Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов и, разумеется, в первую очередь учитывает личный опыт авторов, в разное время изучавших или посетивших все наиболее крупные редкометалльные месторождения СССР, в меньшей степени КНР, Афганистана, Англии, ЧССР, а также использовавших обширную литературу [1—7, 9, 13, 14, 17—19, 23, 25, 31—34]. При выделении отдельных парагенетических типов и установлении их параметров мы пользовались консультациями сотрудников ИМГРЭ: Б. И. Югана, Ю. Л. Капустина, А. А. Ганзеева, К. Д. Субботина, Г. А. Тогуновой, В. В. Буркова, Д. А. Минеева, Б. Н. Красильникова, С. Е. Колотухиной и других, которым авторы выражают свою признательность.

Принципы классификации

В основу систематики типов месторождений литофильных редких металлов положен формационно-парагенетический принцип. Как показал положительный опыт классификации гранитных пегматитов [7, 8, 10, 26, 27, 29], редкометалльных гранитов [1], месторождений цезия [22] и тантала [13, 30], наиболее объективным классификационным признаком является парагенезис породообразующих (рудообразующих) минералов, количественные отношения которых в свою очередь определяют характер и интенсивность редкометалльной минерализации. При этом парагенезис рассматривается как совместное нахождение минералов, генетически связанных между собой, а под парагенетическим типом месторождения понимается устойчивая ассоциация породообразующих (рудообразующих), второстепенных и редкометалльных минералов, закономерно возникающая в ходе процесса рудообразования.

В соответствии с этим принципом в названии парагенетических типов эндогенных месторождений указаны главные породообразующие минералы, содержание которых составляет более 10—15%. В отдельных случаях в название включены и второстепенные минералы, составляющие меньше 10% объема руды (породы), если они являются весьма важными типоморфными минералами (например, биотит и рибекит в тантало-ниобиеносных щелочных гранитах или различные темноцветные в щелочных образованиях). На последнем месте в названии типа поставлен наиболее важный породообразующий минерал, определяющий данный парагенетический тип. Таким минералом не всегда является самый распространенный, поскольку, например, в альбит-лепидолитовых пегматитах лепидолита гораздо меньше альбита (всего 10—15%), но именно лепидолит определяет возникновение типа, так как альбит является породообразующим также в ряде других типов: альбит-сподуменовом, микроклин-альбитовом, альбитовом. Типоморфные второстепенные минералы, если таковые включены в название, проставлены в его начале. Практически интересные редкометалльные минералы указаны в названии типов с помощью предлога «с». Когда эти минералы являются и породообразующими, то они входят непосредственно в название типа.

Редкометалльные формации объединяют обычно от трех до восьми парагенетических типов месторождений, образованных в близких геологических и физико-химических условиях. К сожалению, формационная принадлежность некоторых типов не всегда может быть решена однозначно, и мы хорошо сознаем дискуссионность некоторых разделов предлагаемой классификации. В целях сокращения числа формаций (особенно в экзогенной части) некоторые из них, сходные по условиям образования, объединены.

Классификация относится только к промышленным типам месторождений, т. е. она основана на систематике месторождений разрабатывавшихся, разрабатывающихся в настоящее время или уверенно могущих представить практический интерес в недалеком будущем. Однако мы сочли целесообразным включить в нее некоторые привлекающие внимание исследователей и известные в рамках промышленных формаций непромышленные типы, для того чтобы облегчить использование классификации при оценке рудопроявлений на стадии поисков и предварительной разведки. Например, для правильной оценки лепидолитсодержащих пег-

матитов наряду с промышленным сподумен-микроклин-альбитовым типом, содержащим лепидолит, приходится выделять и другой тип собственно альбит-лепидолитовых пегматитов, не имеющих практического значения. Если же все типы той или иной формации не имеют промышленного значения, то они в систематику совсем не включены, например, пегматиты нефелиновых сиенитов, основных пород и щелочных гранитов. Включение типов непромышленных формаций значительно усложнило бы классификацию, фактически не представляя никакой дополнительной полезной информации.

В соответствии с изложенными принципами в настоящее время можно выделить 101 парагенетический тип редкометалльных месторождений, которые в свою очередь объединяются в 23 формации (табл. 1).

Краткая характеристика формаций

Редкометалльные граниты представлены четырьмя парагенетическими типами месторождений бериллия (один тип) или тантала (три типа). Наибольшее практическое значение имеют лепидолит-микроклин-альбитовые и криофиллит-амазонит-альбитовые граниты, которые в настоящее время уже разрабатываются на тантал и олово. Литиевые слюды пока нигде не используются, хотя содержат до 2,5% лития, 1—1,5% рубидия и 0,02—0,03% цезия. Месторождения этих двух типов известны в СССР, Испании, Франции, Марокко, Алжире, Нигерии, АРЕ. Оруденение локализуется в апикальных частях или висячем боку небольших гранитных массивов, площадью до 1 км², иногда приурочено к крупным дайковым телам гранитов. Вмещающие породы обычно представлены пластичными метаморфическими сланцами, хорошо экранирующими пневматолито-гидротермальные отщепления гранитов. Благодаря ярко выраженной вертикальной зональности промышленное оруденение в гранитах постепенно, но довольно резко падает с глубиной; содержание тантала уменьшается от 0,025—0,04% близ поверхности, в самой апикальной части массивов до 0,007—0,01% на глубине 100—150 м.

Танталоносные граниты при их комплексной разработке на тантал, олово, рубидиево-литиевые слюды и керамическое сырье могут явиться экономически эффективными месторождениями редких металлов. Их благоприятной чертой является возможность открытой разработки при минимальном коэффициенте вскрыши и довольно крупные запасы полезных компонентов [1].

Гранитные пегматиты до настоящего времени за рубежом являются основным поставщиком бериллия, лития, тантала, рубидия, цезия, отчасти галлия, таллия, ниобия. Их месторождения известны в ряде провинций СССР и во многих зарубежных странах, особенно крупные — в Канаде, США, Бразилии, Заире, Южной Родезии, Малагасийской республике, КНР, Афганистане, Индии, Австралии. Наиболее изученные и самые богатые месторождения редких металлов в пегматитах имеют древний докембрийский возраст и, как правило, приурочены к амфиболовым вмещающим породам [13, 22, 27, 29]. Наиболее важными в промышленном отношении сейчас являются альбит-сподуменовые и сподумен-микроклин-альбитовые пегматиты (т. е. микроклин-альбитовые со сподуменом [27, 29]).

Месторождения альбит-сподуменовых пегматитов всегда представлены

Таблица 1

Главные промышленно-генетические типы месторождений литофильных

Редкометалльная формация, тип месторождения и главные минералы-носители редких металлов	Обычные запасы редких металлов в месторождениях, тыс. т (число практическое значение)				
	Li	Rb	Cs	Be	Sr
<i>Эндеогенные месторождения</i>					
<i>Редкометалльные граниты</i>					
Мусковит-альбитовые с бериллом и танталитом вольфрамитом	—	—	—	$\frac{\text{До } 3}{\text{До } 0,01}$	—
Мусковит-топаз-альбитовые со стрюверитом и танталит-колумбитом	—	—	—	—	—
Лепидолит-микроклин-альбитовые с танталит-колумбитом и танталитом касситеритом	$\frac{\text{До } 100}{0,1-0,2}$	$\frac{n \cdot 10}{\sim 0,1}$	$\frac{n}{\sim 0,01}$	—	—
Криофиллит-амазонит-альбитовые с микролитом и танталит-колумбитом	$\frac{\text{До } 40}{0,05-0,15}$	$\frac{\text{До } 25}{\sim 0,1}$	$\frac{\text{До } 2}{\sim 0,01}$	—	—
<i>Гранитные пегматиты</i>					
Олигоклаз - микроклин-овые с редкоземельными минералами	—	—	—	—	—
Микроклин-овые с бериллом и колумбитом	—	—	—	$\frac{0,00n-0,0n}{0,002-0,004}$	—
Амазонит-микроклин-овые с бериллом и гадолинием	—	—	—	$\frac{0, n}{0,03-0,1}$	—
Микроклин-альбитовые с танталатами (танталит, тапиолит, водженит) и бериллом	—	—	—	0, n	—
Сподумен - микроклин-альбитовые с лепидолитом, петалитом, поллуцитом, танталатами, бериллом, танталитом касситеритом	$\frac{10n}{0,5-0,9}$	$\frac{n-10n}{0,2-0,5}$	$\frac{n-10n}{0,1-0,6}$	$\frac{0, n-n}{0,01-0,02}$	—
Микроклин - петалитовые	$\frac{0,0n}{\sim 0,5}$	—	—	—	—
Альбитовые с танталитом, бериллом, танталитом касситеритом и сподуменом (или без него)	$\frac{n-50}{\sim 0,2-0,5}$	—	—	$\frac{0,0n-0, n}{0,03-0,08}$	—
Альбит-сподуменовые с бериллом, колумбитом, иногда фергусонитом и танталитом касситеритом	$\frac{100n}{0,5-0,7}$	—	—	$\frac{2-10}{0,01-0,02}$	—
Альбит-лепидолитовые	$\frac{0,0n}{0,3-0,5}$	$\frac{0,00n}{0,1-0,3}$	$\frac{0,00n}{0,1-0,3}$	—	—

Формационно-парагенетическая классификация промышленных месторождений

редких металлов

литель), содержание в руде редких металлов, имеющих % (знаменатель)

Практическое значение месторождений

TR+Y	Zr	Hf	Nb	Ta	
------	----	----	----	----	--

в связи с кислыми породами

—	—	—	—	$\frac{0,0n}{0,00n}$	Мелкие убогие месторождения бериллия и вольфрама с возможным попутным извлечением тантала из шлаков производства вольфрама
—	—	—	$\frac{\text{До } 5}{0,01-0,02}$	$\frac{\text{До } 4}{0,01-0,015}$	Мелкие убогие месторождения тантала с неясными перспективами
—	—	—	$\frac{n}{0,01-0,015}$	$\frac{n}{0,007-0,012}$	Небольшие разрабатываемые месторождения касситерита и танталита с возможным попутным получением тантала из оловянных кеков и редких щелочных металлов из лепидолита
—	—	—	$\frac{n}{0,01-0,015}$	$\frac{n}{0,013-0,018}$	Среднего масштаба месторождения тантала с возможным попутным извлечением редких щелочных металлов из криофиллита
$\frac{0,00n}{0,0n}$	—	—	—	—	В прошлом источник добычи редких земель иттриевой группы. В настоящее время практическое значение утрачено
—	—	—	$\frac{0,00n}{0,007-0,010}$	$\frac{0,00n}{0,003-0,007}$	Мелкие объекты кустарной добычи крупнокристаллического рудоразборного берилла, иногда колумбита
—	—	—	—	—	Мелкие месторождения берилла
—	—	—	$\frac{0,n-n}{0,010-0,015}$	$\frac{0,n-n}{0,013-0,025}$	Мелкие и средние месторождения тантала, иногда рудоразборного берилла
—	—	—	$\frac{0,n-n}{0,007-0,012}$	$\frac{0,n-n}{0,013-0,030}$	Важный источник добычи лития и тантала, основной источник добычи цезия и рубидия с попутным таллием из лепидолита и бериллием
—	—	—	—	—	Практического значения не имеют ввиду мелких размеров тел
—	—	—	$\frac{0,n}{0,010-0,015}$	$\frac{0,n}{0,015-0,025}$	Мелкие разрабатываемые месторождения тантала и бериллия, редко сподумена
—	—	—	$\frac{n}{0,006-0,012}$	$\frac{n}{0,004-0,010}$	Основной источник добычи лития с попутным получением тантала, ниобия и бериллия
—	—	—	—	$\frac{0,00n}{0,01-0,02}$	Практического значения не имеют ввиду мелких размеров пегматовых тел

Таблица 1 (продолжение)

Редкометалльная формация, тип месторождения и главные минералы-носители редких металлов	Обычные запасы редких металлов в месторождениях, тыс. т (число практическое значение,				
	Li	Rb	Cs	Be	Sr
<i>Метасоматиты в связи с гранитными пегматитами</i>					
Холмквистит-цезий-биотитовые	$\frac{\text{До } 20}{0,1-0,2}$	$\frac{10-50}{0,1-0,2}$	$\frac{n \cdot 10}{0,1-0,5}$	—	—
<i>Редкометалльные скарны</i>					
Железородные и флогопитовые с редкоземельными сфеном и ортитом	—	—	—	—	—
Флюорит-шпинель-циннвальдитовые с таффеитом и хризобериллом (в доломитах)	—	—	—	$\frac{?}{\text{До } 0,1}$	—
Магнетит-флюоритовые с гельвином (в известняках)	—	—	—	$\frac{?}{\text{До } 0,3}$	—
Слюдисто-магнетит-флюоритовые с хризобериллом (во флишовой толще)	—	—	—	$\frac{n}{0,03-0,04}$	—
<i>Грейзеново-гидротермальные образования</i>					
Олигоклаз - флогопитовые жилы с бериллом и изумрудом	$\frac{\text{До } 50}{0,15-0,25}$	$\frac{10n}{0,2-0,3}$	$\frac{n}{0,035-0,045}$	$\frac{n}{0,03-0,05}$	—
Циннвальдитовые грейзены	$\frac{n}{0,2-0,4}$	$\frac{10n}{0,3-0,5}$	$\frac{n}{0,03-0,05}$	—	—
Мусковит-биотит-флюоритовые грейзены с бериллом	—	—	—	$\frac{n}{\text{До } 0,04}$	—
Кварцево - берилловые жилы и штокверки	—	—	—	$\frac{n}{0,1-0,15}$	—
Кварц-касситерит-молибденит-вольфрамитовые грейзены с бериллом	—	—	—	$\frac{n}{0,05-0,15}$	—
Кварц-топаз-мусковит-сульфидно-касситеритовые грейзены с бериллом (халькопирит, сфалерит)	—	—	—	$\frac{n}{0,04-0,15}$	—
<i>Гидротермалиты</i>					
Кварц - мусковитовые метасоматиты с берtrandитом и экклазом (бериллом, броммелитом)	—	—	—	$\frac{10-20}{0, n-1,5}$	—
Кварц-флюоритовые метасоматиты с бериллом и фенакитом	—	—	—	$\frac{n}{\text{До } 0,4}$	—
Измененные микроклиновые гранофиры с итросинхизитом и циртолитом	—	—	—	—	—
Кальцит-флюорит-мусковитовые метасоматиты с бериллом	—	—	—	$\frac{\text{До } 10}{0,03-0,05}$	—

литель), содержание в руде редких металлов, имеющих % (знаменатель)					Практическое значение месторождений
TR+Y	Zr	Hf	Nb	Ta	
—	—	—	—	—	Крупный перспективный источник цезия, рубидия (и лития)
$\frac{n}{\text{До } 1}$	—	—	—	—	Неперспективные мелкие месторождения редких земель периевой группы с нетехнологичными рудами
—	—	—	—	—	Месторождения бериллия с неясными перспективами
—	—	—	—	—	То же
—	—	—	—	—	Убогие месторождения бериллия с нетехнологичными рудами
—	—	—	—	—	Разрабатываемые месторождения изумрудов и бериллия с возможным попутным извлечением из флогопита цезия, рубидия и лития
—	—	—	—	—	Небольшие месторождения лития, рубидия и цезия
—	—	—	—	—	Убогие непромышленные месторождения бериллия
—	—	—	—	—	Мелкие и средние месторождения бериллия
—	—	—	—	—	Мелкие и средние месторождения бериллия, молибдена, вольфрама, иногда олова
—	—	—	—	—	Перспективные месторождения бериллия, олова, меди и цинка
—	—	—	—	—	Крупные месторождения бериллия
—	—	—	—	—	Мелкие и средние богатые месторождения бериллия
$\frac{n \cdot 10}{0,4}$	$\frac{n \cdot 10}{0,3}$	$\frac{0, n}{0,01}$	—	—	Бедные месторождения редких земель иттриевой группы с попутными цирконием и гафнием
—	—	—	—	—	Бедные средних масштабов месторождения бериллия

Таблица 1 (продолжение)

Редкометалльная формация, тип месторождения и главные минералы-носители редких металлов	Обычные запасы редких металлов в месторождениях, тыс. т (число практическое значение,				
	Li	Rb	Cs	Be	Sr
Мусковит-турмалин-флюоритовые метасоматиты с хризобериллом	—	—	—	$\frac{1-3}{0,05-0,08}$	—
Мусковит-лиитионит-флюоритовые метасоматиты с фенакитом	$\frac{\text{До } 50}{0,1-0,2}$	$\frac{10n}{0,2-0,3}$	$\frac{n}{0,015-0,020}$	$\frac{4-6}{0,04-0,07}$	—
Кварц-флюорит-альбитовые метасоматиты с фенакитом	—	—	—	$\frac{n}{\text{До } 0,15}$	—
Альбит-микроклин-флюоритовые метасоматиты с берtrandитом и фенакитом	—	—	—	$\frac{n}{0,08}$	—
Флюоритовые метасоматиты с фенакитом и берtrandитом в известняках	—	—	—	$\frac{n}{0,3-0,5}$	—
Кальцит - флюоритовые метасоматиты с берtrandитом в известняках	—	—	—	$\frac{\text{До } 2}{0,1}$	—
Монтмориллонит - халцедон-флюоритовые метасоматиты с бехонитом и гельберtrandитом в туфах риолитовых порфиритов	—	—	—	$\frac{\text{До } 50}{0,1-0,2}$	—
Гематит - карбонатные жилы со стронцианитом и целестином в связи с граносиенитами	—	—	—	—	$\frac{n \cdot 100}{1-3}$
Редкоземельно - ураноносные зоны в порфиритовых туфах с целестином	—	—	—	—	$\frac{40n}{\text{До } 10}$
Кислые эффузивы	—	$\frac{\text{До } 1}{\text{До } 0,1}$	$\frac{\text{До } 4}{0,2-0,3}$	—	—
Цезиеносные кислые стекла	—	—	—	—	—
<i>Эндеогенные месторождения</i>					
Редкометалльные щелочные граниты	—	—	—	—	—
Биотит-микроклин-альбитовые с колумбитом	—	—	—	—	—
Рибекит-протолитионит-микроклин-альбитовые с колумбитом, танталопирохлором, цирконом	—	—	—	—	—
Рибекит-микроклин-альбитовые граниты и метасоматиты с танталопирохлором, цирконом, гагаринитом	—	—	—	—	—

литель), содержание в руде редких металлов, имеющих % (знаменатель)					Практическое значение месторождений
TR+Y	Zr	Hf	Nb	Ta	
—	—	—	—	—	Месторождения бериллия с неясными перспективами (нетехнологичные руды)
—	—	—	—	—	Разрабатываемые месторождения флюорита с возможным попутным получением лития и рубидия из слюдяных хвостов, а также бериллия
—	—	—	—	—	Месторождения бериллия, слабо изученные
—	—	—	—	—	Бедные малоперспективные месторождения бериллия
—	—	—	—	—	Богатые месторождения бериллия среднего масштаба
—	—	—	—	—	Небольшие месторождения бериллия
—	—	—	—	—	Крупные богатые разрабатываемые месторождения бериллия
—	—	—	—	—	Месторождения стронция с неясными перспективами
$\frac{n?}{0,n?}$	—	—	—	—	Перспективы месторождения неясны
—	—	—	—	—	Месторождения цезия с неясными перспективами
<i>в связи с щелочными породами</i>					
—	—	—	$\frac{n \cdot 10}{0,1-0,2}$	$\frac{n}{0,005-0,010}$	Убогие месторождения ниобия и тантала. Участки, покрытые корой выветривания, служат источником добычи колумбита на ферротантал-ниобий
—	$\frac{\text{До } 1000}{0,3-0,4}$	$\frac{n \cdot 10}{0,01-0,02}$	$\frac{\text{До } 1000}{0,15-0,30}$	$\frac{\text{До } 100}{0,015-0,030}$	Крупные месторождения тантала и ниобия с попутным цирконием и гафнием
$\frac{?}{0,3-0,5}$	$\frac{\text{До } 1000}{0,3-0,4}$	$\frac{n \cdot 10}{0,01-0,02}$	$\frac{\text{До } 1000}{0,3-0,5}$	$\frac{\text{До } 100}{0,020-0,050}$	Крупные месторождения тантала и ниобия с попутными цирконием, гафнием, редкими землями

Таблица 1 (продолжение)

Редкометалльная формация, тип месторождения и главные минералы-носители редких металлов	Обычные запасы редких металлов в месторождениях, тыс. т (число практическое значение,				
	Li	Rb	Cs	Be	Sr
<i>Метасоматиты в связи с щелочными гранитами</i>					
Альбититы с иттриалитом, цирконом, фергусонитом и эвксенитом	—	—	—	—	—
Бiotит-полевошпатовые кварцевые метасоматиты с бритолином, абукумалитом и торитом	—	—	—	—	—
Гематит-полевошпатово-флюоритовые жилы и метасоматиты с лейкофаном, бертрандитом, эвклазом	—	—	—	$\frac{n}{0,2}$	—
Эгирин-фенгитовые микроклин-альбитовые и альбитовые метасоматиты с плюмбонирохлором, фергусонитом, цирконом, эвксенитом и колумбитом	—	—	—	—	—
<i>Редкометалльные фениты</i>					
Арфведсонит - альбитовые с астрофиллитом	—	—	$\frac{?}{0,1-0,3}$	—	?
Арфведсонит - эгирин-альбит-ортоклазовые с бариллитом	—	—	—	$\frac{До 5}{0,1-0,2}$	—
<i>Апатитовые нефелиновые сиениты</i>					
Апатит-нефелиновые породы	—	$\frac{n}{0,00n}$	—	—	$\frac{n \cdot 100}{До 1}$
Уртиты и малиниты с лопаритом	—	—	—	—	?
Эвдиалитовые лувяриты и эвдиалититы	—	—	—	—	—
Стенструпиновые и лозеритовые лувяриты	—	—	—	—	—
<i>Щелочные метасоматиты в связи с мicasкитами</i>					
Бiotит-карбонатные с пироксеном	—	—	—	—	—
Альбититы с цирконом и пироксеном	—	—	—	—	—
Эгирин-альбитовые с уран-пироксеном, пандитом и цирконом	—	—	—	—	—
Гематит-альбит-микроклиновые с ниобиевым эшинитом, колумбитом и ильменорутитом	—	—	—	—	—

литель), содержание в руде редких металлов, имеющих % (знаменатель)					Практическое значение месторождений
TR+Y	Zr	Hf	Nb	Ta	
$\frac{n}{0, n}$	$\frac{n}{0, n}$	$\frac{0, n}{0, 0n}$	$\frac{n}{\sim 0,5}$	$\frac{0, n}{0, 015}$	Мелкие месторождения редких земель иттриевой группы и других редких металлов с неясными перспективами
$\frac{n}{\text{До } 1-2}$	—	—	—	—	Мелкие месторождения редких земель с неясными перспективами
—	—	—	—	—	Месторождения бериллия с неясными перспективами
$\frac{\text{До } 200}{0,3-0,5}$	$\frac{\text{До } 200}{0,4-0,6}$	$\frac{n}{0, 00n}$	$\frac{10n}{0,1-0,2}$	$\frac{n}{0,01-0,02}$	Убогие месторождения тантала, ниобия, редких земель, циркония с неясными перспективами
—	—	—	—	—	Месторождения цезия с неясными перспективами
—	—	—	—	—	Перспективные богатые месторождения бериллия
$\frac{n \cdot 1000}{\sim 0,4}$	—	—	—	—	Разрабатываемые крупные месторождения апатита, из которого возможно попутное извлечение редких земель (до 3—4% TR ₂ O ₃) и стронция (2—5% SrO). При переработке нефелина на алюминий возможно извлечение рубидия
$\frac{?}{0,3-0,5}$	—	—	$\frac{?}{0,2-0,4}$	$\frac{?}{0,02-0,025}$	Крупные месторождения тантала, ниобия, редких земель цериевой группы и, возможно, стронция
$\frac{n \cdot 10}{0, n}$	$\frac{n \cdot 100}{\text{До } 3-5}$	$\frac{n \cdot 10}{\text{До } 0,1}$	$\frac{n \cdot 100}{0,08}$	$\frac{n \cdot 10}{0,005-0,015}$	Перспективные крупные комплексы месторождения тантала, ниобия, редких земель; циркония, слабо изученные, особенно технологически
$\frac{n \cdot 1000}{\text{До } 0,7}$	$\frac{n \cdot 1000}{\text{До } 0,5}$	$\frac{n \cdot 10}{0,00n}$	$\frac{n \cdot 100}{0,2-0,3}$	$\frac{n \cdot 10}{0,015-0,025}$	То же
—	—	—	$\frac{n \cdot 100}{0,2-0,5}$	—	Разрабатываемые месторождения ниобия
—	$\frac{n \cdot 10}{\text{До } 0,4}$	—	$\frac{n \cdot 10 - n \cdot 100}{0,15-0,6}$	—	Разрабатываемые месторождения ниобия и циркония
$\frac{\text{До } 100}{\sim 0,2}$	$\frac{\text{До } 100}{\sim 0,3}$	$\frac{n}{0,005}$	$\frac{\text{До } 100}{0,15-0,3}$	$\frac{5-10}{0,01-0,02}$	Месторождения тантала, ниобия, редких земель и циркония с неясными перспективами
$\frac{\text{До } 100}{0,2}$	$\frac{\text{До } 200}{0,3}$	$\frac{n}{0,005}$	$\frac{\text{До } 200}{0,2-0,4}$	$\frac{10-15}{0,02-0,04}$	То же

Таблица 1 (продолжение)

Редкометалловая формация, тип месторождения и главные минералы-носители редких металлов	Обычные запасы редких металлов в месторождениях, тыс. т (число имеющих практическое значение)				
	Li	Rb	Cs	Be	Sr
Флюоритовые жилы с аминовитом и лейкофаном	—	—	—	$\frac{?}{0,2-0,4}$	—
Ультраосновные-щелочные породы, карбонаты и связанные с ними метасоматиты	—	—	—	—	—
Ультрабазиты с перовскитом	—	—	—	—	—
Бадделейтовые жилы в нефелиновых сиенитах	—	—	—	—	—
Альбититы с гатчеттолитом	—	—	—	—	—
Кальцит-апатит-магнетит-форстеритовые залежи с гатчеттолитом и бадделейтом	—	—	—	—	—
Апатит-кальцитовые карбонаты с пироксолом и гатчеттолитом	—	—	—	—	$\frac{?}{0,5-1}$
Аннеритовые карбонаты с фторкарбонатами редких земель (бастнезит, паразит)	—	—	—	—	$\frac{?}{0,5-1}$
Карбонатно-флюорит-(магнетит)-гематитовые образования с бастнезитом и паразитом	—	—	—	—	—
Кварц-апатит-монацитовые жилы	—	—	—	—	—
Щелочные метасоматиты вне видимой связи с интрузиями	—	—	—	—	—
Существенно микроклиновые с гентгельвином	—	—	—	$\frac{n}{0,15-0,2}$	—
Рибекит-эгирин-альбитовые с лейкофаном, фенакитом, даналитом, бастнезитом, цирконом	—	—	—	$\frac{10n}{\sim 0,2}$	—
Рибекит-альбитовые с эвксенитом и циртолитом	—	—	—	—	—
<i>Метаморфические</i>					
Метаморфогенные мигматиты с монацитом	—	—	—	—	—
Метаморфизованные россыли, гравелиты и конгломераты	—	—	—	—	—
Метаморфизованные гравелиты с ильменорутилом и эвксенитом	—	—	—	—	—

литель), содержание в руде редких металлов, % (знаменатель)					Практическое значение месторождений
TR+Y	Zr	Hf	Nb	Ta	
—	—	—	—	—	Месторождения бериллия, слабо изучены
$\frac{500-1000}{0,3-0,5}$	—	—	$\frac{n \cdot 10}{0,0n}$	—	Месторождения титана, редких земель цериевой группы и ниобия с нетехнологичными рудами
—	$\frac{n \cdot 100}{10-30}$	$\frac{n}{0,n}$	—	—	Богатые месторождения циркония и гафния
$\frac{n \cdot 10}{0,1-0,5}$	—	—	$\frac{10n}{0,1-0,25}$	$\frac{n}{0,020-0,030}$	Богатые месторождения тантала с попутными ниобием и редкими землями, руды труднообогатимы
$\frac{100}{0,3-0,5}$	$\frac{n \cdot 100}{0,1-0,5}$	—	$\frac{15-30}{0,1-0,3}$	$\frac{n}{0,010-0,015}$	Разрабатываемые месторождения железа с попутным получением тантало-ниобиевых гатчетолитовых концентратов и бадделента
—	$\frac{n \cdot 1000}{0,1-0,5}$	—	$\frac{n \cdot 1000}{0,2-0,5}$	$\frac{n}{0,015-0,025}$	Крупные месторождения ниобия и фосфора, на отдельных участках руды обогащены танталом, редкими землями и цирконием
$\frac{n \cdot 1000}{1-5}$	—	—	—	—	Крупные богатые месторождения редких земель цериевой группы (основной источник редких земель); извлечение стронция технологически не изучено
$\frac{n \cdot 10}{\text{До } 1}$	—	—	—	—	Перспективные месторождения редких земель цериевой группы
$\frac{n \cdot 10}{\text{До } 10}$	—	—	—	—	Мелкие, но богатые месторождения редких земель цериевой группы
—	—	—	—	—	Богатые месторождения бериллия среднего масштаба
$\frac{n \cdot 10}{\sim 2,0}$	$\frac{10-20}{0,1-0,2}$	—	—	—	Богатые месторождения бериллия и редких земель цериевой группы с попутным цирконием
$\frac{n}{0,n}$	$\frac{n}{n}$	$\frac{0,0n}{0,0n}$	$\frac{n}{0,3-0,5}$	$\frac{10n}{\sim 0,02}$	Мелкие рудопроявления редких земель, циркония, ниобия. Мало перспективны
<i>месторождения</i>					
$\frac{\sim 900}{\sim 0,5}$	—	—	—	—	Месторождения редких земель итриевой подгруппы с неясными перспективами
—	—	—	$\frac{10n}{0,1-0,15}$	$\frac{n}{0,008-0,015}$	Месторождения тантала и ниобия с неясными перспективами

Таблица 1 (продолжение)

Редкометалльная формация, тип месторождения и главные минералы-носители редких металлов	Обычные запасы редких металлов в месторождениях, тыс. т (число имеющих практическое значение,				
	Li	Rb	Cs	Be	Sr
Ураноносные конгломераты и россыпи с браннеритом, уранинитом, давидитом, монацитом	—	—	—	—	—
Метаморфизованные россыпи с браннеритом и монацитом	—	—	—	—	—
<i>Экзогенные</i>					
<i>Эпигенетические образования</i>					10n
Целестиновые тела выполнения в туфогенных и карбонатных породах	—	—	—	—	До 30 100n
Целестиновые тела замещения в сульфатно-карбонатных породах	—	—	—	—	До 40 До 3000
То же в терригенных породах	—	—	—	—	До 30 100n
Месторождение серы с целестином в карбонатных породах	—	—	—	—	1—3
<i>Вулканоогенно-осадочные образования</i>					
Покровы кислых эффузивов с прослоями углисто-глинисто-карбонатных сланцев	?	?	?	?	—
	До 0,15	0,0n	0,00n	0,0n	—
Эффузивно-осадочные отложения с целестином	—	—	—	—	До 1500 10—20
<i>Органоогенно-осадочные образования</i>					
Отложения апатитизированного костного детрита (с редкими землями, стронцием и скандием)	—	—	—	—	100 0,5—0,8
Месторождения бурого угля (с рубидием, цезием, бериллием)	—	?	3	?	—
	—	0,0n	0,00n	0,0n—0,n	—
<i>Хемогенно-осадочные образования</i>					
Карналлиты	—	n · 100	—	—	—
	—	0,006—0,012	—	—	—
Рабдофанит-черчитовые пески и песчаники	—	—	—	—	—
Целестиновые отложения в красноцветной и пестроцветной формациях	—	—	—	—	10—500 10—20
Рубидий- и цезийсодержащие браунит-псомелановые отложения	—	До 3 0,02	До 1 0,006	—	—

литель), содержание в руде редких металлов, % (знаменатель)					Практическое значение месторождений
TR+Y	Zr	Hf	Nb	Ta	
$\frac{400}{0,1}$	—	—	—	—	Разрабатываемые месторождения урана с попутным получением редких земель иттриевой группы
$\frac{300}{0,4}$	—	—	—	—	То же
<i>месторождения</i>					
—	—	—	—	—	Месторождения стронция с неясными перспективами
—	—	—	—	—	Ведущий источник добычи стронция
—	—	—	—	—	Перспективный источник получения стронция
—	—	—	—	—	Разрабатываемые месторождения серы с возможным попутным извлечением целестина
—	—	—	—	—	Слабо изученные комплексные месторождения редких, малых и радиоактивных элементов
—	—	—	—	—	Крупные, но не богатые месторождения стронция
$\frac{\text{До } 300}{\text{До } 0,2}$	—	—	—	—	Разрабатываемые месторождения урана с попутным получением редких земель, стронция
—	—	—	—	—	Разрабатываемые месторождения германия, получаемого попутно при сжигании угля, в перспективе возможно извлечение рубидия, цезия, бериллия
—	—	—	—	—	Разрабатываемые калийно-магниевые месторождения с попутным получением рубидия
$\frac{n \cdot 10}{0, n}$	—	—	—	—	Месторождения редких земель с неясными перспективами
—	—	—	—	—	Перспективные месторождения стронция
—	—	—	—	—	Разрабатываемые месторождения марганца; перспективы извлечения рубидия и цезия не ясны

Таблица 1 (продолжение)

Редкометалльная формация, тип месторождения и главные минералы-носители редких металлов	Обычные запасы редких металлов в месторождениях, тыс. т (числа имеющих практическое значение,				
	Li	Rb	Cs	Be	Sr
<i>Коры выветривания</i>					
На редкометалльных перматитах с танталитом, реже другими танталатами и танталистым касситеритом	—	—	—	—	—
На щелочных гранитах с колумбитом	—	—	—	—	—
На щелочных сиенитах с бастнезитом и рабдофанитом	$\frac{10n}{0,05-0,15}$	—	—	—	—
На нефелиновых сиенитах с бадделейтом	—	—	—	—	—
На карбонатитах с колумбитом и пироксеном	—	—	—	—	—
<i>Россыпи</i>					
Элювиально делювиальные и аллювиальные танталита, торолита, джалмаита в связи с перматитами	—	—	—	—	—
Элювиально - делювиальные, аллювиальные и прибрежно-морские (лагунные) колумбита, эвксенита, фергусонита, ильменорутила в связи с щелочными гранитами	—	—	—	—	—
Делювиально - аллювиальные колумбитизированного пироксена в связи с карбонатитами	—	—	—	—	—
Аллювиальные лопарита в связи с нефелиновыми сиенитами	—	—	—	—	—
Делювиально - аллювиальные циркона и пироксена в связи с миацитам	—	—	—	—	—
Современные и древние прибрежно-морские циркона, монацита, ильменита	—	—	—	—	—
Прибрежно-морские монацита	—	—	—	—	—
Прибрежно-морские ксенотима и танталитового касситерита	—	—	—	—	—
<i>Природные высококи-нерализованные воды</i>					
Подземные высококи-нерализованные воды хлоридно-кальциево-натриевого и других классов	$\frac{10n}{0,000n-0,04}$	$\frac{?}{0,000n-0,00n}$	$\frac{?}{0,0000n-0,000n}$	—	$\frac{100n}{0,0n-0,n}$
Подземные иодо-бромные воды хлоридно-натриевого и хлоридно-кальциево - натриевого классов	—	—	—	—	$\frac{До 200}{0,0n}$

литель), содержание в руде редких металлов, % (знаменатель)					Практическое значение месторождений
TR+Y	Zr	Hf	Nb	Ta	
—	—	—	—	$\frac{0, n}{0,003-0,010}$	Мелкие, но высокорентабельные месторождения тантала. В настоящее время важный источник его добычи
—	—	—	$\frac{n \cdot 10}{0,0n}$	$\frac{0,2-2}{0,003-0,010}$	Небольшие месторождения ниобия и тантала, важный источник добычи тантало-ниобиевых концентратов
$\frac{\text{До } 500}{\text{Около } 1}$	—	—	—	—	Перспективный источник добычи редких земель и, возможно, лития
?	$\frac{?n \cdot 10}{10n}$	$\frac{\text{До } 1}{0, n}$	—	—	Богатые месторождения циркония и гафния; важный источник их добычи
$\frac{?}{0,1-0,5}$	—	—	$\frac{n \cdot 100}{0, n-n}$	$\frac{n}{0,005-0,020}$	Высокорентабельные месторождения ниобия; важный источник добычи ниобиевых концентратов
—	—	—	$\frac{0,0n-0, n}{0,001-0,01}$	$\frac{0,0n-0, n}{0,001-0,007}$	Мелкие месторождения тантала; один из важных источников его добычи
—	—	—	$\frac{0, n-n}{0,0n}$	$\frac{0, n}{0,003-0,008}$	Небольшие месторождения ниобия; в прошлом важный источник его добычи
—	—	—	$\frac{n \cdot 100}{0,2-0,5}$	$\frac{n}{0,005-0,01}$	Перспективный источник ниобия
$\frac{n}{0,04-0,05}$	—	—	$\frac{n}{0,04-0,05}$	$\frac{0, n}{0,003-0,004}$	Небольшой источник добычи ниобия, тантала и редких земель
—	$\frac{n \cdot 10}{\text{До } 0,1}$	—	$\frac{?}{\text{До } 0,1}$	—	Мелкие источники добычи циркония и ниобия
$\frac{n \cdot 100}{\text{До } n}$	$\frac{100}{\text{До } n}$	$\frac{n}{\text{До } 0,0n}$	—	—	Крупные разрабатываемые месторождения циркония и редких земель
$\frac{n \cdot 100}{0, n}$	—	—	—	—	Разрабатываемые месторождения редких земель цериевой группы
$\frac{n \cdot 10}{\text{До } 0,3}$	—	—	—	$\frac{0, n}{0,00n}$	Разрабатываемые месторождения олова с попутным получением ксенотима и тантала из шлаков
—	—	—	—	—	Перспективный источник получения лития, рубидия, цезия, стронция
—	—	—	—	—	Разрабатываемые месторождения иода и брома с возможным попутным извлечением стронция, рения

Таблица 1 (окончание)

Редкометалльная формация, тип месторождения и главные минералы-носители редких металлов	Обычные запасы редких металлов в месторождениях, тыс. т (число имеющих практическое значение,				
	Li	Rb	Cs	Be	Sr
Термальные воды молодых вулканических областей хлоридно-натриевого класса	$\frac{0, n-n}{\text{До } 0,0035}$	$\frac{0, n}{\text{До } 0,002}$	$\frac{0, n}{\text{До } 0,0015}$	—	—
Межзернистая рапа сухих соляных озер и неглубоко погребенная рапа карбонатно-хлоридно-натриевого и хлоридно-натриевого классов	$\frac{100n}{0,01-0,03}$	$\frac{?}{\text{До } 0,00n}$	$\frac{?}{\text{До } 0,000n}$	—	—
Поверхностная рапа озер хлоридно-натриево-магниевого и сульфатно-хлоридно-магниево-натриевого классов	$\frac{n \cdot 1000}{\text{До } 0,03}$	$\frac{n \cdot 1000}{\text{До } 0,006}$	—	—	—

несколькими, а то и многими крупными телами плитообразной формы, длиной 1—3 км при мощности от 10 до 40 м обычно с крутым падением, состоящими всего из двух зон: краевой кварц-альбитовой и центральной кварц-альбит-сподуменовый. Из них получается свыше половины всей мировой добычи лития в виде сподуменовых концентратов, содержащих 2—2,5% этого металла. Из них же в некоторых странах организовано попутное получение низкокондиционного (около 2% бериллия) бериллиевого концентрата и третьесортного танталит-колумбитового концентрата с содержанием до 20% тантала.

Сподумен-микроклин-альбитовые пегматиты являются самыми высококомплексными среди редкометалльных месторождений всех формаций. Все редкие металлы, которые добываются из редкометалльных пегматитов, получаются, в частности, и из этого типа. Из этих пегматитов добывают основную массу рубидия и цезия. Самые высококачественные танталовые концентраты, а также такие ценные минералы, как лепидолит, петалит, амблигонит, эвкрипит, тоже получают только из этого типа пегматитов.

Месторождения сподумен-микроклин-альбитовых пегматитов обычно представлены одиночными телами линзообразной формы длиной сотни метров (в уникальных случаях — Бикита — до 1,5—2 км) и мощностью от нескольких до 150 м. Тела, как правило, хорошо зональны и отличаются пологими углами падения.

В отдельных случаях (Бразилия, Боливия, Аргентина, КНР, Индия, Афганистан и др.) большое промышленное значение имеют микроклиновые, микроклин-альбитовые и альбитовые пегматиты как поставщики крупнокристаллического рудоразборного берилла. Однако в связи с открытием в мире новых типов весьма богатого бериллиевого оруденения, о чем будет сказано ниже, этот источник добычи данного металла, видимо, уже в 80-ые годы потеряет свое ведущее положение. В СССР лишь из альбитовых и микроклин-альбитовых пегматитов производится попутная добыча берилла вместе с разработкой их на танталит. Эти же три типа пегматитов в том случае, когда они покрыты корой выветривания и со-

литель), содержание в руде редких металлов, % (знаменатель)					Практическое значение месторождений
TR+Y	Zr	Hf	Nb	Ta	
—	—	—	—	—	Перспективные источники добычи лития, рубидия, цезия
—	—	—	—	—	Высокорентабельный источник добычи лития, попутно добываемого при извлечении ряда солей и бора
—	—	—	—	—	Один из основных источников добычи лития

проводятся элювиально-делювиальными и аллювиальными россыпями, являются важным источником добычи танталита и других танталатов (Бразилия, Индия, Австралия и др.).

Метасоматиты в связи с гранитными пегматитами. К этой формации отнесены измененные амфиболовые породы с цезиевым биотитом, формирующимся в процессе экзоконтактового метасоматоза вмещающих пород под воздействием выносимых из пегматитов калия, цезия, фтора, воды и других компонентов. Цезиевый биотит, по данным В. А. Хвостовой, содержит до 4—7% цезия, до 1—2% рубидия и первые десятые доли процента лития. Значительное количество лития содержится также в одновременно образующемся холмквистите. Наиболее мощный процесс образования цезиевого биотита наблюдается вблизи пегматитов, образующихся в неспокойной тектонической обстановке в связи с самым обогащенным цезием типом — сподумен-микроклин-альбитовыми пегматитами. Мощность экзоконтактовых зон исчисляется метрами. Технологические исследования показывают, что редкие щелочные металлы могут быть эффективно извлечены из экзоконтактовых измененных пород методами циклонной плавки или гидротермального выщелачивания. Крупные запасы цезия, сопоставимые с его запасами в месторождениях поллуцита, высокое содержание этого элемента в измененных экзоконтактовых породах, соизмеримое с содержанием в пегматитах, позволяют рассматривать эти образования как один из весьма перспективных источников получения редких щелочных металлов в недалеком будущем [22].

Редкометалльные скарны. Существование этой формации некоторыми исследователями отвергается. Считается, что бериллиевая минерализация в них обязана наложению грейзенового процесса. Не оспаривая наличия минерализации грейзеновой стадии процесса в рассматриваемых образованиях, мы в то же время полагаем, что присутствие таких специфических редкометалльных минералов, как таффент, гельвин, а тем более — редкоземельный сфен и ортит, которые совсем не характерны для грейзенов, позволяют выделять данные образования в самостоя-

тельную скарновую формацию месторождений редких металлов. Эта формация имеет характерную существенно бериллиевую, реже редкоземельную специализацию. В настоящее время ни один из известных парагенетических типов редкометалльных скарнов не используется, однако содержание и запасы упомянутых элементов в них довольно большие, это позволяет полагать, что редкометалльные скарны в отдельных странах, где не имеется других более богатых типов месторождений бериллия и редких земель, могут представить практическое значение в будущем. Поэтому мы считаем возможным включение их в данную систематику.

Грейзеново-гидротермальные образования объединяют обширную группу существенно бериллиевых месторождений. В изумрудоносных жилах к бериллию добавляются литий, рубидий, цезий как возможные в перспективе попутные компоненты при их извлечении из флогопита. В циннвальдитовых грейзенах редкие щелочные металлы получают самостоятельное практическое значение, притом без бериллия. Грейзеновые месторождения образуют штокверковые, а чаще жильные зоны сложной формы. Бериллиевая минерализация в них представлена бериллом, который сопровождается следующими рудными минералами (одним или несколькими): касситеритом, вольфрамитом, молибденитом, халькопиритом и сфалеритом, представляющими самостоятельное значение, либо являющимися важными попутными компонентами. Содержание бериллия колеблется в широких пределах и в отдельных маломощных прожилках достигает первых процентов, но в среднем по месторождению, как правило, составляет 0,1—0,2% при запасах, исчисляемых первыми тысячами тонн [3].

Гидротермалиты объединяют еще более многочисленную группу, главным образом монокомпонентных месторождений бериллия, которые характеризуются самым высоким его содержанием (первые десятые доли процента). Запасы бериллия превышают 3 тыс. т, а в отдельных случаях достигают 45 тыс. т (Томас Рендж, Калифорния, США). Морфологически месторождения образуют мощные метасоматические залежи неpravильной формы. Руды представлены такими богатыми бериллием минералами, как фенакит, берtrandит, гелъберtrandит, беxоит, а в более высокотемпературных месторождениях — берилл и хризоберилл. Показательна обычная монокомпонентность руд, столь редкая для редкометалльных месторождений. Лишь в мусковит-литионит-флюоритовых метасоматитах к бериллиевой минерализации добавляются редкие щелочные металлы (в слюдах).

Месторождения этой формации в недалеком будущем должны занять ведущее положение в минерально-сырьевой базе бериллия [32].

В формацию гидротермалитов включены наряду с прочими два типа, пока представленные кварц-мусковитовые образования с берtrandитом — Редскин Шток (Колорадо, США) и кварц-флюоритовые метасоматиты месторождений Сибири. Эти месторождения предыдущими исследователями относились к грейзенам. Однако нельзя не обратить внимание на то, что в обоих случаях появляются необычные (в такой высокой концентрации) для настоящих грейзенов, но характерные для гидротермалитов бериллиевые минералы — берtrandит и фенакит. Среднее содержание бериллия возрастает; запасы бериллия в американском месторождении достигают 15 тыс. т, что также более характерно для гидротермалитов. В обоих месторождениях касситерит, вольфрамит и молибденит, столь характерные для грейзенов, отсутствуют. По всем этим данным, равно как и по

морфологии (мощные метасоматические залежи), эти месторождения гораздо ближе к формации гидротермалитов, куда мы их и помещаем. Следует заметить, что граница между грейзенами и гидротермалитами довольно условна.

К гидротермалитам также отнесено несколько необычное месторождение итросинхизита и циртолита в измененных гранофирах, а кроме того, непромышленные позднегидротермальные месторождения стронция, которые, возможно, следовало бы выделить в самостоятельные формации.

Кислые эффузивы. В последние годы в ряде районов мира выявлены высокие содержания (до 0,2—0,4%) цезия в кислых эффузивах [16, 37].

В отдельных случаях высокие концентрации цезия сопровождаются повышенными (до 0,3%) содержаниями рубидия. Повышенные содержания этих редких щелочных металлов характерны для эффузивов верхнепалеозойского и мезозойского возрастов молодых складчатых областей. Перспективы извлечения цезия и рубидия из эффузивов, равно как и масштабы минерализации, требуют дальнейшего изучения.

Редкометалльные щелочные граниты как высокорентабельный источник добычи колумбитовых концентратов получили большую известность в пятидесятые годы, благодаря разработке связанных с ними кор выветривания и переотложенных россыпей на плато Джос в Нигерии. Но только сравнительно недавно в сходных гранитах были обнаружены концентрации тантала до 0,03—0,05% (при отношении ниобия к танталу 8—12), что позволяет рассматривать их в качестве одного из перспективных генетических типов коренных руд тантала.

Щелочные редкометалльные граниты, как правило, слагаются кварцем, микроклином и альбитом с довольно непостоянным соотношением калиевого и натриевого полевых шпатов. В пределах одного и того же массива выделяются как существенно микроклиновые, так и существенно альбитовые разности (зоны). Из второстепенных минералов весьма характерны рибекит и литиево-железистые слюды непостоянного состава — от литиевого биотита и сидерофиллита до циннвальдита и криофиллита. Соотношение рибекита и этих слюд также очень непостоянно, существуют все переходы от чисто рибекитовых до чисто биотитовых или циннвальдитовых разностей. Это позволяет до некоторой степени условно различать несколько парагенетических типов редкометалльных субщелочных гранитов (см. табл. 1). Наибольший практический интерес представляют рибекитовые и рибекит-циннвальдитовые редкометалльные щелочные граниты.

Наряду с уже названными минералами в этих гранитах постоянно присутствуют циркон (в некоторых массивах до 5%), флюорит, криолит, томсенолит, гагаринит, ксенотим, ферриторит, фергусонит и др.

Граниты образуют довольно крупные тела, в плане изометричные, площадью до 10 км² и более. Танталовое оруденение прослеживается в них на глубину в несколько сотен метров без заметного снижения содержания. Запасы тантала в подобных месторождениях исчисляются многими десятками тысяч тонн.

Генезис гранитов этой формации различными исследователями истолковывается по-разному. Одни считают их результатом кристаллизации щелочного гранитного расплава, другие приводят убедительные свидетельства метасоматической природы их как продуктов замещения щелочными растворами пород гнейсо-сланцевого состава. Оба варианта генезиса достаточно вероятны и не исключают друг друга. Вполне возможно также, что

тантало-ниобиевые щелочные граниты могли образоваться путем кристаллизации специфического магматического расплава, осложненной, однако, явлениями аутометасоматоза.

Редкометалльные щелочные граниты в будущем должны явиться одним из важнейших источников добычи тантала, ниобия, циркония и редких земель.

Метасоматиты в связи с щелочными гранитами включают четыре парагенетических типа мелких месторождений существенно тантало-ниобиевых, редкоземельных (преимущественно иттриевых) или бериллиевых. Перспективы использования подобных месторождений невелики.

Редкометалльные фениты пока представлены месторождениями всего лишь двух парагенетических типов, один из которых содержит повышенные, но непромышленные содержания цезия (в форме астрофиллита), а другой — практически интересные концентрации бериллия (барилитовое месторождение Силл-Лейк в Канаде). Астрофиллит как сырье на цезий в настоящее время не вызывает интереса, хотя нельзя не отметить, что возможности современных простых способов извлечения этого элемента путем гидротермальной экстракции слабокислыми растворами без предварительного обогащения руд и разложения минерала позволяет более оптимистично смотреть на вероятность выявления скоплений цезий-куплетскита, рентабельных для промышленного получения цезиевых солей.

Бериллиевые фениты в случае большого спроса на этот металл могут в будущем получить промышленное значение [34].

Апатитовые нефелиновые сиениты охватывают четыре типа крупных и весьма перспективных месторождений, хотя еще и недостаточно изученных (за исключением уже давно известных лопаритовых уртитов и малиньитов). Для всех типов характерно наличие редких земель, а для последних трех (см. табл. 1) также тантала и ниобия. Именно эти три полезных компонента и определяют промышленную ценность и геохимическое лицо всей формации.

Месторождения представлены крупными массивами нефелиновых сиенитов, приуроченными к зонам активизации древних щитов.

Апатит-нефелиновые породы являются крупными месторождениями фосфорных удобрений и высокоглиноземистого сырья для производства алюминия. Попутно при переработке апатитового концентрата могут получаться огромные массы редких земель цериевой группы и стронция. Содержание суммы редких земель в руде достигает 2% и примерно столько же содержится стронция.

Попутно при переработке нефелина на алюминий можно извлекать значительные количества рубидия. Содержание рубидия в минерале составляет всего лишь первые тысячные доли процента, но в одном из промежуточных продуктов переработки нефелина (содовой рапе) он накапливается в количестве до десятых долей процента, т. е. даже больше, чем в отработанных щелоках производства магнезии из карналлитов, откуда сейчас получается рубидий, что создает возможность эффективного извлечения рубидия из нефелина. Для данных целей, разумеется, вполне пригоден и нефелин, который добывается для переработки на алюминий из массивов нефелиновых сиенитов, не содержащих апатита.

В перспективе поистине неисчерпаемым источником многих редких металлов и других ценных компонентов могут явиться эвдиалититы, рибекит-стенструпиновые и мурманит-ловозеритовые дуэвриты. Некоторые

разновидности их слагают целые массивы, в которых содержится (в %): до 0,03 тантала, 0,3 ниобия, 0,7 суммы редких земель, 2,2 циркония, а также гафнит, торий, галлий, бериллий, титан (до 2,2) и др. Поэтому комплексная переработка подобных руд обещает большие перспективы, однако их практическое использование пока представляет не только технологическую, но и техническую проблему, так как требует строительства уникальных химико-металлургических предприятий. Тем не менее показательно, что датчане предполагают начать разработку сходных по составу геологических образований Гренландии с целью извлечения урана для снабжения им Скандинавских стран [38].

Щелочные метасоматиты в связи с миаскитами представлены пятью парагенетическими типами существенно ниобиевых месторождений, иногда с попутными танталом, редкими землями или цирконием; один тип представлен существенно бериллиевыми месторождениями, перспективность которых весьма проблематична (равно как и принадлежность к данной формации).

Первые два типа этой формации — альбититы с цирконом и пироксеном и биотит-карбонатные жилы с пироксеном — разрабатываются на ниобий с попутным получением циркония. Это небольшие или средних размеров жилобразные тела, длиной до нескольких сотен метров при мощности десятки метров, залегающие в экзо- и эндоконтакте массивов миаскитовых нефелиновых сиенитов. Генетически их, вероятно, можно параллелизовать с формацией карбонатитов ультраосновных-щелочных пород.

Два других типа — эгирин-альбитовые и гематит-альбит-микроклиновые метасоматиты — представлены комплексными циркониево-редкоземельно-тантало-ниобиевыми месторождениями небольшого и среднего масштаба, образующими метасоматические тела сложной и линзообразной формы, длиной до сотен метров и мощностью до нескольких десятков метров. Редкометалльная минерализация здесь имеет весьма разнообразный состав (уран-пироксен, пандайт, ниобиевый эшинит, колумбит, ильменорутит, циркон) и очень малые размеры зерен, что при обогащении руд чрезвычайно затрудняет применение традиционных методов. Поэтому использование таких руд требует создания новых схем их переработки с привлечением химико-металлургических методов.

Ультраосновные-щелочные породы, карбонатиты и связанные с ними метасоматиты объединяют восемь парагенетических типов самых крупных и богатых месторождений ниобия, редких земель, циркония, иногда с попутным танталом. Данная формация хорошо изучена за последние два десятилетия многими исследователями [4, 14, 20]. Каждый из выделенных типов месторождений в сущности является продуктом одной из стадий единого процесса, последовательно сменяющих друг друга во времени, а часто и в пространстве. В зависимости от пространственного совмещения или разделения этих стадий и образуются то комплексные, то монокомпонентные месторождения. Довольно часто в пределах единого месторождения различные его участки или рудные тела представлены рудами разного состава. В наиболее общем случае цирконий и тантал в ходе процесса сменяются ниобием и затем редкими землями. Поздние существенно редкоземельные месторождения порою так далеко отстоят от материнских ультраосновных-щелочных пород, что иногда никакой видимой связи с ними не обнаруживают. Это послужило некоторым ис-

следователям основанием для выделения редкометальных месторождений типа Маунтин-Пасс (США) и Боюнь-Обо (КНР) в самостоятельную формацию гидротермальных образований [24].

Месторождения описываемой формации, как правило, встречаются группами вдоль региональных разломов и образуют весьма своеобразные редкометальные провинции, которые в большинстве случаев соседствуют с поясами редкометальных пегматитов.

Для этих месторождений характерны уникальные масштабы сруденения и высокое содержание редких металлов в рудах.

Самое богатое в мире месторождение циркония Посус-ди-Калдас (Бразилия) относится ко второму типу (см. табл. 1). Оно представлено мелкими почти мономинеральными жилами бадделеита длиной в десятки метров и мощностью до 1 м, залегающими в бадделеитоносных нефелиновых сиенитах. Хотя само образование этих жил, видимо, является процессом вторичным, обогащение массива нефелиновых сиенитов бадделеитом имеет, несомненно, первичное происхождение и обязано изначальной концентрации циркония в щелочной магне и отщепляющихся от нее растворах; поэтому мы относим бадделеитовые жилы к рассматриваемой формации. К тому же бадделеит является типоморфным минералом такого характерного парагенетического типа карбонатитовой формации, как камафориты (кальцит-магнетит-апатит-форстеритовые метасоматиты с гатчеттолитом).

Одни из самых крупных и, несомненно, самые богатые месторождения ниобия также принадлежат к образованиям описываемой формации — это апатит-кальцитовые карбонатиты с пирохлором, иногда гатчеттолитом и бадделеитом. Месторождения образуют, как правило, крутопадающие тела серповидной и линзообразной формы, длиной до нескольких километров при мощности до 100 м, залегающие в массивах ультраосновных-щелочных пород. Наиболее характерным представителем их является Борейро-ди-Араша в Бразилии. Наряду с ниобием большое практическое значение имеет здесь также апатит.

В некоторых случаях вместе с собственно ниобиевыми (пирохлоровыми) рудами присутствуют богатые тантало-ниобиевые руды, представленные гатчеттолитом. Но чаще гатчеттолит накапливается в двух других парагенетических типах этой формации — камафоритах, разрабатываемых на железо, и альбититах. Последние известны в Сибири [36]; они особенно богаты танталом, и отношение тантала к ниобию здесь достигает 2—5, тогда как с переходом к более поздним типам оно понижается до 5—10 в камафоритах и 40—200 в апатит-кальцитовых карбонатитах. Альбититы образуют тела неправильной и линзообразной формы, длиной в сотни метров и мощностью до нескольких десятков метров. К сожалению, гатчеттолит обычно представлен столь мелкой вкрапленностью, что современными методами обогащения он извлекается лишь в низких пределах.

К образованиям этой же формации принадлежат и самые крупные и наиболее богатые месторождения редких земель типа Маунтин-Пасс и Боюнь-Обо, которые заключают в себе половину всех запасов этих металлов на земном шаре. Анкеритовые карбонатиты с фторкарбонатами редких земель, преимущественно цериевой группы, образуют мощные жильные и штокверковые зоны большой протяженности, расположенные в ранних карбонатитах или в породах разнообразного состава в связи

с щелочными габброидами и нефелиновыми сиенитами, реже без видимой связи с ними. Бастнезитовые руды месторождений этого типа характеризуются хорошей обогатимостью и благоприятными технологическими свойствами.

К описываемой формации отнесены и кварц-апатит-монацитовые жилы месторождения Стинкемпс-Крааль в Южно-Африканской Республике, ранее служившего одним из важных источников редких земель, а ныне утратившего свое значение из-за освоения более рентабельных месторождений других типов. Это жилы небольших размеров; генезис их изучен слабо.

Щелочные метасоматиты вне видимой связи с интрузиями охватывают три парагенетических типа, из которых наибольший интерес имеют два первых, представленных богатыми месторождениями бериллия. Месторождения бериллия располагаются в краевых частях древних щитов и платформ [31]; они образуют относительно маломощные зоны замещения в анатектических микроклиновых гранитах (существенно микроклиновые метасоматиты с гентгельвином) или дайках габбро-диабазов (рибекит-эгрин-альбитовые метасоматиты с лейкофаном, бастнезитом, цирконом). Длина метасоматических тел измеряется сотнями метров, а мощность — единицами метров, редко до 10—20 м. Залегание тел в первом случае обычно крутое, во втором — пологое.

Руды месторождений этих двух типов обладают хорошей обогатимостью. Однако существенным недостатком месторождений являются сравнительно мелкие размеры рудных тел.

Редкометалльные мигматиты представлены одним промышленным типом — это мигматиты с монацитом, разрабатывавшиеся в 1950-х годах в Траванкоре (Индия). Сейчас они утратили свое практическое значение из-за освоения новых типов более рентабельных месторождений редких земель и в связи с потерей интереса к торью как радиоактивному сырью.

Метаморфизованные россыпи, гравеллиты и конгломераты объединяют три типа месторождений редких земель иттриевой группы, иногда с танталом и ниобием. Наибольший практический интерес представляют знаменитые месторождения типа Блайнд-Ривер и Витватерсранд. Они разрабатываются на уран, а редкие земли в них являются попутным компонентом.

Эпигенетические образования в осадочных толщах представлены четырьмя типами месторождений стронция, заключающими в себе основные запасы этого металла и служащими основным источником его добычи во всем мире. Наибольшее практическое значение представляют целестиновые тела замещения в сульфатно-карбонатных породах.

Вулканоогенно-осадочные образования содержат два типа месторождений. Один из них представлен вулканоогенно-осадочными отложениями с целестином — это крупное, но не богатое месторождение стронция (Ладлоу, США). Другой тип (по сути дела самостоятельная формация), представленный вулканоогенными породами с углисто-глинисто-карбонатными прослоями, еще очень слабо изучен, но может оказаться весьма перспективным на ряд полезных компонентов (литий, рубидий, цезий, бериллий, ртуть, уран, молибден и др.). Рудопроявления этого типа известны в Средней Азии, Сибири, на Аляске, в США. Они образуют выдержанные пологозалегające толщи пирокластического и осадочно-пирокластического материала мощностью до 10—20 м и более, занимающие пло-

щадь в десятки квадратных километров. Удобные условия разработки и возможность извлечения большинства полезных компонентов подземным выщелачиванием позволяют оценить перспективы промышленного освоения этого типа как многообещающие.

Органогенно-осадочные образования представлены месторождениями двух типов: 1) костным детритом, содержащим уран, редкие земли цериевой и иттриевой групп, стронций и скандий и 2) германиеносными бурными углями с бериллием и редкими щелочными металлами. В обоих типах редкие элементы являются попутными компонентами, и их извлечение требует специальных исследований по разработке эффективных технологических схем (за исключением редких земель, извлечение которых уже организовано). Извлечение рубидия и цезия попутно с германием из бурых углей при их сжигании представляется весьма перспективным и могло бы удовлетворить всю будущую мировую потребность в этих металлах на ближайшие десятилетия.

Хемогенно-осадочные образования охватывают четыре совершенно различного типа, из которых пока лишь карналлиты являются источником небольшой добычи рубидия (попутно из отработанных щелоков при производстве магнезии). Перспективы использования месторождений остальных трех типов проблематичны.

Коры выветривания представлены пятью разнообразными типами всемирно известных месторождений тантала в связи с редкометальными пегматитами (Бразилия, Республика Заир и др.), ниобия в связи с карбонатами (Бразилия) и гранитами (плато Джос, Нигерия), циркония в связи с нефелиновыми сиенитами (Посус-ди-Калдас, Бразилия). Коры выветривания на щелочных сиенитах (СССР) могут явиться рентабельным источником получения редких земель цериевой группы и лития [15].

Россыпи охватывают восемь типов месторождений тантала, ниобия, циркония, редких земель. Для первых трех металлов россыпи ближнего сноса вместе с корами выветривания, с которыми они имеют постепенные переходы, служили до последнего времени основным источником добычи. Большие массы циркония и редких земель добываются также из морских россыпей в Индии, Бразилии, Австралии, а также Малайзии.

Природные высокоминерализованные воды в настоящее время в США являются крупным источником получения лития, для чего используется поверхностная рапа Большого Соленого озера, погребенная рапа месторождения близ Сильвер-Пик и межкристальная рапа сухого соляного оз. Сёрлз. Имеются большие перспективы добычи цезия, рубидия, лития, стронция из глубокозалегающих подземных высокоминерализованных вод. Попутное получение стронция можно организовать из разрабатываемых месторождений подземных иодо-бромных вод. В небольших количествах редкие щелочные металлы могут быть получены из термальных вод, используемых на тепловых электростанциях, для обогрева теплиц и годов.

Распределение металлов по генетическим группам, формациям и типам месторождений

Анализ табл. 1 позволяет наметить основные закономерности распределения редких металлов по месторождениям различных парагенетических типов и формаций, что в свою очередь в ряде случаев дает возможность сделать определенные выводы о практической значимости отдельных типов и о направлении дальнейших поисковых работ. Уровень наших знаний об условиях концентрации редких металлов достаточно высок, и мы уже можем осуществлять поиски не любых месторождений, а месторождений нужных нам парагенетических типов с заранее известными параметрами.

Литий в практически интересных количествах зафиксирован в 17 типах восьми редкометальных формаций, из которых 11 типов пяти формаций находятся в связи с кислыми породами, а остальные являются экзогенными образованиями (табл. 2). В щелочных образованиях зафиксированы концентрации лития до первых десятых долей процента (альбититы с протолитионитом); литиевые слюды известны и в нефелиновых сиенитах и связанных с ними пегматитах. Однако в связи с щелочными породами пока нигде не встречено концентраций, представляющих промышленный интерес, за исключением кор выветривания на щелочных массивах, где литий, возможно, будет иметь практическое значение как попутный компонент при разработке на редкие земли.

В настоящее время литий добывается только из альбит-сподуменовых (сподумен) и сподумен-микроклин-альбитовых пегматитов (сподумен, лепидолит, петалит, амблигонит, эвкрипит) поверхностной и погребенной рапы, а также в небольших размерах из циннвальдита грейзеновых месторождений. Мировая добыча лития исчисляется первыми тысячами тонн в год. Совсем недавно она почти целиком покрывалась за счет пегматитов, а в последние годы США около половины всего лития получают из рапы. Нет сомнения в том, что и в других странах природные высокоминерализованные воды, а также попутно добываемые литиевые слюды как высокорентабельные источники получения этого металла в недалеком будущем составят серьезную конкуренцию пегматитам.

Рубидий обнаруживает повышенные концентрации в 17 типах одиннадцати формаций. В основном его месторождения связаны с кислыми породами и экзогенными образованиями. Рубидий добывается из лепидолита сподумен-микроклин-альбитовых пегматитов и циннвальдита грейзенов при переработке этих слюд на редкие щелочные металлы, в меньшей степени из карналлитов попутно при извлечении из них магния. В небольшом количестве извлекается как побочный продукт при переработке получаемых из пегматитов поллуцитовых и сподуменовых концентратов, а также из рапы (Цайдам, КНР). Мировой уровень производства рубидия в настоящее время не превышает десятков тонн в год. Любой мыслимый рост мировой потребности в этом металле может быть обеспечен как за счет увеличения добычи из традиционных типов его месторождений, так и за счет организации извлечения его из попутно добываемых литиевых и цезиевых слюд (флогопита, литиевого мусковита и эфесита, криофиллита, цезиевого биотита и т. д.), природных высокоминерализованных вод, а также из отходов гидрометаллургической переработки нефелина и многих других продуктов.

Таблица 2

Количество редкометалльных формаций (знаменатель) и парагенетических типов (числитель) месторождений редких металлов в главных генетических группах

Металл	Магматогенные			Экзогенные и метаморфические	Всего типов и формаций
	в связи с кислыми породами	в связи с щелочными породами	итого магматогенных		
Все металлы	$\frac{38}{7}$	$\frac{29}{8}$	$\frac{67}{15}$	$\frac{34}{8}$	$\frac{101}{23}$
В том числе					
Литий	$\frac{11}{5}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{11}{5}$	$\frac{6}{3}$	$\frac{17}{8}$
Рубидий	$\frac{9}{6}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{10}{7}$	$\frac{7}{4}$	$\frac{17}{11}$
Цезий	$\frac{9}{6}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{10}{7}$	$\frac{6}{4}$	$\frac{16}{11}$
Бериллий	$\frac{25}{5}$	$\frac{6}{4}$	$\frac{31}{9}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{33}{11}$
Стронций	$\frac{2}{1}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{9}{5}$	$\frac{14}{8}$
Редкие земли	$\frac{4}{2}$	$\frac{18}{6}$	$\frac{22}{8}$	$\frac{11}{6}$	$\frac{33}{14}$
Цирконий	$\frac{1}{1}$	$\frac{14}{6}$	$\frac{15}{7}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{18}{9}$
Гафний	$\frac{1}{1}$	$\frac{10}{6}$	$\frac{11}{7}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{13}{9}$
Ниобий	$\frac{8}{2}$	$\frac{17}{6}$	$\frac{25}{8}$	$\frac{8}{2}$	$\frac{33}{10}$
Тантал	$\frac{10}{2}$	$\frac{14}{6}$	$\frac{24}{8}$	$\frac{9}{2}$	$\frac{33}{10}$

Цезий образует заслуживающие внимания концентрации в 16 типах 11 редкометалльных формаций. Месторождения цезия, как и рубидия, находятся в связи с кислыми породами и экзогенными образованиями. Цезий получается из поллуцита и лепидолита пегматитов в небольшом количестве из циннвальдита грейзенов и рапы, а также попутно при гидротермальной переработке сподуменовых концентратов. Уровень мирового производства цезия (металла и солей) исчисляется несколькими десятками тонн в год. Основными источниками его добычи в будущем наряду с традиционными следует считать месторождения цезиевого биотита, попутно добываемые слюды (флогопит, эфесит и т. п.), а также природные высокоминерализованные воды.

Бериллий концентрируется в месторождениях 33 типов 11 формаций. Из них 25 типов месторождений связано с кислыми породами, шесть — с щелочными и два — с экзогенными образованиями.

Мировая добыча бериллия составляет около 400 т в год и осущест-

вляется в основном из пегматитов и грейзеново-гидротермальных образований в виде берилла. В будущем эти промышленные типы, вероятно, будут в значительной мере заменены богатыми месторождениями гидротермального генезиса, причем основными минеральными типами руд должны стать фенакит, берtrandит, гентгельвин.

Стронций концентрируется в 14 типах восьми формаций. Из них два типа связаны с кислыми породами, три — с щелочными и девять — с экзогенными образованиями. С последними связаны и наиболее высококачественные месторождения, которые в настоящее время служат основным источником добычи стронция в виде целестина. За рубежом добывается некоторое количество стронцианита из гидротермальных месторождений. Громадные скопления стронция находятся в апатит-нефелиновых месторождениях. Однако содержание его здесь относительно невелико, а извлечение может оказаться рентабельным лишь при разработке комплексных схем утилизации этих руд. В целом стронций гораздо более характерен для месторождений в связи с щелочными породами, нежели в связи с кислыми, а также для экзогенных месторождений, нежели для эндогенных.

Мировая добыча стронция исчисляется многими десятками тысяч тонн в год. Есть основания полагать, что в будущем наряду с целестином и стронцианитом стронций в больших количествах будет получаться из природных высокоминерализованных вод, апатитовых концентратов и, возможно, костного детрита.

Редкие земли обнаруживают заслуживающие внимание концентрации в 33 типах месторождений 14 формаций. Только четыре типа находятся в связи с кислыми породами, основная же масса их связана с щелочными породами (18 типов) и экзогенными образованиями (11). Месторождения, богатые редкими землями иттриевой группы, встречаются главным образом в связи с кислыми породами, реже с щелочными; редкие земли цериевой группы обнаруживают высокие концентрации обычно только в связи с щелочными породами.

Мировая добыча редких земель цериевой группы исчисляется десятками тысяч тонн, а иттриевой — сотнями тонн. В основном она осуществляется из россыпей, нефелиновых сиенитов, карбонатитов, щелочных метасоматитов и костного детрита, в меньшей степени попутно при переработке апатитовых концентратов. Последний источник в будущем может занять одно из ведущих мест в сырьевой базе редких земель, особенно если учесть повышенный спрос на цериевые земли, которыми богаты апатиты. Весьма эффективным источником редких земель могут явиться также коры выветривания щелочных пород, содержащие карбонаты лантановидов, главным образом цериевой группы.

Цирконий образует месторождения 18 типов в девяти формациях. Основная масса их находится в генетической связи с щелочными породами (14 типов), три типа связаны с экзогенными образованиями и только один тип — с кислыми породами.

Мировая добыча циркония во всем мире исчисляется первыми сотнями тысяч тонн. Цирконий получается из бадделейта карбонатитовых месторождений (главным образом связанных с ними кор выветривания) и современных или древних прибрежно-морских россыпей. По всей вероятности, эти источники добычи сохранят свое ведущее положение в его сырьевой базе и на будущее.

Гафний всегда сопутствует цирконию. Обычно его соотношение к цирконию в цирконах и бадделеитах составляет от 1:30 до 1:45, реже оно уменьшается до 1:70, 1:130. В последнем случае месторождение считается существенно циркониевым. Известно, что в гранитных пегматитах циртолиты, альвиты, тортвейтиты, наэгиты содержат от 9 до 31% двуокиси гафния, однако больших скоплений перечисленные минералы здесь не образуют.

Ниобий образует месторождения 33 типов в десяти формациях. Это элемент, весьма характерный для щелочных пород; в связи с ними он образует не только большинство типов месторождений (17), но и самые высокие концентрации, на порядок превышающие его содержания в месторождениях, связанных с кислыми породами. Хотя с последними связано довольно много типов (8) месторождений ниобия, он в них не имеет самостоятельного значения, а если и извлекается, то только попутно с танталом. Довольно много типов (8) известно у ниобия и среди экзогенных образований.

Мировая добыча ниобия исчисляется до 15—20 тысяч *t* в год. В основном он добывается из карбонатитов, кор выветривания и россыпей, связанных с карбонатитами и щелочными гранитами, а также лопаритоносных нефелиновых сиенитов и метасоматитов в связи с миаскитами. В будущем значительное место в сырьевой базе ниобия наряду с освоенными типами месторождений займут коренные руды богатых колумбитом и пироксеном щелочных гранитов.

Тантал образует 33 типа месторождений в тех же десяти формациях, что и ниобий. Распределение типов по главным генетическим группам тоже существенно не отличается от ниобия: 14 типов связано с щелочными, десять — с кислыми породами и девять типов — с экзогенными образованиями. Сходным у этих металлов является и распределение запасов по главным генетическим группам месторождений.

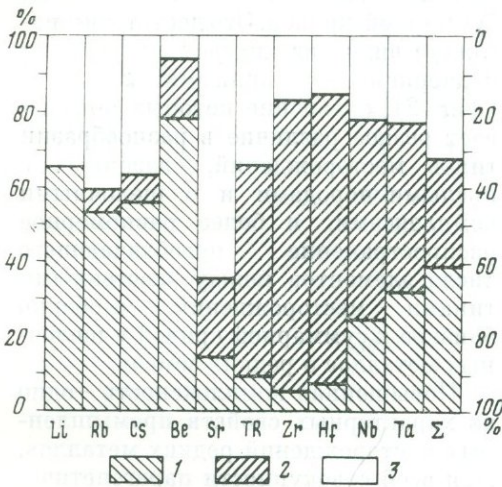
В настоящее время во всем мире добывается около тысячи тонн тантала в год. Основная добыча производится из гранитных пегматитов и связанных с ними кор выветривания и россыпей, в меньшей мере из танталоносных гранитов и лопаритоносных нефелиновых сиенитов; некоторая часть тантала получается из шлаков оловоплавильных заводов, перерабатывающих касситеритовые концентраты (касситерит также в основном имеет пегматитовый генезис). Таким образом, по источникам добычи сейчас тантал существенно отличается от ниобия. Однако в будущем эта разница будет постепенно сглаживаться по мере уменьшения добычи тантала из пегматитов из-за истощения его запасов и ввода в действие крупных и богатых месторождений, связанных с щелочными породами.

Как следует из табл. 1 и 2, из всего количества парагенетических типов месторождений литофильных редких металлов ровно треть приходится на экзогенные образования и две трети на эндогенные. Из числа последних несколько более половины типов связано с кислыми породами, остальные — с щелочными. С базитами и ультрабазитами месторождений литофильных редких металлов не обнаружено. Более или менее заметных концентраций их не встречено и в эффузивах, за исключением цезия и рубидия в липаритах.

В распределении промышленных типов месторождений отдельных металлов по генетическим группам могут быть подмечены определенные

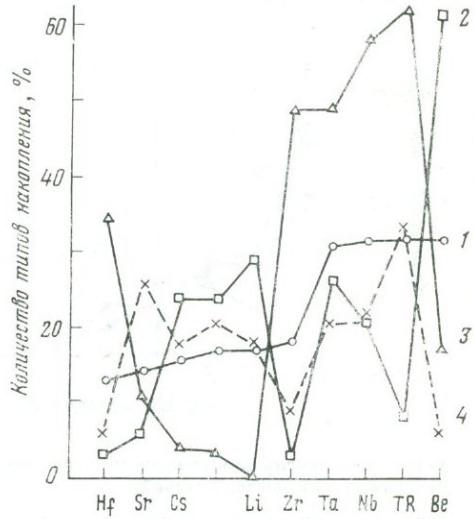
особенности (фиг. 1). Для щелочных металлов не характерно разнообразие условий накопления в связи с щелочными комплексами по сравнению с широким распространением в связи с кислыми породами и в экзогенных условиях. У бериллия резко преобладают многочисленные парагенетические типы рудных формаций, генетически связанные с кислым магматизмом.

Большинство этих типов имеет малое промышленное значение и скорее подчеркивает не концентрацию, а определенное «рассеяние» бериллия, представленного здесь еще к тому же большим числом минералов.



Фиг. 1. Распределение типов месторождений редких металлов по генетическим группам (в %)

Типы месторождений: 1 — в связи с кислыми породами; 2 — в связи с щелочными комплексами; 3 — экзогенные и метаморфические



Фиг. 2. Количество типов (в % от их общего числа в данной группе) месторождений каждого редкого металла, в связи с кислыми породами (2); в связи с щелочными породами (3); образованные в экзогенных и метаморфических условиях (4); по всем группам суммарно (1).

Редкие земли, цирконий, гафний, ниобий и тантал в противоположность щелочным металлам и бериллию образуют большее число типов месторождений в связи с щелочными комплексами, встречаясь одновременно в различных месторождениях всех трех генетических групп.

Редкие металлы отличаются от черных и цветных меньшей способностью к концентрации, что неизбежно вынуждает вовлекать в эксплуатацию месторождения с весьма малыми их содержаниями. Это обуславливает и значительно большее число различных типов месторождений редких металлов по сравнению с обычными металлами, и их в то же время большую комплексность. Но, если рассматривать условия концентрации редких металлов относительно друг друга, то могут быть подмечены также существенные различия. На фиг. 2 металлы расположены в порядке увеличения слева направо числа типов месторожде-

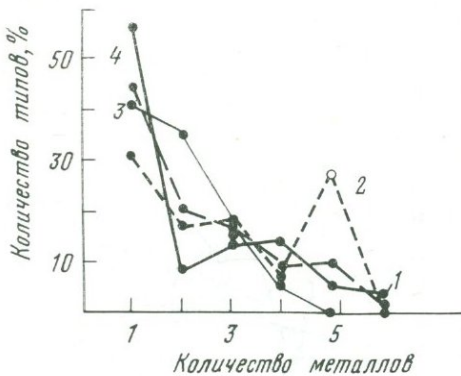
ний, в которых они накапливаются. Это увеличение описывается кривой (1), которая резко делится на две части. Левую часть представляют металлы, образующие промышленные скопления в сравнительно ограниченном числе типов (13—18%) и располагающиеся в ряд: $\text{Hf} = \text{Sr} \leftarrow \text{Cs} \leftarrow \text{Rb} = \text{Li} \leftarrow \text{Zr}$.

В правой ветви кривой сосредоточены более широко и одинаково распространенные металлы: Be , TR , Nb , Ta ; они содержатся в два раза больше по сравнению с предыдущей группой число типов, составляющем уже 32—33%.

Если обратиться к распространению типов месторождений отдельных металлов в разных генетических группах, то здесь уже не наблюдается такой равномерности, как в случае суммарной кривой. Это достаточно наглядно видно из диаграммы фиг. 1 и подчеркивается кривыми 2, 3, 4 (фиг. 2), сравнение которых показывает резкое различие в разнообразии типов месторождений, связанных с кислыми породами и с щелочными комплексами, и более равномерное распространение преобладающего числа элементов между экзогенными типами месторождений, особенно близкое к суммарной кривой у щелочных металлов и редких земель.

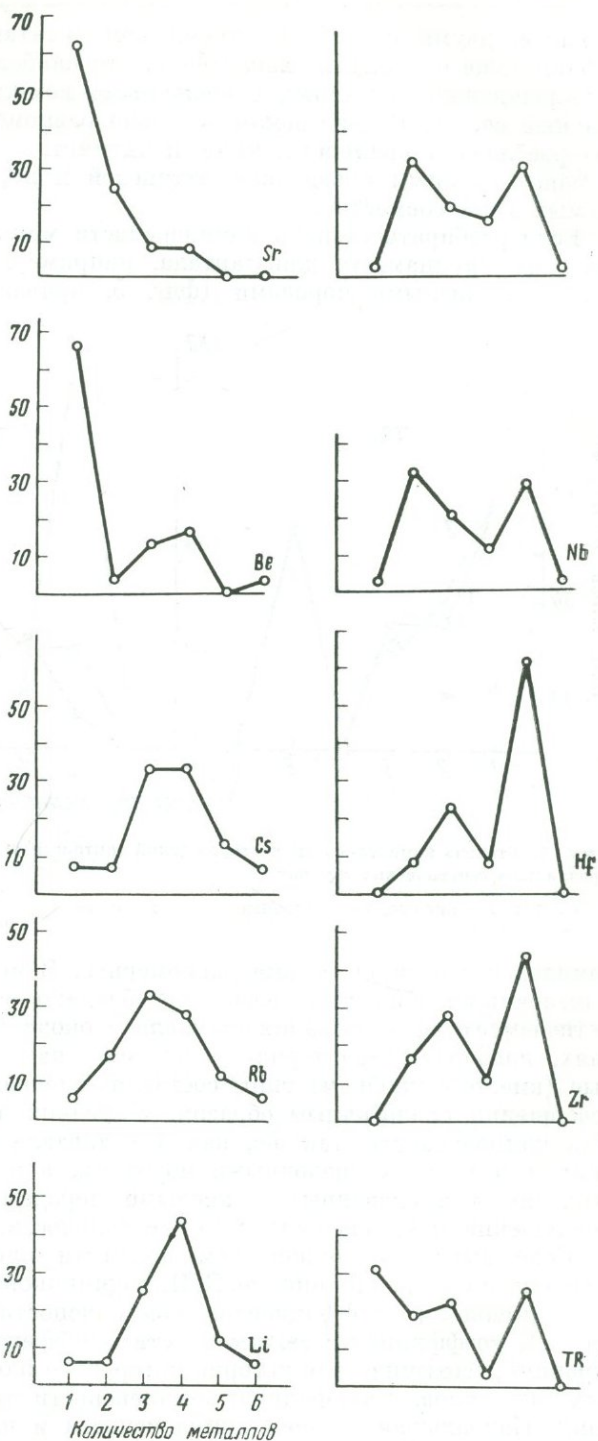
Фиг. 3. Степень комплексности парагенетических типов месторождений

Типы месторождений: 1 — связанные с кислыми породами; 2 — связанные с щелочными породами; 3 — экзогенные; 4 — все типы месторождений



влекаяющихся металлов, уменьшается число типов, в которых эти металлы накапливаются (фиг. 3). Это же наблюдается и для экзогенной группы месторождений. Для эндогенных месторождений, связанных с кислыми породами, характерно резкое преобладание монометалльных типов при близком числе типов, содержащих два, три, четыре, пять и шесть полезных компонентов. Для месторождений, связанных с щелочными породами, наряду с монометалльными типами почти таким же распространением пользуются пятиметалльные типы.

Комплексность типов месторождений каждого металла иллюстрируется графиками фиг. 4. Наиболее распространены во всех типах месторождений щелочных металлов тройная совместная ассоциация, а также четырехметалльный парагенезис. Кривые щелочных металлов схожи между собой, что отражает их в основном общую историю. Для бериллия и стронция характерна наибольшая селективность, монометалльность. У них с увеличением количества металлов в типах уменьшается число типов промышленных месторождений. Кривые тантала и ниобия идентичны; они довольно равномерно сочетаются не только друг с другом, но еще

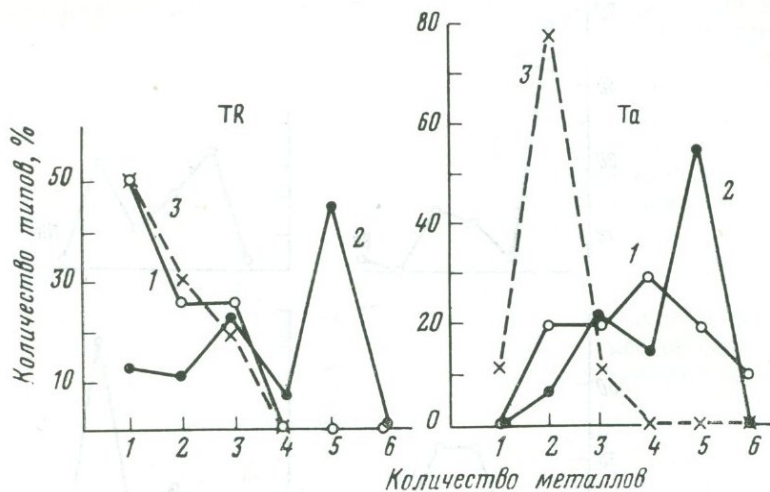


Фиг. 4. Степень комплексности месторождений отдельных редких металлов

Количество металлов

с одним, двумя и особенно тремя компонентами. Кривые циркония и гафния тоже идентичны; характерно, что наибольшему числу типов и их месторождений, связанных с щелочными комплексами, присущ пятиметальный состав. Редкие земли довольно равномерны в своих сочетаниях, но преобладают крайности: моно- и пятиметальные типы. Это, возможно, связано с разным поведением иттриевой и цериевой групп, рассматриваемых здесь совместно.

Если разбирать степень комплексности металлов по отдельным генетическим группам, то для тантала, например, в месторождениях, связанных с кислыми породами (фиг. 5, кривая 1), распределение по



Фиг. 5. Степень комплексности месторождений тантала и редких земель в различных генетических группах

Породы: 1 — кислые, 2 — щелочные, 3 — экзогенные

комплексности типов весьма равномерное. В месторождениях, связанных с щелочными породами, резко преобладают высококомплексные типы: пятиэлементная ассоциация составляет около 60%. В экзогенных условиях, наоборот, характерно селективное накопление тантала: биметалльные (вместе с ниобием) типы составляют около 80%. Ниобий ведет себя совершенно аналогичным образом. У редких земель (фиг. 5) наибольшая комплексность, так же, как и у тантала и ниобия, в месторождениях, связанных с щелочными породами, а в месторождениях экзогенных, как и в связанных с кислыми породами, — резкое стремление к уменьшению комплексности, к монометальности.

Если выразить степень комплексности или степень селективности (степень дифференциации, по Л. Н. Овчинникову) количественно (табл. 3), то наименьшим коэффициентом комплексности в данном сочетании при среднем коэффициенте селективности (дифференциации) будет обладать стронций, геохимическая история которого резко отлична от других истинных литофилов. Коэффициент комплексности стронция (50) принят за единицу. Наибольшая степень комплексности и наименьшая селективность (дифференциация) — у ниобия и тантала, за ними идут редкие земли,

Таблица 3

Степень комплексности редких металлов в промышленных месторождениях

Металлы	Количество сочетаний типов (А)	% сочетаний (%А)	Количество металлов-спутников (Б)	Коэффициент дифференциации ($\frac{N-B}{N}$)	Коэффициент комплексности ($\frac{B-B}{50}$)
Li	44	9,2	7	0,3	6,2
Rb	40	8,4	6	0,4	4,8
Cs	40	8,4	6	0,4	4,8
Be	30	6,3	7	0,3	4,2
Sr	10	2,1	5	0,5	1
TR	56	11,7	7	0,3	7,8
Zr	53	11,1	5	0,5	5,3
Hf	42	8,8	4	0,6	3,4
Nb	80	16,8	8	0,2	12,8
Ta	82	17,2	8	0,2	13,1
Всего	477	100,0	—	—	—

N — общее число металлов равно 10.

прочие металлы составляют группу с довольно близкими средними значениями (фиг. 6).

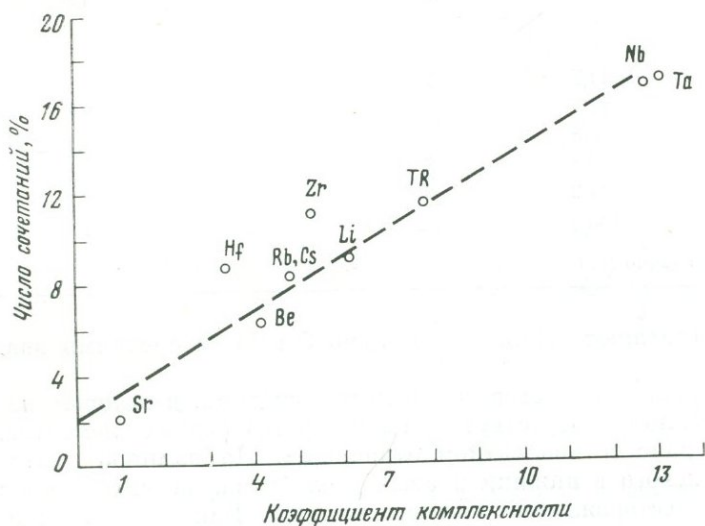
В табл. 4 приведено количество типов месторождений, в которых наряду с данным металлом присутствует один из других редких элементов. В табл. 5 то же дано в процентном отношении. По длинной диагонали (из верхнего левого в нижний правый угол) показано число типов монокомпонентных месторождений каждого металла. Как видно из таблицы, цирконий и гафний совершенно не образуют самостоятельных монокомпонентных месторождений и всегда встречаются в ассоциации с

Таблица 4

Число типов месторождений, в которых одновременно присутствуют данные пары металлов

Элемент	Li	Rb	Cs	Be	Sr	TR	Zr	Hf	Nb	Ta
Li	1	13	12	6	1	1	—	—	5	6
Rb	13	1	15	5	2	1	—	—	3	4
Cs	12	15	1	5	1	—	—	—	3	4
Be	6	5	5	24	—	1	1	—	5	6
Sr	1	2	1	—	8	4	—	—	—	—
TR	1	1	—	1	4	10	13	11	13	13
Zr	—	—	—	1	—	13	—	13	13	11
Hf	—	—	—	—	—	11	13	—	9	9
Nb	5	3	3	5	—	13	13	9	1	29
Ta	6	4	4	6	—	13	11	9	29	1

другими редкими металлами. Литий, рубидий, цезий, тантал и ниобий из всех своих типов только в одном образуют монокомпонентные месторождения. Редкие земли уже в десяти типах из 33 образуют монокомпонентные месторождения (т. е. в 30,3% от всех своих типов), стронций — в восьми типах из 13 (61,5%), а бериллий — даже в 21 типе из 33 (65,6%). Таким образом, наибольшей монокомпонентностью обладают редкие элементы промежуточных валентностей (двух- и трехвалентные). Таблицы 4 и 5 в обобщенном виде дают представление и о главных парагенетических ассоциациях редких элементов. Наряду с редкими металлами, обладающими повышенной монокомпонентностью, которые зани-



Фиг. 6. Коэффициенты комплексности типов месторождений редких металлов

мают центр таблицы, в ней отчетливо вырисовываются еще четыре поля тесно ассоциирующих друг с другом элементов. В левом верхнем углу располагается поле элементов, характерных для месторождений, связанных с кислыми породами, — это литий, рубидий, цезий, бериллий. Два небольших поля в нижнем левом и верхнем правом углах таблицы (в сущности это одно поле, зеркально отраженное), представленные ассоциацией лития, рубидия, цезия, бериллия, тантала и ниобия, также характерны для месторождений в связи с кислыми породами. В нижнем правом углу находится поле элементов, образующих ассоциации в месторождениях, связанных с щелочными породами, — это редкие земли, цирконий, гафний, ниобий, тантал.

В этих же таблицах хорошо видны и запрещенные парагенезисы. Литий и рубидий никогда не встречаются в месторождениях (в практически интересных концентрациях) совместно с цирконием и гафнием, а цезий, кроме того, еще и с редкими землями. В бериллиевых месторождениях не бывает стронция и гафния, а в стронциевых — бериллия, гафния, циркония, ниобия и тантала. Редкие земли не встречаются вместе с цезием, цирконий — с литием, рубидием, цезием и стронцием, а ниобий и тантал — со стронцием.

Таблица 5

Число типов месторождений, в которых одновременно присутствуют данные пары металлов, в процентах от числа типов месторождений каждого металла

Элемент	Li	Rb	Cs	Be	Sr	TR	Zr	Hf	Nb	Ta
Li	5,9	76,5	70,6	35,3	5,9	5,9	—	—	29,4	35,3
Rb	72,2	5,6	83,3	27,8	12,5	5,6	—	—	16,7	22,2
Cs	75,0	93,7	6,3	31,2	6,3	—	—	—	18,7	25,0
Be	18,7	15,6	15,6	65,6	—	3,1	—	—	15,6	18,7
Sr	7,7	13,4	7,7	—	61,5	30,8	—	—	—	—
TR	3,0	3,0	—	3,0	12,1	30,3	39,4	33,3	39,4	39,4
Zr	—	—	—	5,6	—	72,2	—	72,2	72,2	61,1
Hf	—	—	—	—	—	84,6	100,0	—	69,2	69,2
Nb	15,2	9,1	9,1	15,2	—	39,4	39,4	27,3	3,0	87,9
Ta	18,2	12,1	12,1	18,2	—	39,4	33,3	27,3	87,3	3,0

Заключение

Значение охарактеризованных выше редкометальных формаций и парагенетических типов в минерально-сырьевой базе редких элементов далеко неодинаково и сильно менялось во времени. До второй мировой войны практически вся мировая добыча лития, рубидия, цезия, бериллия, иттрия, иттриевых земель и гафния осуществлялась из гранитных пегматитов, а тантала и ниобия — из связанных с ними кор выветривания и россыпей ближнего сноса. Редкие земли цериевой группы и цирконий добывались из прибрежно-морских россыпей.

После войны были найдены и освоены новые генетические типы редкометальных месторождений: коры выветривания и россыпи, связанные с колумбитоносными щелочными гранитами (ниобий) и карбонатами (ниобий, цирконий, редкие земли), коренные руды щелочных карбонатных метасоматитов (ниобий, редкие земли) и лопаритоносных массивов нефелиновых сиенитов (ниобий, редкие земли, тантал), грейзеново-гидротермальные месторождения (бериллий).

В последние годы в мире выявлены крупные и высоко rentабельные месторождения таких типов, как рибекитовые и рибекит-протолитионитовые щелочные граниты (тантал, ниобий, цирконий, гафний, редкие земли), разнообразные гидротермалиты с фенакитом, берtrandитом, генгельвином (бериллий), коры выветривания с карбонатами редких земель на нефелиновых сиенитах и других щелочных образованиях (цериевые редкие земли, литий), природные высокоминерализованные воды (литий, рубидий, цезий, стронций), апатит-нефелиновые породы (редкие земли, стронций, рубидий), холмквистит-цезийбиотитовые метасоматиты в связи с пегматитами (цезий, рубидий, литий) и др. Важнейшей задачей исследователей являются поиски и разведка месторождений этих новых типов, разработка эффективных схем обогащения их руд и методов извлечения металлов. Разумеется, нельзя ослаблять внимания и к традиционным источникам получения редких металлов; многие из них долго еще не потеряют своего значения.

Литература

1. Беус А. А., Северов Э. А., Ситнин А. А., Субботин К. Д. Альбитизированные граниты (апограниты). Изд-во АН СССР, 1962.
2. Беус А. А. Геохимия бериллия и генетические типы бериллиевых месторождений. Изд-во АН СССР, 1960.
3. Бородин Л. С., Жабин А. Г., Лапин А. В., Харченков А. Г. Рудоносность и генезис камафоритов.— В кн. «Критерии рудоносности метасоматитов (материалы к симпозиуму)». Алма-Ата, 1969.
4. Бородин Л. С., Лапин А. В., Харченков А. Г. Камафориты. «Наука», 1973.
5. Бурков В. В., Подпорина Е. Б. Стронций. «Наука», 1967.
6. Бурков В. В. Генетические типы осадочных месторождений редких элементов и климатическая зональность.— В кн. «Геохимия осадочных пород и руд». «Наука», 1968.
7. Власов К. А. Текстурно-генетическая классификация гранитных пегматитов.— Докл. АН СССР, новая серия, 1946, 53, № 9.
8. Власов К. А. Текстурно-парагенетическая классификация гранитных пегматитов.— Изв. АН СССР, серия геол., 1952, 78, № 1.
9. Власов К. А. Основные генетические типы редкометалльных месторождений и факторы их образования.— Изв. АН СССР, серия геол., 1957, № 7.
10. Власов К. А. Принципы классификации гранитных пегматитов и их текстурно-парагенетические типы.— Изв. АН СССР, серия геол., 1961, № 1.
11. Герасимовский В. И. Пегматиты Ловозерского массива.— Труды Ин-та геол. наук АН СССР, 1939, вып. 18.
12. Гинзбург А. И. Типы месторождений редких элементов и их поисковые критерии. Госгеолтехиздат, 1961.
13. Гинзбург А. И., Овчинников Л. Н., Солодов Н. А. Генетические типы месторождений тантала и их современное значение.— Геол. рудных месторожд., 1970, № 5.
14. Капустин Ю. Л. Минералогия карбонатитов. «Наука», 1971.
15. Капустин Ю. Л. Кора выветривания карбонатитов. «Наука», 1973.
16. Кременецкий А. А., Лебедева В. И., Солодов Н. А. Цезиеносность вулканогенных образований СССР.— Геохимия, 1973, № 4.
17. Кузьменко М. В., Еськова Е. М. Тантал и ниобий. Генетические типы месторождений и геохимия. «Наука», 1968.
18. Минеев Д. А. Геохимия апогранитов и редкометалльных метасоматитов Северо-Западного Тарбагатая. «Наука», 1968.
19. Минеев Д. А. Лантаноиды в минералах. (Статистическое исследование относительного распространения и распределения). «Недра», 1969.
20. Пожарицкая Л. К., Самойлов В. С. Петрология, минералогия, геохимия карбонатитов Восточной Сибири. «Наука», 1972.
21. Овчинников Л. Н., Полетаев В. А., Рябенко В. Е., Солодов Н. А., Хвостова В. А. Цезиевый биотит — новый перспективный источник промышленного получения цезия.— Докл. АН СССР, 1972, 206, № 3.
22. Овчинников Л. Н., Солодов Н. А. Промышленно-генетические типы месторождений цезия и некоторые вопросы их поисков.— Сов. геология, 1971, № 5.
23. Семенов Е. И. Минералогия и генетические особенности щелочных массивов. Изд-во АН СССР, 1964.
24. Семенов Е. И. Редкие земли. «Наука», 1965.
25. Семенов Е. И. Минералогия Ловозерского щелочного массива. «Наука», 1972.
26. Солодов Н. А. К геохимии редкометалльных гранитных пегматитов.— Геохимия, 1959, № 7.
27. Солодов Н. А. Внутреннее строение и геохимия редкометалльных гранитных пегматитов. Изд-во АН СССР, 1962.
28. Солодов Н. А. Некоторые иллюстрации влияния потенциала ионизации редких элементов на их поведение в пегматитовом процессе.— Вестник ЛГУ, 1967.
29. Солодов Н. А. Научные основы перспективной оценки и поисково-оценочные критерии редкометалльных пегматитов. «Наука», 1971.
30. Солодов Н. А. Парагенетические типы месторождений тантала и цезия и их роль в минерально-сырьевой базе.— Научные собрания, вып. 5. Изд-во ИМГРЭ, 1971.
31. Субботин К. Д. Типы редкометалльных метасоматитов краевых частей щитов и платформ.— В кн. «Метасоматизм и рудообразование (краткие тезисы к конференции 16—20 мая 1972)», ВИНТИ, 1972.
32. Субботин К. Д. О классификации месторождений бериллия.— В кн. «Научные собрания», вып. 1. Изд-во ИМГРЭ, 1968.

33. *Субботин К. Д.* О закономерностях размещения бериллиевых месторождений.— В сб. «Редкие элементы». (Сырье и экономика), вып. 2. М., 1967.
34. *Топунова Г. А.* Некоторые закономерности распределения бериллиевых месторождений в пределах Северо-Американского континента.— В сб. «Редкие элементы». (Сырье и экономика), вып. 7. М., 1972.
35. *Ферсман А. Е.* Избранные труды, т. V. Изд-во АН СССР, 1959.
36. *Фролов А. А., Волженкова А. Я., Печасова Е. А.* Малоэродированный массив ультраосновных щелочных пород и карбонатитов в Сибири.— Геол. рудных месторожд., 1969, № 1.
37. *Шатков Г. А., Гуцин Е. Н.* О высоких содержаниях цезия в кислых вулканических стеклах.— Геохимия, 1969, № 12.
38. *Sørensen H.* On the occurrence of steenstrupine in the Himaussaq massif, S — W Greenland. København, C. A. Reitrels Forlag, 1962.

Особенности структурного положения и металлогении Монголо-Охотского пояса

Монголо-Охотский пояс был впервые намечен А. Е. Ферсманом [8], с удивительной интуицией подметившим единство складчатой зоны, протягивающейся от Монголии на западе через Забайкалье, Приамурье до Охотского побережья (см. схему). Почти 50 лет прошло со времени этой гениальной догадки ученого, и можно только удивляться, как тогда в еще малоизученной области востока Советского Союза, по единичным известным месторождениям А. Е. Ферсман сумел наметить крупнейшую планетарную рудоносную структуру. В те годы были известны лишь отдельные пегматитовые поля в Забайкалье и Монголии, грейзены Шерловой горы с редкометальной и вольфрамовой минерализацией, оловоносные кварцевые жилы Ононского месторождения, а также проявления золота и давно разрабатывавшиеся полиметаллические месторождения Нерчинского округа.

Отметив большое значение мощных и протяженных рудных поясов, намеченных Спуром, Линдгреном, Ниггли, Шнейдерхеном, Вонгом и др., А. Е. Ферсман поставил задачу выделения и изучения таких поясов в СССР. В пределах Монголо-Охотского пояса, образующего пологую дугу типа гирлянд Зюса, выпуклую к северу, им намечены геохимические ассоциации элементов, связанных с различными типами процессов и определенными магматическими «бассейнами»: элементы гранитных пегматитов — Zr (Hf), Ta (Nb), редкие земли, Th, Be, Li (Rb, Cs), F, пневматолитов — Mo, W, Sn, B; гидротермалитов — U, Bi, Zn, Cd, Pb, Ag, Hg, S.

Продолжение пояса на 600 км к западу от границы в Монголии А. Е. Ферсманом устанавливалось на основании данных Монгольской экспедиции, в которой работали его сотрудники (Б. М. Куплетский, Е. Е. Костылева и др.). Уже в то время в Монголии намечались проявления пегматитов с касситеритом, предугадывалось продолжение полиметаллической минерализации.

Одновременно со статьей А. Е. Ферсмана, в одном сборнике была напечатана статья М. М. Тетяева о зональности Забайкалья. Выводы двух исследователей частью перекликаются, но вместе с тем и имеют свои особенности. А. Е. Ферсман подчеркивает симметричное строение зональной структуры Забайкалья (которое в последующих работах было забыто) с редкометальным поясом в осевой части и свинцово-серебряными по периферии. На северо-западе намечается висмутно-железо-золотой пояс с золото-турмалиновой минерализацией. Отмечается сходство с рудоносными зонами Южного Китая.

Для олова, вольфрама, молибдена устанавливается связь с гранитами; цинка, свинца, меди — с гидротермальными жилами; ртуть и сурьма находятся вне видимой связи с изверженными породами. На основании отмеченных закономерностей распределения месторождений, А. Е. Ферсман дает прогнозы для их поисков, которые в дальнейшем в основном

подтвердились. Сходную схему зональности дает и М. М. Тетяев [7], распространяя ее на большую площадь. Оба автора подчеркивают значение олова, вольфрама, молибдена в центральном «осевом» поясе. В дальнейшем эти же идеи получили развитие в работе С. С. Смирнова [5] о зональном распределении металлов в Забайкалье.

Идея о существовании крупнейшего Монголо-Охотского пояса оказалась весьма плодотворной и сыграла роль в постановке широких поисково-разведочных работ. Уже первое десятилетие привело к новым открытиям. В конце 20-х годов С. С. Смирновым были открыты новые оловянные месторождения — Смирновское (С. С. Смирнов, 1927 г.),

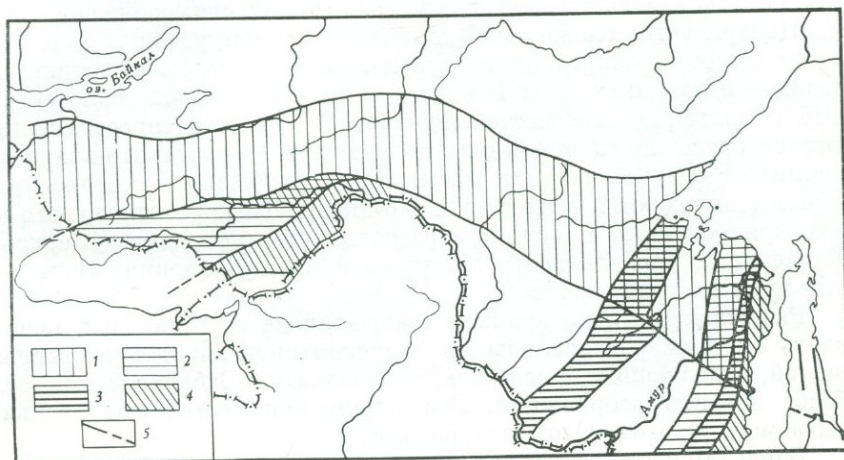


Схема Монголо-Охотского пояса и его сопряжения с Восточно-Азиатским поясом

Зональное распределение минерализации: 1 — золото; 2 — олово и вольфрам, редкие элементы (кварцевая формация); 3 — олово (сульфидная формация); 4 — свинец и цинк; 5 — разломы

Хапчерангское [5]. Затем последовал ряд других открытий, и выявилась олово-вольфрамовая провинция Забайкалья с ее многочисленными коренными месторождениями и россыпями. Проведенное обобщение данных по рудоносности Забайкалья позволило С. С. Смирнову вслед за А. Е. Ферсманом и М. М. Тетяевым развить идею о металлогенической зональности Забайкальской рудной провинции и выделить в ее пределах три пояса: северо-западный — золоторудный с молибденом, центральный — олово-вольфрамовый и юго-восточный — полиметаллический [3, 6]. Металлогеническая схема С. С. Смирнова, получившая широкое распространение (статьи А. Е. Ферсмана и М. М. Тетяева в малораспространенном издании были многим недоступны), легла в основу поисковых работ, которые увенчались многими открытиями. В дальнейшем происходила детализация металлогенической схемы Забайкалья, однако основные ее положения остались неизменными.

В настоящее время подтверждается вывод А. Е. Ферсмана о том, что олово-вольфрамовый пояс с касситерито-кварцевыми и вольфрамито-

кварцевыми месторождениями прослеживается далеко на запад от Восточного Забайкалья в Монголию, а также в область активизированных древних структур Западного Забайкалья (Джида).

Анализ закономерностей распределения металлов в Забайкальской рудной провинции позволил прийти к выводу о зависимости характера минерализации от состава пород, слагающих главнейшие структурно-фациальные зоны. Так, юго-восточный полиметаллический пояс располагается в пределах Приаргунского поднятия, в составе которого важную роль играют карбонатные отложения нижнепалеозойского возраста. Такой же характер имеет и северо-западный Шилкинский полиметаллический пояс, отмеченный А. Е. Ферсманом. Именно к карбонатным породам и приурочены в большинстве полиметаллические месторождения этого пояса. Центральный олово-вольфрамовый пояс приурочен к зоне длительно развивавшегося терригенного прогиба, и в основном в терригенных породах — песчаниках и сланцах, а также в гранитах залегают оловянные и вольфрамовые месторождения. Наиболее распространенными являются здесь кварцевые жилы и грейзены (касситерито-кварцевая формация). Реже встречаются касситерито-сульфидные месторождения, которые локализуются вблизи вулкано-интрузивных верхнеюрских комплексов, приуроченных к крупным региональным разломам (Шерловая гора, Хапчеранга, Тарбальджей). Именно эти месторождения имеют наибольшее практическое значение.

Расположенный на крайнем северо-западе золотоносный пояс следует вдоль системы региональных и трансконтинентальных разрывных нарушений, отделяющих палеозойскую складчатую Забайкальскую область от более древних сооружений. Эти нарушения составляют звенья так называемого Монголо-Охотского разлома [1].

Вдоль Монголо-Охотского разлома и приуроченной к нему эвгеосинклинальной зоны проявления золотоносности прослеживаются далеко к востоку, вплоть до Приохотья, что в основном и подчеркивает единство рудоконтролирующих тектонических элементов Монголо-Охотского пояса.

Монголо-Охотский пояс, таким образом, сопрягается на востоке с Тихоокеанским и представляет собой как бы его ответвление. Но вместе с тем его складчатые сооружения прослеживаются и далеко на запад, соединяясь со складчатыми системами Алтае-Саянской области. Подобно другим внутриазиатским близширотным структурным зонам, Монголо-Охотская зона возникла вдоль длительно развившейся эвгеосинклинали, которая существовала уже с протерозоя. Монголо-Охотская зона отделяла расположенную на севере Сибирскую платформу от лежащей на юге Китайской платформы. Она представлена системами байкальских сооружений, протягивающихся вдоль обрамления Сибирской и Китайской платформ; затем системами каледонских складчатых структур и обширной варисской осевой складчатой области, в которую включены также массивы древней консолидации, представляющие фрагменты обширного раздробленного древнего щита (массивы Буреинский, Кентейский и др.).

На протерозойском и палеозойском этапах развития это была «сквозная» структура, связующая Тихоокеанский бассейн со Средиземноморским через систему Алтае-Саянских и Тяньшаньских прогибов. Уже на ранних этапах развития данная протяженная зона характеризовалась своими металлогеническими особенностями: к обрамлению Китайской



Забайкалье, близ Нерчинска. Справа налево: Д. И. Щербаков, А. Е. Ферман, М. М. Тетяев, А. А. Артемьев

платформы относится полоса развития железорудных месторождений типа железистых кварцитов; в обрамлении же Сибирской платформы протягивается эвгеосинклиналь с характерным для нее набором рудных формаций, главным образом осадочно-вулканогенных колчеданных медно-полиметаллических руд, открытых в последнее время в Прибайкалье. Эвгеосинклинальная зона характеризуется развитием массивов докембрийских основных пород — анортозитов, сопровождаемых железо-титановой и никелевой минерализацией, габброидов с медно-никелевым оруденением. В значительной мере в пределах этой древней эвгеосинклинали проявлена золотая и молибденовая минерализация позднемезозойского возраста, образованная на этапе активизации древнего сооружения.

Байкальские и каледонские структуры эвгеосинклинальной зоны Монголо-Охотского пояса отмечены повсеместным проявлением золотоносности. По-видимому, золото привносилось еще на ранних этапах развития эвгеосинклиналей в составе основных вулканических пород и в дальнейшем унаследованно проявлялось в связи с наложением более поздних магматических образований — палеозойских и мезозойских.

В палеозое сохранялись структурные связи Монголо-Охотской геосинклинали с Алтае-Саянской и Тувинской областями на западе и с Тихоокеанским обрамлением на востоке. Уже палеозойская геосинклиналь

была расчленена на внутренние прогибы (подобные осевому Забайкальскому) и поднятия (Приаргунское), а местами на зоны второго порядка. Именно это расчленение, сопровождавшееся уже в раннем палеозое образованием различных типов осадков (карбонатные толщи во внутреннем Приаргунском поднятии, терригенные — в центральном Забайкальском прогибе), предопределило в дальнейшем особенности металлогении различных структурно-фациальных зон.

В палеозое повсеместно проявилась варисская складчатость, сопровождавшаяся внедрением гранитных интрузий. В западной части Монголо-Охотского пояса эти интрузии сопровождались оловянной и вольфрамовой минерализацией кварцевой формации (Западное Забайкалье, Монголия). Местами в наиболее глубоких зонах (ныне выведенных на поверхность в приподнятых блоках) формировались пегматиты Западного Забайкалья.

В пермо-триасовое время Монголо-Охотская зона снова испытала погружение, причем морская трансгрессия на этом этапе распространялась, очевидно, уже с востока, со стороны Тихого океана. В триасе снова произошла складчатость, сопровождавшаяся внедрением крупных гранитных батолитов (Даурский массив). С этими интрузивами в свою очередь были связаны оловянные и вольфрамовые проявления кварцевой формации.

Морской режим сохранялся на юго-восточном Забайкалье и в верхнем Приамурье в нижне-среднеюрское время, когда формировались толщи глинистых осадков, а на участках воздымания — мощные конгломераты. Эти впадины были остаточными от глубокого Тихоокеанского морского залива, отшнурованными поперечными поднятиями. М. С. Нагибина относит их к впадинам восточноазиатского типа [2].

В среднеюрское время вновь проявилась складчатость, сопровождавшаяся внедрением кислых гранитных интрузий и образованием связанных с ними месторождений — редкометальных скарнов, касситерито-вольфрамито-кварцевых месторождений.

Верхнеюрский этап отмечен уже формированием посторогенных вулканических формаций, моласс, а также образованием гранитоидных интрузивов, иногда сопряженных с кислыми вулканитами и локализованных вдоль региональных разломов. К этому периоду средне-верхнеюрской металлогенической эпохи относится образование большей части олово-вольфрамовых месторождений Восточного и Центрального Забайкалья, полиметаллических месторождений Приаргунского, а также северного Шилкинского полиметаллических поясов и многих золоторудных месторождений северо-западного пояса. Характерно, что возраст минерализации неуклонно омолаживается по направлению с запада на восток: от палеозойского в Западном Забайкалье и Монголии, юрского — в центральном и восточном Забайкалье к нижнемеловому в Приамурье, верхнемеловому и палеогеновому в Приморье, неогеновому на продолжении тех же рудоконтролирующих широтных разломов в области нижнего Приамурья и Сахалина. Двойственная природа Монголо-Охотского пояса, который на ранних этапах развития связан с внутриазиатской системой широтных геосинклиналей, сообщавшихся с Атлантическим и с Тихоокеанским бассейнами, а на поздних сохранял связь с Тихоокеанским подвижным поясом, откуда распространялись ингрессии моря и импульсы активизации, характерна и для других близширотных зон востока

Азии, в частности для Циньлинь-Янцзинской, которая также представляет эвгеосинклиналь, продолжавшую собой направление Тяньшаньских прогибов, развивавшихся с протерозойского времени.

Изучение Монголо-Охотского пояса, который на мезозойском этапе развития может рассматриваться как глубоко уходящая на запад ветвь Тихоокеанского пояса, дает материал для выявления общих закономерностей эволюции структур и металлогении в пространстве и во времени. Детальное изучение этого пояса, намеченного еще А. Е. Ферсманом, и прослеживание приуроченных к нему металлогенических зон имеет большое значение для практики. Эта область несмотря на длительное ее изучение несомненно таит в себе еще новые неоткрытые возможности. Здесь могут быть найдены и крупнейшие полиметаллические, и медно-полиметаллические месторождения колчеданной формации, месторождения никеля, меди, платиноидов и титана, связанные с основными интрузиями. Далеко не исчерпаны резервы золота, главным образом в погребенных россыпях, а также, возможно, в еще не открытых коренных золоторудных месторождениях. Большое значение имеют месторождения вольфрама и олова, особенно в Западно-Монгольской и Западно-Забайкальской частях Монголо-Охотского пояса. Возможно открытие крупных медно-молибденовых месторождений порфирового типа, а также железорудных, меденосных, вольфрамоносных скарпов. Перспективна эта область и в отношении выявления месторождений сурьмы и ртути, приуроченных к региональным разломам.

Литература

1. Горжевский Д. И., Лазько Е. М. Монголо-Охотский глубинный разлом.— Докл. АН СССР, 1961, 137, № 5.
2. Нагибина М. С. Впадины и прогибы восточноазиатской группы и их положение в систематике тектонических форм. Проблемы региональной тектоники.— Труды ГИН, 1963, вып. 92.
3. Смирнов С. С. К металлогении Восточного Забайкалья.— Труды I Вост.-Сиб. краев. научно-исслед. съезда, серия геол., 1932, вып. 1.
4. Смирнов С. С. Некоторые замечания о сульфидно-касситеритовых месторождениях.— Изв. АН СССР, 1937, № 5.
5. Смирнов С. С. Свинцовое месторождение по Б. Капчеранге и вновь открытое оловянное по М. Капчеранге.— Вестник Геол. ком., 1928, № 5.
6. Смирнов С. С. Схема металлогении Восточного Забайкалья.— Пробл. Сов. геологии, 1936, № 10.
7. Тетяев М. М. К вопросу о районировании Сибири.— Поверхность и недра, 1926, 4, № 1.
8. Ферсман А. Е. Металлический Монголо-Охотский пояс.— Поверхность и недра, 1926, 4, № 3.

Происхождение и геохимическая эволюция земной коры

Проблема изучения происхождения и геохимической эволюции земной коры в значительной мере сводится к решению следующих основных вопросов: 1) состав мантии Земли; 2) средний состав «гранитной» и «базальтовой» оболочек земной коры; 3) причины, определяющие направленную миграцию химических элементов в верхней мантии и оболочках земной коры.

Исходя из космогонической концепции О. Ю. Шмидта, рассматривающей формирование Земли из облака твердых пылевых частиц, можно с достаточной степенью достоверности предполагать относительную однородность ее состава на ранних стадиях формирования планеты. В этой связи эволюция верхних частей земного шара может рассматриваться как эволюция первичного относительно однородного вещества мантии в условиях гравитационного и термального полей Земли. Функциональная зависимость этих полей от физических параметров планеты в целом позволяет считать, что характер химической эволюции каждой планеты солнечной системы должен обладать индивидуальными особенностями, отраженными в специфике состава ее наружных оболочек. Подобный подход определяет отрицательное отношение к концепции хондритовой модели Земли. Очень мала вероятность того, что у материнских тел каменных метеоритов физические параметры были близки к земным и, следовательно, в этих телах не следует искать полного повторения особенностей химической эволюции нашей планеты на какой-либо ее стадии. На неприемлемость хондритовой модели Земли указывал П. Гаст [26], исходя из существенных различий в величине отношения Sr^{87}/Sr^{86} для литосферы (0,710—0,742) и хондритов (0,739—0,811). О несопоставимости хондритов с мантийным веществом свидетельствует также исключительно высокое по сравнению с земными породами значение отношения K/U для среднего хондрита, что впервые было отмечено Вассербургом и др. [32]. К числу недостатков, которыми обладает ахондритовая модель Земли, в первую очередь относится слишком высокая концентрация радиоактивных элементов, что определяет приблизительно в два раза большую генерацию тепла по сравнению с Землей [21].

Таким образом, исходя из имеющихся данных, каменные метеориты представляют собой вещество, принадлежавшее неизвестным по глубинности частям одной или нескольких планет, и в той или иной мере претерпевшее химическую дифференциацию. Наряду с вероятными общими чертами это вещество и вещество мантии Земли должны иметь и принципиальные отличия. Последние могут рассматриваться как следствие особенностей формирования материнских протопланетных тел на разном удалении от Солнца, а так же как результат различия в характере их последующей химической эволюции, обусловленного физическими параметрами планет. С изложенных позиций достаточно обоснованным представляется вывод об индивидуальности состава земного вещества и

продуктов его химической эволюции в течение всей истории нашей планеты. Все большее количество данных о свойствах вещества планет солнечной системы, включая сведения о составе их атмосфер и характере пород, слагающих поверхность, подтверждает этот вывод.

Основываясь на данных геофизических исследований, а также химических анализах пород, считающихся представителями мантийного вещества в земной коре (ультраосновные породы, эклогиты), можно со значительной степенью вероятности предполагать, что мантия по сравнению с современной земной корой отличается существенно более высоким составом. Это один из немногих выводов, касающихся мантии и, по-видимому, протокры Земли, который в настоящее время практически не подвергается сомнению.

Модели химического и минерального состава верхней мантии разрабатывались рядом исследователей [17, 30, 28, 29]. Наибольшее распространение получила модель А. Рингвуда, исходящая из известного представления об остаточном характере ультраосновных пород, формирующихся в верхней мантии в процессе выплавления базальтовых магм. Моделируя состав вещества верхней мантии, названного им «пиролит», А. Рингвуд рассчитал его как смесь трех частей ультрабазита (перидотит, дунит) и одной части щелочного базальта. Гипотеза об остаточном характере ультраосновных пород, образующихся в результате выплавления базальтовых магм из вещества верхней мантии, в настоящее время поддерживается большинством исследователей. Учитывая существенно большую температуру плавления магниевых разностей оливинов и пироксенов по сравнению с их железистыми аналогами, относительное накопление магния в ультрабазитах, очевидно, может служить критерием степени выплавления мантийного вещества. Таким образом, дуниты, особенно их разности, обогащенные магнием, отвечают максимальной степени выплавления вещества мантии. Весьма незначительное распространение дунитов по сравнению с перидотитами может свидетельствовать о том, что процесс максимального выплавления осуществлялся в мантии в ограниченных масштабах по сравнению с явлениями более ограниченного выплавления, остаточными продуктами которого являются перидотиты. В табл. 1 приведены отношения средних содержаний Fe/Mg и Si/Mg в ультрабазитах, свидетельствующие, что дуниты и перидотиты подвижных геосинклинальных зон, а также перидотиты срединных океанических хребтов могут с этой точки зрения рассматриваться как продукты максимального выплавления вещества верхней мантии¹. Еще большую степень выплавления мантийного вещества обычно представляют реликтовые включения ультраосновного состава, встречаемые в базальтах.

При расчете геохимических моделей верхней мантии весьма важно использовать представительные составы как основных пород, так и ультрабазитов, принимаемых в качестве остаточного продукта после выплавления мантийного вещества. Использование для этой цели составов отдельных разностей ультрабазитов, отличающихся максимальной степенью выплавления, в этой связи не представляется наилучшим решением поставленной проблемы. С рассматриваемых позиций состав «пиролита», предложенный А. Рингвудом [17, 30, 28], не может быть признан пред-

¹ Средние содержания химических элементов в породах для настоящей статьи взяты из работы автора [4].

Таблица 1

Отношения Fe/Mg и Si/Mg в ультрабазитах

Порода	Fe/Mg		Si/Mg	
	вес.	атомн.	вес.	атомн.
Перидотит платформенных областей	0,55	0,24	1,1	0,93
Дунит платформенных областей	0,45	0,20	0,75	0,65
Перидотит подвижных зон	0,32	0,14	0,83	0,72
Дунит подвижных зон	0,26	0,11	0,72	0,62
Перидотит срединных океанических хребтов	0,27	0,11	0,86	0,74

ставительным из-за слишком высокого содержания магния (отношение Fe/Mg равно 0,24), свойственного лишь ультрабазитах, отличающимся максимальной степенью выплавления [4]. Состав «пиролита» подвергался критике и с других позиций [14, 29].

Представляется, что принцип, предложенный А. Рингвудом, может дать максимальный эффект, если при расчетах будут использованы средние составы исходных пород, представляющие отдельные макроструктуры земной коры. При этом возможность генетической связи между продуктами выплавления — базитами и остаточным веществом, представленным ультраосновными породами, должна быть оценена, исходя из геохимических особенностей разделения в процессе выплавления петрогенных элементов, которые являются главными составными частями минералов обеих групп пород.

По данным экспериментальных исследований Д. Грина и А. Рингвуда [10], средний эмпирический коэффициент разделения магния и железа между равновесными оливином и базальтоидным расплавом равен 1,33 (статистическая ошибка среднего с вероятностью 0,95, вычисленная по этим данным, равна 0,06, т. е. пределы колебания среднего составляют 1,27—1,39). Коэффициент $K_{ол, жс}$ определяется по формуле:

$$K_{ол, жс} = \left(\frac{100 \text{ Mg}}{\text{Mg} + \text{Fe}^{2+}} \right)_{ол} / \left(\frac{100 \text{ Mg}}{\text{Mg} + \text{Fe}^{2+}} \right)_{жс}.$$

Определенный этими же авторами средний максимальный коэффициент разделения между порфировыми вкрапленниками оливина и общим составом породы в природных базальтах оказался равным 1,41 (ошибка среднего с вероятностью 0,95 равна 0,06, пределы колебания среднего составляют 1,35—1,47).

Величины атомных соотношений $\frac{100 \text{ Mg}}{(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})}$ для кристаллов оливина и ромбического пироксена, кристаллизующихся при температуре ликвидуса, очень близки [10]. Исходя из этого, общая магнезиальность ультраосновных пород $\frac{\text{Mg}}{(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})}$ с весьма малой вероятностью ошибки может быть использована для расчета коэффициентов разделения с целью оцен-

ки равновесности отщепленного основного расплава и остаточной ультраосновной породы¹. В табл. 2 представлены величины отношений $\frac{Mg}{Mg + Fe^{2+}}$ для средних составов [4] ультрабазитов и основных пород. На основе данных табл. 2 на диаграмму (см. фигуру) нанесены коэффициенты разделения $K_{о.л., ж.}$. Диаграмма существенно ограничивает выбор пар «равновесных» составов для расчета химического и минерального состава протопород верхней мантии, однако из-за неточности средних коэффициентов $K_{о.л., ж.}$ этот выбор остается все еще достаточно большим.

Исходя из роли габбро в земной коре, пара перидотит — габбро ($K=1,33-1,42$) была использована для расчета модели состава протоперидотита, слагающего основу верхней мантии под континентами. В связи с вероятностью изменения состава протоперидотита с глубиной для оценки его состава на глубинах, соответствующих интервалу выплавления щелочных океанических базальтов (50—70 км), использована пара перидотит — щелочной океанический базальт ($K=1,33-1,42$). Характерно, что обогащенный железом базальт платформенных областей не находит себе убедительной равновесной пары в ряду средних составов ультрабазитов. Хотя $K_{о.л., ж.}$ для перидотита и базальта платформенных областей лежит в пределах ошибки среднего коэффициента разделения (см. диаграмму), остаточный перидотит, равновесный с этим базальтом, по-видимому, должен содержать 11—13,5% Fe при магнезиальности $\frac{Mg}{Mg + Fe^{2+}}$ равной 0,74—0,79. Подобные обогащенные железом перидотиты известны в связи с разломами глубокого заложения в пределах древних щитов.

Модели химического состава протоперидотитов верхней мантии, полученные в результате подсчетов, основанных на средних составах соответствующих исходных пар — перидотит — базальт, приведены в табл. 3. С учетом полученных данных выделяются три химических модельных типа протоперидотитов, различающиеся по содержанию магния, железа, кальция, титана и ряда других элементов. Первый из них представляет верхние участки мантии океанического дна, расположенные под срединными океаническими хребтами. Несмотря на постулируемое в ряде работ [6 и др.] отсутствие генетической связи между перидотитами и перекрывающими их базальтами значение $K_{о.л., ж.}$ близкое к равновесному (см. диаграмму), позволило использовать для расчета модели состава протоперидотита этого типа средний состав перидотитов Срединно-Атлантического хребта, вычисленный по данным [6, 13], и средний состав базальтов срединных океанических хребтов [4]. Отсутствие геологической связи между базальтами океанического дна и прорываемыми ими ультрабазитами верхних участков океанической коры, по-видимому, является фактом. Однако отношение показателей магнезиальности этой пары пород, исходя из экспериментальных данных [10], позволяет судить о сходстве состава остаточных продуктов от выплавления базальтов океанического дна с составом обнажающихся на поверхности дна перидотитов срединных хребтов.

Протоперидотит срединных океанических хребтов отличается от всех прочих протоперидотитов повышенным содержанием SiO_2 , самым высо-

¹ Например, показатели магнезиальности ромбического и моноклинного пироксенов из перидотита зоны Вима Срединно-Атлантического хребта [13] составляют 0,90. Расчет показателя магнезиальности для всей породы дает 0,88.

ким содержанием Mg, несколько повышенным содержанием Na, пониженными содержаниями Ca, Ti и самыми низкими содержаниями K и P.

Составы протоперидотитов, полученные путем расчета пар перидотит подвижных зон — габбро и перидотит подвижных зон — базальт подвижных зон, оказались практически аналогичными. Только относительно по-

Таблица 2

Величины отношений $\frac{Mg}{Mg+Fe^{2+}}$ для средних составов ультрабазитов и основных пород

Ультрабазиты	$\frac{Mg^*}{Mg+Fe^{2+}}$	Основные породы	$\frac{Mg}{Mg+Fe^{2+}}$
Дунит		Габбро	0,61
платформенных областей	0,83	Базальт	
подвижных зон	0,90	платформенных областей	0,56
Перидотит		подвижных зон	0,60
платформенных областей	0,81	срединных океанических	
подвижных зон	0,87	хребтов	0,68
срединных океанических		океанический щелочной	0,62
хребтов	0,88	океанический толеитовый, гавайского типа	0,634

* При расчете использовалось валовое содержание железа в ультрабазитах.

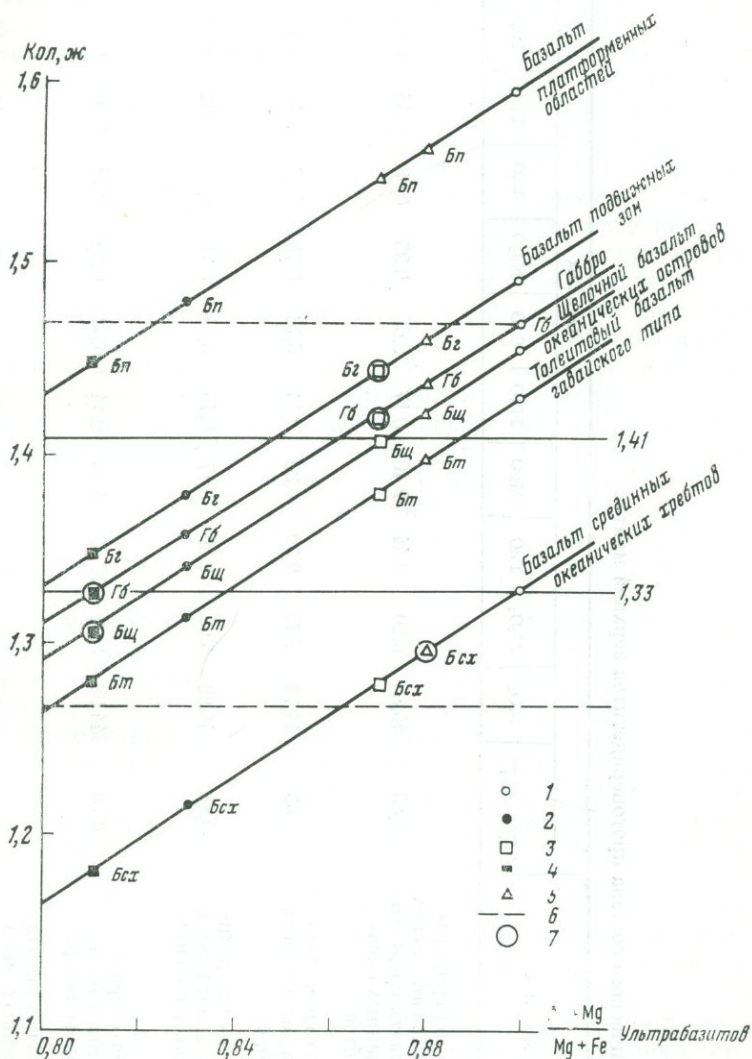
вышенное содержание титана в составе модели IIa (табл. 3), рассчитанном с использованием базальта, отличает эти разности протоперидотитов.

Существенно отличными от первых двух типов оказались составы протоперидотитов (III и IV), рассчитанные на основе перидотита платформенных областей. Они отличаются пониженным содержанием кремнезема (особенно модель IV), самым низким содержанием магния и самыми высокими содержаниями кальция и титана.

Полученные данные подтверждают мнение о неоднородности верхней мантии [25, 17, 23 и др.]. Причиной подобной неоднородности могли явиться различия в эволюции платформенных областей, подвижных поясов и молодых океанических бассейнов, выразившиеся в различной степени выплавления мантийного материала под этими макроструктурными единицами земной коры. В то же время четкие различия в содержании кислорода, железа и магния в перидотитах [4] и рассчитанных на их основе протоперидотитах позволяют судить и о вероятном влиянии фактора глубинности, определившего разную степень выплавления вещества верхней мантии на различных уровнях. В этой связи логично предположить, что максимальной степенью выплавления должны отличаться самые верхние, граничные с корой участки верхней мантии и что с глубиной степень выплавления, вероятно, будет уменьшаться.

Большинство исследователей сходится на том, что перидотиты срединных океанических хребтов отражают собой максимальную в этой группе пород степень выплавления, четко отражающуюся как в распределении главных элементов, так и элементов-примесей [9, 19, 6, 27].

С перидотитами срединных океанических хребтов очень сходны перидотиты подвижных зон, обычно объединяемые в группу альпинотипных перидотитов. Особенности химического состава перидотитов этой группы [4] позволяют судить об общности условий выплавления в пределах поверхностных участков мантии, подстилающих подвижные геосин-



Коэффициенты разделения $K_{ол:ж}$ в парах базальт — ультрабазит для различных средних составов этих пород

1 — дунит подвижных зон — базальтоиды; 2 — дунит платформенных областей — базальтоиды; 3 — перидотит подвижных зон — базальтоиды; 4 — перидотит платформенных областей — базальтоиды; 5 — перидотит срединных океанических хребтов — базальтоиды; 6 — доверительные пределы ошибок средних значений равновесий коэффициентов $K_{ол, ж}$; 7 — пары базальтоид — ультрабазит, использованные для расчета модельных составов протоперидотитов

Таблица 3

Модели химического состава протоперидотитов верхней мантии

Группа моделей	Состав моделей	Окислы													
		$\frac{\text{Mg}}{\text{Mg} + \text{Fe}^{2+}}$	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	MnO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	NiO	H ₂ O+
I	3 части среднего перидотита срединных океанических хребтов и 1 часть среднего базальта срединных океанических хребтов	0,85	45,80	6,20	9,44	32,40	0,17	3,60	0,95	0,08	0,48	0,08	0,40	0,30	0,10
II	3 части среднего перидотита подвижных зон и 1 часть среднего габбро	0,85	44,73	7,13	9,50	30,30	0,14	5,76	0,70	0,27	0,49	0,18	0,40	0,30	0,10
IIa	3 части среднего перидотита подвижных зон и 1 часть среднего базальта подвижных зон	0,85	44,86	6,92	9,66	30,17	0,15	5,58	0,76	0,30	0,62	0,18	0,40	0,30	0,10
III	3 части среднего перидотита платформенных областей и 1 часть среднего габбро	0,78	44,68	8,46	12,43	24,88	0,14	6,32	0,88	0,27	0,96	0,18	0,40	0,30	0,10
IV	3 части среднего перидотита платформенных областей и 1 часть среднего щелочного базальта океанических островов	0,78	43,97	7,86	12,50	24,96	0,15	6,85	0,99	0,29	1,45	0,18	0,40	0,30	0,10

клинальные зоны и молодые океанические впадины. При этом особенности химического состава базальтов дна океана, обедненных калием, титаном, фосфором, и максимальная степень выплавления перидотитов Срединно-Атлантического хребта свидетельствуют о возможности участия этих перидотитов в повторных циклах выплавления, которые проявляются в поясах термальной активности вдоль долгоживущих тектонических швов земной коры. Вполне вероятно, что зона максимально выплавленных перидотитов присутствует и под платформенными областями земной коры, однако в этих участках она недоступна наблюдению. Обсуждая распределение температур под щитами, А. Э. Рингвуд [17] приходит к достаточно обоснованному выводу о том, что «средняя вязкость и прочность верхних 200 км под кристаллическими щитами могут быть выше, возможно, на величину порядка, чем под соседними участками». Из этого вывода следует, что региональные разломы в пределах древних платформ должны вскрывать наиболее глубинные участки верхней мантии, возможно, подстилающие зону максимального выплавления (подобные глубинные разломы, естественно, могут развиваться не только на платформах, примером чего является Урал). Ранее уже обсуждалась связь с глубинными разломами ультрабазитов, обогащенных железом и обедненных кислородом и магнием [4]. Близкий к равновесному коэффициент разделения $K_{ол.ж}$ в паре перидотит платформенных областей — щелочной базальт океанических островов (см. фигуру) позволяет предположить, что перидотиты платформенного типа могут образовываться не только на значительной глубине под древними платформами, но и под океанами на глубинах, соответствующих образованию очагов щелочно-базальтовой магмы (50—70 км.) Этот вывод подтверждается находками богатых железом перидотитов платформенного типа, резко отличных от перидотитов срединных хребтов и подвижных зон, в пределах океанических островов (Реюнион и др.), связанных с вулканами центрального типа [4]. Таким образом, имеются основания для суждения о существовании в более глубоких частях верхней мантии материала, относительно более богатого железом и бедного магнием по сравнению с максимально выплавленными участками мантии, непосредственно подстилающими земную кору. С этой точки зрения большой интерес представляют расчеты Ф. Берча [3], объяснившего существование зоны пониженных скоростей в верхней мантии наличием обогащенного железом слоя (до $23 \pm 2\%$ фаялита) на глубинах приблизительно между 90 и 140 км.

В табл. 4 химические составы различных типов протоперидотитов пересчитаны на модалый минеральный состав с учетом экспериментальных данных о полях, устойчивости различных перидотитовых ассоциаций [18, 6]. Исходя из того, что на глубине 70 км и более в диапазоне температур, вероятных для верхней мантии, в соответствии с реакцией $4MgSiO_3 + MgAl_2O_4 = Mg_3Al_3Si_3O_{12} + Mg_2SiO_4$ должен появляться гранат пиропового типа [18], для представителей предположительно глубинных протоперидотитов (типы III, IV) произведен пересчет на состав гранат—оливин—пироксен.

Модальное содержание фаялита в оливине (в мольных %), рассчитанное на основе экспериментальных данных о близких показателях магnezиальности сосуществующих оливина, ромбического и моноклинного пироксена в океанических перидотитах [10, 13], в шпинелевых разностях протоперидотитов III и IV типов составляет 22—23%.

Таким образом, рассмотренный процесс эволюции поверхностного слоя земного шара заключается в закономерном выплавлении базальтовых жидкостей из ультраосновного (протоперидотитового) вещества мантии. Возможным механизмом выплавления мог явиться принцип зонной плавки, предложенный А. П. Виноградовым [8]. Появление на любой глубине в пределах верхней мантии базальтовых расплавов, обладающих существенно меньшей плотностью, чем исходные породы, определяло их стремление к перемещению в направлении поверхности под влиянием гравитационного поля Земли. Таким образом, могла быть сформирована базальтовая протооболочка земного шара, существенно обогащенная по сравнению с исходными протоперидотитами кислородом, кремнием, алюминием, кальцием, натрием и калием и более бедная железом и особенно магнием.

Следует подчеркнуть, что в процессе выплавления базальтовых магм происходит также их избирательное обогащение (по сравнению с коэффициентами разделения главных породообразующих элементов) К, Ti, P, Ba, Sr, Pb, Zr, Hf и U [9], которые интенсивно экстрагируются в жидкую фазу.

Однако выплавление базальтовых магм из мантии является только частью эволюционного процесса, приведшего к образованию современной коры земного шара. Лишь на отдельных участках океанической коры, имеющих относительно молодой возраст в связи с раздвижением морского дна, эти явления в настоящее время представлены в чистом виде, и кора слагается мощным покровом базальтовых лав, подстилаемых ультраосновными породами. Строение континентальной земной коры, как известно, значительно более сложное, и рассмотрение геохимических особенностей ее формирования требует привлечения дополнительных материалов, характеризующих специфику состава земных оболочек, слагающих континенты. В связи с тем, что континентальная кора составляет около 80% массы всей земной коры, проблема происхождения слагающего ее материала имеет первостепенное значение. В табл. 5 приведены данные о среднем составе «гранитного» и «базальтового» слоев литосферы, а также результаты подсчета состава континентальной и общей литосферы. Средний химический состав гранитного слоя литосферы был вычислен как среднее для 65 регионов земного шара на основе статистически рассчитанных средних составов главных типов магматических и метаморфических пород и оценки их средней распространенности [4]. Оценка состава базальтовой оболочки была произведена, исходя из имеющихся экспериментальных данных о плотности пород гранулитовой и эклогитовой зон метаморфизма, а также о скоростях прохождения в них продольных сейсмических волн в условиях высоких давлений, характерных для этих зон [10, 24]. При этом в соответствии с имеющимися данными [33] средняя плотность базальтовой оболочки принималась равной 3 г/см^3 , а средняя скорость прохождений в ней продольных сейсмических волн $6,9 \text{ км/сек}$. При вычислении среднего химического состава континентальной коры соотношение гранитного и базальтового слоев на основании известной сейсмической информации было принято равным 1:2. Как видно из табл. 6, вычисленные составы литосферы (континентальной и всей), а также состав базальтовой оболочки укладываются в колебания средних составов пород группы диорита—андезита [4].

Таблица 4

Модальный минеральный состав протоперидотитов

Группы моделей	Состав моделей	Минерал, формула					
		оливин (Mg, Fe) ₂ SiO ₄	ромбический пироксен (Mg, Fe)SiO ₃	моноклинный пироксен (Ca, Na) (Mg, Al)Si ₂ O ₆	шпинель MgAl ₂ O ₄	гранат (пирро) Mg ₃ Al ₂ Si ₃ O ₁₂	ильменит FeTiO ₃
I	Перидотит срединных океанических хребтов — базальт срединных океанических хребтов	42,3	29,5	20,6	7,0	—	0,6
II	Перидотит подвижных зон — габбро	37,0	26,5	27,0	8,9	—	0,6
III	Перидотит платформенных областей — габбро						
	шпинелевые разности	23,5	33,6	31,3	10,2	—	1,4
	гранатовые разности	32,0	5,6	31,2	—	29,8	1,4
IV	Перидотит платформенных областей — щелочные базальты океанических островов						
	шпинелевые разности	23,8	29,5	35,1	9,6	—	2,0
	гранатовые разности	38,5	—	33,0	—	26,5	2,0

Таким образом, имеются основания говорить о диоритовом среднем составе земной коры. В то же время имеет место уже обсуждавшееся [23, 4, 5] достаточно явное сходство среднего состава гранитного слоя со средним составом парагнейсов и гранодиоритов (но не гранитов), что позволяет именовать этот слой «гранодиоритовым». Следует подчеркнуть, что намеченной аналогии не противоречат и данные о средней плотности земной коры — $2,9 \text{ г/см}^3$ (для диорита — $2,84 \text{ г/см}^3$) и ее гранитного слоя — $2,71 \text{ г/см}^3$ (для гранодиорита — $2,72 \text{ г/см}^3$).

Сравнение химического состава континентальной литосферы с рассчитанными моделями составов протоперидотитов позволяет считать, что спецификой состава континентальной коры является существенная концентрация в ней калия, натрия, воды, алюминия, кремния и кислорода при пониженном содержании магния, железа, титана, кальция и марганца. При этом если содержания алюминия и натрия в гранитном и базальтовом слоях литосферы практически не изменяются, то содержания таких элементов, как калий, кремний, а также кислород, достигают максимального значения в гранитном слое (табл. 5). Ни для кого не явится новым вывод о том, что все характерные геохимические особенности континентальной коры определяются ведущей ролью в ее составе гранитов и гранодиоритов. В то же время из этого вывода следует, что решение проблемы генезиса этих пород одновременно должно пролить свет и на проблему происхождения континентальной земной коры в целом, а также позволит судить о глобальных геохимических особенностях эволюции верхней мантии.

В более ранних работах автора [23, 4, 5] обсуждалась роль подкоровых растворов, приносящих из мантии калий, кремнекислородные ком-

Таблица 5

Модели состава литосферы и ее оболочек (в %)

Окислы	«Гранитная» оболочка		«Базальтовая» оболочка **		Литосфера континентальная (без осадочной оболочки)		Литосфера вся *** (без осадочной оболочки)	
	%	K_k^*	%	K_k	%	K_k	%	K_k
SiO ₂	65,9	+1,45	56,3	+1,28	59,5	+1,44	57,3	+1,30
Al ₂ O ₃	15,2	+1,9	15,4	+2,0	15,3	+1,9	15,4	+2,0
Fe ₂ O ₃	2,0	—	2,8	—	2,5	—	2,4	—
FeO	2,7	-2,7	6,1	-1,4	5,0	-1,7	5,5	-1,6
MgO	2,0	-12,5	5,0	-5,0	4,0	-6,2	5,0	-5,0
MnO	0,09	-1,5	0,1	-1,5	0,1	-1,5	0,1	-1,5
CaO	3,50	-2,0	7,2	+1,0	6,0	-1,1	7,1	+1,0
Na ₂ O	3,00	+3,0	3,2	+3,2	3,1	+3,1	3,1	+3,1
K ₂ O	3,24	+11,0	1,8	+6,2	2,3	+7,9	1,9	+6,6
TiO ₂	0,55	-2,4	1,2	-1,2	1,0	-1,5	1,1	-1,3
P ₂ O ₅	0,19	+1,1	0,2	+1,1	0,2	+1,1	0,2	+1,1
H ₂ O ⁺	1,00	+9,1	0,6	+6,0	0,7	+7,0	0,7	+7,0
Прочие	0,63	—	0,1	—	0,3	—	0,2	—

* Коэффициент концентрации по отношению к протоперидотиту IV.

** Амфиболиты и пироксеновые гранулиты — 45%, эглогиты — 10%, кислые гранулиты-чарнокиты — 45%.

*** Литосфера континентальная — 79% массы, базальты океанического дна — 21% массы.

плексы и ряд других элементов, в образовании гранитов. При этом отмечалось, что два основных пути формирования гранитов в наибольшей степени соответствуют имеющимся фактическим материалам: 1 — в пределах древних платформ — метасоматическая гранитизация метаморфических и магматических пород под воздействием кремний-калиевых растворов, генерированных в мантии; 2 — в пределах молодых подвижных зон, а также платформенных зон активизации — палингенное выщелачивание метапелитовых пород в токе восходящих перегретых подкорковых (мантийных) кремний-калиевых растворов, поднимающихся по зонам глубинных разломов.

Процесс выщелачивания гранитного расплава из метапелитовых пород (гнейсов) в условиях высокого парциального давления паров воды [2 кбар] был экспериментально моделирован Г. Винклером и Г. Платеном [7, 16]. Термодинамические условия этого процесса были экспериментально изучены Татлом [31], Н. И. Хитаровым, Е. Б. Лебедевым и А. А. Кадиком [20], Е. Б. Лебедевым [12] и А. А. Кадиком [11] и с общих термодинамических позиций обсуждались Л. Л. Перчуком [15]. Полученные в цитированных исследованиях данные позволяют судить, что анатектическая гранитизация и палингенез метапелитовых осадков в условиях P и T земной коры могут иметь место только при относительно высоком P_{H_2O} (0,5 кбар и более) начиная с температуры 640—650°С. В отсут-

ствии воды выплавление жидкости гранитного состава из метапелитовых осадков происходит при температурах, недостижимых в земной коре. Таким образом, вода является необходимым компонентом палингенетического образования гранитных расплавов. Ее появление на глубинах 10—25 км, отвечающих наиболее вероятным глубинам палингенеза ($P_{\text{общ}} 3—8 \text{ кбар}$), может быть объяснено лишь с позиций подкорового источника водных растворов [23, 4, 5]. Подобный вывод представляется убедительным с геологической точки зрения, принимая во внимание постоянную связь гранитов с зонами региональных разломов, по которым возможен приток подкоровых растворов с высоким $P_{\text{H}_2\text{O}}$.

При анализе роли воды в образовании палингенетических расплавов никем из исследователей не рассматривался вопрос о вероятной роли катионной составляющей гранитизирующих растворов, мантийное происхождение которых предполагается в настоящей работе. В то же время сравнение состава продуктов деятельности этих растворов-гранитов с исходными породами, подвергавшимися переплавлению, свидетельствует о привносе в процессе гранитизации метапелитовых пород калия, кремния и кислорода. Хотя частичное плавление гнейсов с образованием жидкости гранитного состава может происходить и в присутствии воды, не содержащей калия и кремнезема [7, 16], однако подобный процесс в природе, по-видимому, имеет лишь весьма ограниченное распространение. Об этом позволяет судить ничтожная роль пород, которые можно было бы считать «гранитными реститами», в составе обнаженных на поверхности земной коры комплексов, принадлежащих амфиболитовой и гранулитовой фациям метаморфизма. Модельный состав реститов при различной степени плавления исходного среднего парагнейса с образованием расплава, отвечающего среднему граниту, приведен в табл. 6. Для сравнения в ней также дается пересчитанный минеральный состав реститов, полученных Г. Винклером при экспериментальном плавлении кордиерит-содержащих биотитовых гнейсов [7]. Учитывая, что граниты составляют около 64% гранитной оболочки, распространение пород, отвечающих по составу реститам, представляется неправдоподобно малым. Вопрос этот снимается, если предположить, что палингенез метапелитовых образований происходил в условиях привноса подкоровыми растворами калия и кремнезема. В этом случае выплавление гранитов из пород, отвечающих по составу парагнейсам, должно было происходить без остатка.

Привнос калия и кремнезема гранитизирующими растворами особенно четко проявляется при метасоматическом образовании гранитов, хорошо изученном в пределах древних щитов. Метасоматическая гранитизация метапелитовых осадков в данном случае могла осуществляться подкоровыми растворами в условиях, когда температура или давление не достигали величины, необходимой для начала выплавления. Подобные условия наиболее вероятны в раннем докембрии, когда метасоматическая гранитизация преимущественно развивалась по породам основного состава, и, предположительно, на меньших глубинах, чем палингенетическая гранитизация, характерная для более молодых подвижных зон земной коры. Учитывая высокие температуры плавления основных пород, их превращение в граниты, по всей вероятности, могло осуществляться только метасоматическим путем. Многочисленные примеры метасоматической гранитизации габброидов в пределах Балтийского и Украинского щитов являются хорошим подтверждением этой точки зрения.

Таблица 6

Химический и минеральный состав реститов

Модельные реститы после выплавления жидкости состава среднего гранита из среднего парагнейса				Пересчет экспериментальных данных Г. Вияклера [7]				
Окислы	Вес. %		Минерал	Мольн. %		Вес. %		
SiO ₂	51,4	58,4	Кварц	12,1	23,3	11,2	72,0*	24,2
Al ₂ O ₃	19,7	17,7	Плагиоклаз	54,8 (№ 65)	45,8 (№ 50)	—	—	30,3
Fe ₂ O ₃	4,3	3,2	Биотит	—	16,8	14,8	—	15,2
FeO	6,5	4,8	Кордиерит	12,6	9,5	40,7	12,4	18,2
MgO	5,2	3,7	Силлиманит	13,8	—	18,5	6,2	—
MnO	0,2	0,1	Апатит	0,7	0,6	—	—	—
CaO	7,2	5,3	Ильменит	2,2	1,4	14,8	9,4	12,1
Na ₂ O	2,4	2,8	Магнетит	3,8	2,6	—	—	—
K ₂ O	0,1	1,6						
TiO ₂	1,2	0,9						
P ₂ O ₅	0,3	0,3						
H ₂ O ⁺	1,5	1,2						
Степень выплав- ления, %	69	50		69	50	73	68	67

* В исходном гнейсе содержалось 47% кварца.

Таким образом, метасоматическая гранитизация метапелитовых толщ, очевидно, развивается в условиях температур, не достигающих минимальной температуры плавления гранита в присутствии воды, т. е. ниже 640° С, что соответствует выводам Татла [31], подсчитавшего, что при геотермальном градиенте 30° С/км выплавление гранитного расплава из метасадков (в условиях повышенного P_{H_2O}) может начаться на глубине 21 км. Эта глубина уменьшается до 15 км в областях, где геотермический градиент составляет 40° С/км. Данные об относительно низких температурах метасоматической гранитизации (500—600°) приводятся Л. Л. Перчуком [15] для Украины и Кольского полуострова.

Важным отличием метасоматического способа образования гранитов от палингенного является необходимость выноса из преобразуемых метапелитовых пород больших количеств железа, магния, кальция¹. При этом, учитывая вероятную относительно небольшую глубину развития метасоматической гранитизации в докембрии (12—15 км), вынесенные элементы могли принимать участие в процессах гидротермального преобразования вышележащих пород, а также частично выносились горячими кремнийсодержащими растворами на поверхность. Широкое распространение в докембрии железистых кварцитов (и силекситов), а также значитель-

¹ Особенно большое количество этих элементов должно выноситься в процессах гранитизации основных магматических пород.

ная роль обогащенных магнием хемогенных карбонатных пород, по всей вероятности, определяются широким развитием в этот период формирования земной коры явлений метасоматической гранитизации на относительно небольшой глубине от поверхности.

Если вывод о ведущей роли водных флюидов, выносящих в поверхностную оболочку земной коры калий и кремнекислородные комплексы, в формировании как метасоматических, так и палингенных гранитов является справедливым, подобный механизм перераспределения мантийного вещества мог явиться решающим фактором образования гранитного слоя континентальной литосферы. С рассматриваемой точки зрения интересно намечающееся снижение роли калия при переходе от древних докембрийских гранитов к гранитам послепротерозойских подвижных зон [4], которое может свидетельствовать об уменьшении во времени выноса калия из прогрессирующе выплавляющихся участков верхней мантии. В степени выплавления верхних горизонтов мантии, подстилающих подвижные геосинклинальные зоны земной коры, находит также объяснение преимущественное образование гранодиоритов в пределах молодых геосинклинальных зон, особенно тех, которые, по последним представлениям, формируются на окраинах континентов в результате взаимодействия с передвигающимися плитами океанической коры. Как уже отмечалось, эти геологически активные области, судя по составу ультраосновных пород, подстилаются максимально выплавленными участками верхней мантии, видимо, участвовавшими в неоднократных циклах выплавления. Подобные выщелоченные на более ранних стадиях развития участки верхней мантии могут служить наиболее вероятными областями генерации растворов, обедненных калием и рядом других металлов¹. Ранее, исходя из сходства средних составов гранодиоритов и парагнейсов, подчеркивалось, что превращение метапелитовых пород в гранодиориты может происходить без привноса калия и кремнезема путем простого переплавления метаосадков в присутствии воды [23, 4, 5]. Таким образом, намечается связь типов палингенетических гранитоидов с геохимическими особенностями участков верхней мантии, в которых генерировались гранитообразующие растворы.

В складчатых поясах, формирующихся в процессе поддвигания базальтовых океанических плит литосферы под континенты (подобных складчатому поясу Андских Кордильер), дополнительным источником тепла, обусловившим образование бедных калием палингенных коровых гранодиорит-диоритовых магм, могло явиться трение погружающихся плит о подошву континентов.

Геохимический анализ особенностей распределения химических элементов между верхней мантией и земной корой, а также между оболочками земной коры, позволяет судить, что дифференциация катионкислородного каркаса первичного вещества внешней части земного шара осуществлялась в направлении достижения максимального термодинамического равновесия в гравитационном поле Земли. Главным фактором подобной дифференциации, определяющим ведущие тенденции выплавления, дегидратации и дегазации верхней мантии, а также накоп-

¹ Известным подтверждением этого положения являются выводы [1] о весьма низком содержании калия в ювенильных гидротермальных растворах, взаимодействовавших с базальтами в пределах Срединно-Атлантического хребта.

ления в поверхностных оболочках земного шара калия, кремнезема, воды, карбонат-иона и ряда других элементов, является стремление химических элементов к перераспределению в поле тяготения Земли в соответствии с удельными объемами атомов, ионов и комплексных молекул, в форме которых эти элементы мигрируют в земной коре и верхней мантии (табл. 7). Результирующим эффектом процесса перераспределения являлось образование на определенных термодинамических уровнях верхней мантии и земной коры ассоциации минералов, максимально соответствующих равновесным условиям данного уровня.

Для каждого из этих уровней, проявившихся в формировании гранитного и базальтового слоев земной коры и верхней мантии, свойственны определенные тенденции направленной миграции химических элементов, а также стремление к образованию наиболее энергетически выгодных парагенетических ассоциаций минералов.

Верхняя мантия. Ведущими тенденциями эволюции верхней мантии являются выплавление базальтовых магм и вынос в земную кору водных флюидов, обогащенных калием, кремнеземом, а также рядом микроэлементов. К числу последних относятся крупные и средних размеров ионы с повышенными удельными ионными объемами (литий, рубидий, цезий, легкие элементы группы редких земель и др.), а также элементы, образующие в расплавах и растворах комплексные ионы с кислородом, фтором, хлором и другими анионами (см. стр. 124). Большие удельные объемы этих частиц нарушают термодинамическое равновесие катион-кислородного каркаса в условиях P и T верхней мантии. Генерация базальтовых магм и водных флюидов предположительно может происходить на различных уровнях верхней мантии, что определяет заметные геохимические различия продуктов дифференциации. Судя по роли явлений карбонатизации в составе кимберлитов, а также по геологическим особенностям формирования карбонатитов, отделение CO_2 также может рассматриваться как один из важных факторов, определяющих эволюцию верхней мантии. Экспериментальное подтверждение раннего отделения CO_2 из базальтовых расплавов в последнее время было получено А. А. Кадиком [11]. Следует отметить, что следствием процессов выплавления, дегидратации и дегазации мантийного вещества должно быть увеличение плотности верхних участков мантии. Перidotитовая ассоциация с переменным отношением Fe/Mg в зависимости от глубины, вероятно, является конечным устойчивым продуктом этого процесса.

Базальтовый слой континентов, имеющий в среднем диоритовый состав, является зоной максимальной концентрации магния, железа, кальция и титана в земной коре.

Имеющиеся данные экспериментальных и теоретических исследований [31, 7, 16, 20, 12, 15, 4, 11] позволяют сделать вывод, что в верхних частях слоя под влиянием восходящих потоков подкоровых водных флюидов происходит зарождение палингенетических гранитных магм, тенденция которых к перемещению в более поверхностные горизонты коры определяется влиянием гравитационного поля Земли. Ассоциация пироксен — роговая обманка — плагиоклаз, по-видимому, является наиболее устойчивой для рассматриваемого термодинамического уровня. Стремление к выравниванию состава оболочки в направлении: базальт-диорит определяет развитие явлений базификации пород верхних участков земной коры, богатых калием и кремнеземом, попадающих в пределы базальтовой оболоч-

Таблица 7

Удельные объемы некоторых атомов, ионов и комплексных радикалов

V/M, см ³ /г *	Атомы, ионы и комплексные молекулы
1,0—1,2	Атомы Ne ⁰
0,5—0,6	Атомы Ne ⁰
0,4—0,5	Атомы Ag ⁰ , свободные ионы Cl ⁻
0,3—0,4	(свободные ионы O ²⁻ , F ⁻)
0,2—0,3	Атомы H ⁰ , Kr ⁰ ; свободные ионы Br ⁻ , J ⁻
0,16—0,20	H ₂ O
0,14—0,16	Свободные ионы K ⁺
0,10—0,14	Свободные ионы Li ⁺ ; O ²⁻ в кремнекислородных комплексах; Cl ⁻ в хлор-кремниевых комплексах; CO ₂ ; [CO ₃] ²⁻
0,08—0,10	Свободные ионы Na ⁺ , Rb ⁺ , Cs ⁺ ; C ⁴⁺ (ковалентный)
0,06—0,08	Свободные ионы Ca ²⁺ ; Cu ²⁺ и Zn ²⁺ — в комплексах с серой
0,04—0,06	Свободные ионы Ba ²⁺ , Sr ²⁺ , Ti ⁴⁺ — в кислородных комплексах
0,02—0,04	Свободные ионы Mg ²⁺ , Ti ⁴⁺ , Cu ²⁺ , V ³⁺ , (Au ⁰), Pt ⁰
0,01—0,02	Свободные ионы Fe ²⁺ , Cr ³⁺ , Ni ²⁺ , Co ²⁺
Менее 0,01	Pt ²⁺

* Удельные объемы атомов и ионов вычислялись путем деления объемов частиц на их массу. Молекулярные объемы комплексов вычислялись приближенно путем суммирования ковалентных объемов составляющих их элементов. Соотношение ионности-ковалентности связей было учтено только в случае кремнекислородного комплекса. В работах [4, 5] удельные объемы вычислялись как частное от деления объема частиц на атомный (молекулярный) вес.

ки. Подобные явления, подчеркивающие тенденцию к перераспределению в гравитационном поле Земли, были ранее описаны В. В. Белоусовым [2].

Гранитный слой концентрирует компоненты с относительно высокими удельными объемами, существование которых в верхней мантии и базальтовой оболочке является энергетически невыгодным.

В оболочке, имеющей средний состав гранодиорита, гранитный парагенезис (калиевый полевой шпат, кварц, кислый плагиоклаз, слюды), по-видимому, является наиболее равновесным и термодинамически устойчивым.

Возможное расширение поверхностной оболочки земного шара в процессе формирования земной коры обсуждалось ранее [5]. Это явление могло иметь важное значение в геологической эволюции, особенно на ранних этапах развития коры. Следует также иметь в виду, что массоперенос в поле тяготения, направленный на совершенствование термодинамического равновесия системы, сопровождается выделением энергии. Учет этой энергии при оценке эволюции тепловых потоков в земной коре и в верхней мантии может привести к важным выводам, объясняющим связь магмообразования в коре и мантии с тектоникой, процессы перемещения магм, а также аномалии теплового потока на поверхности земной коры, подобные, например, аномалии Срединно-Атлантического хребта.

Литература

1. Аументо Ф., Ланкаверик Б. Д., Росс Д. И. Геология Срединно-Атлантического хребта (профиль Гудзон, 45° с. ш.).— В кн. «Петрология изверженных и метаморфических пород дна океана». «Мир», 1973.
2. Белоусов В. В. Некоторые общие вопросы развития тектоносферы.— В кн. «Кора и верхняя мантия Земли». «Наука», 1968.
3. Берч Ф. Плотность и состав верхней мантии.— В кн. «Земная кора и верхняя мантия». «Мир», 1972.
4. Беус А. А. Геохимия литосферы. «Недра», 1972.
5. Беус А. А. Средний химический состав и происхождение «гранитной» и «базальтовой» оболочек литосферы.— Изв. высших учебных завед., Геол. и разв., 1973, № 7.
6. Бонатти Э., Гоннорец Х., Феррара Г. Перидотит-габбро-базальтовый комплекс экваториальной части Срединно-Атлантического хребта.— В кн. «Петрология изверженных и метаморфических пород дна океана». «Мир», 1973.
7. Винклер Г. Генезис метаморфических пород. «Мир», 1969.
8. Виноградов А. П. Химическая эволюция Земли. Изд-во АН СССР, 1959.
9. Грин Д. Х. Состав базальтовых магм как критерий условий их возникновения.— «Петрология изверженных и метаморфических пород дна океана». «Мир», 1973.
10. Грин Д. Х., Рингвуд А. Э. Происхождение базальтовых магм.— В кн. «Петрология верхней мантии». «Мир», 1968.
11. Кадик А. А. Физико-химические условия, определяющие поведение воды и углекислоты в магмах основного и кислого состава при их движении к поверхности Земли. М., 1973.
12. Лебедев Е. Б. Физико-химические характеристики расплава гранита по данным электропроводности.— В кн. «Геохимические исследования в области повышенных давлений и температур». «Наука», 1965.
13. Мелсон У. Г., Томпсон Г. Петрология пород зоны трансформного разлома и прилегающих сегментов океанического хребта.— В кн. «Петрология изверженных и метаморфических пород дна океана». «Мир», 1973.
14. О'Хара М. Дж. Дискуссия по статье Д. Х. Грина.— В кн. «Петрология изверженных и метаморфических пород дна океана». «Мир», 1973.
15. Перчук Л. Л. Термодинамические условия гранитизации метанелитовых толщ.— В кн. «Очерки физико-химической петрологии». т. II. «Наука», 1970.
16. Плаген Г. Экспериментальное исследование анатексиса и генезис магматитов.— В кн. «Природа метаморфизма». «Мир», 1967.
17. Рингвуд А. Э. Состав и эволюция верхней мантии.— В кн. «Земная кора и верхняя мантия». М., 1972.
18. Рингвуд А. Э., Мак-Грегор И. Д., Бойд Ф. Р. Петрографический состав верхней мантии.— В кн. «Петрология верхней мантии». «Мир», 1968.
19. Харп С. Р. Содержание К, Rb, Cs, Sr, Ba и отношение изотопов Sr в базальтах океанического дна.— В кн. «Петрология изверженных и метаморфических пород дна океана». «Мир», 1973.
20. Хитаров Н. И., Лебедев Е. Б., Кадик А. А. Растворимость воды в расплаве гранитного состава при давлении до 7000 атм.— Геохимия, 1963, № 10.
21. Шоу Д. Радиоактивные элементы в докембрийских породах Канадского щита и глубины Земли.— «Распространенность элементов в земной коре». «Мир», 1972.
22. Anderson D. L., Sammis Ch., Jordan T. Compositions of the Mantle and Core.— In book «The nature of the Solid Earth». Ed. E. C. Robertson, 1972, Mc Graw Hill.
23. Beus A. A. Average Chemical Compositions and Origin of «Granitic» and «Basaltic» Layers of the Litosphere.— Trans. Amer. Geophys. Union, 1971, 52, N 4.
24. Christensen N. Compressional wave velocities in metamorphic rocks at pressures to 10 kilobars.— J. Geophys. Res., 1965, 70.
25. Clark S. P., Ringwood A. E. Density distribution and constitution of the mantle.— Rev. Geophys., 1964, 2.
26. Gast P. W. Limitations on the composition of the upper mantle.— J. Geophys. Res., 1960, 65.
27. Gast P. W. Terrestrial ratio of potassium to rubidium and the composition of Earth's mantle.— Science, 1965, 147.
28. Green D. H., Ringwood A. E. Mineral assemblages in a model mantle composition.— J. Geophys. Res., 1963, 68.
29. Harris P. G., Reay A., White I. G. Chemical composition of the Upper mantle.— J. Geophys. Res., 1967, 72.
30. Ringwood A. E. A model for the Upper mantle.— J. Geophys. Res., 1962, 67.
31. Tuttle O. F. The origin of granite.— Sci. Am., 1955, 194.

Предсказания академика А. Е. Ферсмана осуществились ¹

В 1938 г. Н. В. Белов пригласил меня на работу в лабораторию кристаллографии АН СССР и предоставил мне место для работы в своем кабинете. Сюда довольно часто заходили видные ученые, в частности, академики Д. С. Белянкин и А. Г. Бетехтин. Помню, как однажды появился высокий, полный, очень подвижный человек с громоподобным голосом и начал что-то обсуждать с Николаем Васильевичем. Это был Александр Евгеньевич.

Мне вспоминается еще один эпизод. Перед самой войной на Волынском месторождении был найден уникальный кристалл кварца весом около 1,5 т, «черный моршон» — удивительно высококачественный монокристалл. В 1942 г., несмотря на сложность и суровость военной обстановки, А. Е. Ферсман ходатайствовал о сохранении этого уникального кристалла. Надо сказать, что до сих пор таких кристаллов в природе не найдено.

Прошло 34 года и теперь я выступаю докладчиком от коллектива большого института, успешно работающего над осуществлением задач, поставленных А. Е. Ферсманом.

А. Е. Ферсман считал одной из важнейших задач науки — ее возможность предсказывать и предвидеть. Его высказывание о том, что борьба за сырье — это борьба за основу современной техники, также очень важно для нас.

Хочется отметить, что Александр Евгеньевич ценил не только красоту камня, но и уникальность набора физических свойств, присущих кристаллу, что делает монокристаллы совершенно необходимым материалом для развития техники.

«Будущее камня — не в их стоимости, а в их вечной красоте, в гармонии их цвета и формы, в их замечательных технических свойствах» [11].

Он видел и знал, что камни — не только украшение, но и важнейший технический материал.

Каким же путем можно получить этот камень и, в первую очередь, для технических целей? Александр Евгеньевич пишет по этому вопросу следующее: «Изучение свойств камня во всей сложности и разнообразии их — не только история его образования и роста в земной коре, а сама природа камня, его внутренняя структура, различные свойства, используемые промышленностью, наконец, его синтез — такова одна из важнейших проблем современной минералогии» [10].

Приведенные цитаты А. Е. Ферсмана свидетельствуют о том, что еще в 20-х годах он придавал чрезвычайно большое значение путям синтеза кристаллов, а именно кристаллов кварца, свойства которых позволяют использовать их в определенных областях техники.

¹ Сокращенный доклад на 13 Ферсмановском чтении 19 декабря 1972 г.

Я останавливаюсь в основном на синтезе двух кристаллов — кварца и алмаза, которые имеют особенно важное значение для развития современной техники — по результатам работ, которые проводятся во Всесоюзном ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательском институте синтеза минерального сырья — ВНИИСИМС.

Александр Евгеньевич обращал большое внимание на синтез, хотя в тот момент из технически важных синтетических кристаллов были выращены только кристаллы рубина. «... наметился и другой путь — путь синтеза. Нет никакого сомнения, что именно изучение природы минерала и образование его в земной коре постепенно натолкнуло на попытки воспроизведения тех сложных процессов, которые протекают в глубинах земли и медленно и постепенно создают чистый прозрачный кристалл. Поэтому понятно, что проблема синтеза оказалась одной из важнейших задач минералогии, заключавшейся в создании минерала определенных свойств» [10]. При этом он наметил и конкретные пути синтеза.

«В области синтеза камня важнейшей задачей будущего является получение твердого камня: кварц, циркон, алмаз и корунд — вот самые устойчивые и одни из самых прочных и твердых кристаллических построек, и искусственное получение этих минералов явится крупной победой нашей науки» [10].

Хорошо известно, что примерно 30% по весу земная кора состоит из кремнезема. Александр Евгеньевич пишет, «... что до глубины в 16 км около 65% приходится на его главное соединение с кислородом, SiO_2 ...» [14]. Это главным образом пески и жильный кварц, но отдельные монокристаллы SiO_2 , к тому же чистые и однородные, в природе встречаются чрезвычайно редко.

Монокристаллы кварца применяются для стабилизации радиочастот, а в настоящее время они являются незаменимыми минералами для различных новых областей квантовой радиоэлектроники. Поэтому проблема получения кристаллов кварца давно уже представляла большую актуальность и первым ученым, кто начал работы по их выращиванию, был профессор Н. Н. Шефталъ. Он впервые получил кристаллы кварца небольших размеров, которые оказались полностью пригодными и ничем не отличались от природных аналогов [18]. После этого стало необходимым перейти от мелких лабораторных опытов к промышленному получению синтетического кварца. Из Института кристаллографии эта проблема перешла во вновь созданный институт — ВНИИСИМС.

Я благодарен академику А. П. Виноградову за ту высокую оценку, которую он дал нашему коллективу в своем вступительном слове.

Прежде чем рассказать о достигнутых результатах, хочется напомнить о принципиальных возможностях гидротермального метода выращивания монокристаллов кварца. Кварц имеет α — β -превращение, поэтому вырастить его кристаллы из расплава невозможно, их можно получить только путем растворения и последующей кристаллизации. Кварц в обычных условиях нерастворим, но в гидротермальных условиях в природе, в сложных щелочно-солевых системах кремнезем растворяется, переносится из зоны растворения в зону роста, и там могут вырастать крупные кристаллы кварца. Этот природный процесс может быть воспроизведен в лабораторных условиях.

Известны три основные разновидности гидротермального синтеза кварца:

1. Изотермический метод, основанный на разной «растворимости» аморфного и кристаллического кварца.

2. Метод понижения температуры и давления.

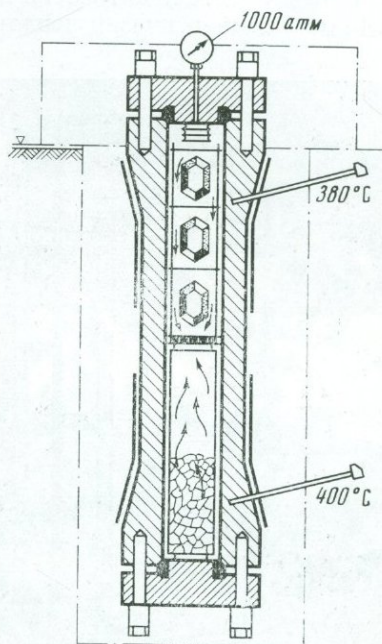
3. Метод температурного градиента.

Для получения крупных и однородных монокристаллов кварца применяется в настоящее время только метод температурного градиента, так как эта разновидность гидротермального метода позволит вести процесс кристаллизации в течение любого промежутка времени с сохранением термодинамических условий кристаллизации. Монокристаллы кварца выращивают в основном из водных растворов Na_2CO_3 или NaOH в широком интервале давлений и температур. В качестве питательного материала применяют жильный кварц, а в качестве затравок — монокристалльные пластинки различной кристаллографической ориентации. Обычно выращивание производится на затравках, пластины которых параллельны граням s , r или R ; могут быть применены и иррациональные срезы. Грань призмы m практически не растет.

На фиг. 1 показана схема опыта по гидротермальному выращиванию монокристаллов кварца. Сосуд высокого давления разделяется на две температурные зоны. В нижней части сосуда, находящейся при более высокой температуре, чем в верхней части сосуда, находится жильный кварц или любой источник кристаллического кремнезема; можно использовать и обычный кварцевый песок.

В верхней части подвешиваются кварцевые монокристалльные затравочные пластины, все это заполняется щелочным раствором определенной концентрации. Начинают медленный нагрев. Подогревают таким образом, чтобы температура в нижней части была бы несколько выше, чем в верхней. Раствор, насыщенный кремнеземом в нижней зоне, поднимается в верхнюю, более холодную часть автоклава, где он оказывается пересыщенным по отношению к затравкам, и избыток кремнезема постепенно откладывается на затравочных пластинах. Это происходит до тех пор, пока весь кремнезем из нижней части не будет перенесен на затравки.

Данный процесс позволяет выращивать кристаллы кварца бесконечно долгое время. Чтобы вырастить качественные и однородные кристаллы, необходимо, чтобы скорость роста была не превышающей десятых долей миллиметра в сутки. Например, кристалл весом 20 кг рос почти два года (фиг. 2). При этом очень важно на протяжении всего этого времени сохранять строго постоянными все условия роста. Малейшие нарушения приводят к образованию дефекта, который делает кристалл не-



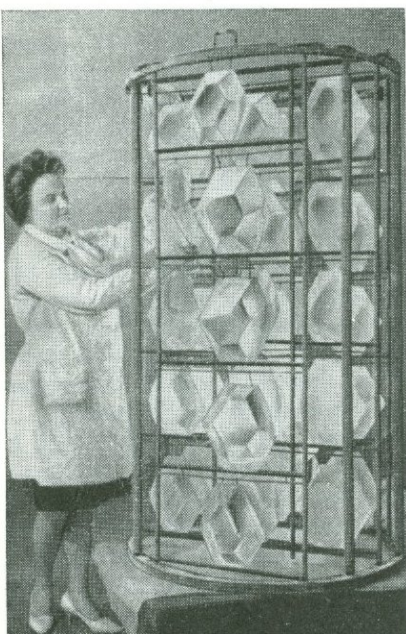
Фиг. 1. Схема автоклава для выращивания монокристаллов кварца методом температурного перепада

пригодным. Необходимая для этого аппаратура имеется уже в нашем распоряжении и она обеспечивает получение качественных кристаллов кварца.

Напомню высказывание Александра Евгеньевича: «Но скоро кварц — чистый горный хрусталь — будут делать химики. В больших баллонах, наполненных жидким стеклом, при высокой температуре и под большим давлением на тонких серебряных проволочках будут расти кристаллы горного хрусталя — чистые маленькие пластины для радио, а может быть и для стекол наших окон, для нашей посуды» [9].

В этой цитате практически предсказаны все пути выращивания кварца, которые мы практически используем в своей работе (замкнутые баллоны, жидкое стекло и др.). Н. Н. Шефталъ в первых своих опытах для получения кристалла кварца (небольшого размера) использовал жидкое стекло. Но это был идеальный случай. На самом деле система, в которой происходит выращивание кварца, довольно сложная: $\text{SiO}_2\text{—Na}_2\text{O—H}_2\text{O—CO}_2$.

При растворении кремнезема в указанной выше системе при определенном давлении и температуре оказывается, что раствор делается не гомогенным, а разделяется на два сосуществующих раствора [5]. Один, названный нами — «тяжелой фазой», содержит в своем составе большие количества кремнезема, второй раствор — более легкий, в котором кремнезема содержится значительно меньше. Из этого раствора и выращиваются чистые кристаллы кварца. «Тяжелая фаза» мешает росту, так как в определенных условиях может захватываться растущим кристаллом, что резко ухудшает его технические свойства. Поэтому задача выращивания высококачественных монокристаллов кварца заключается в нахождении способов избавления от «тяжелой фазы» при выращивании.

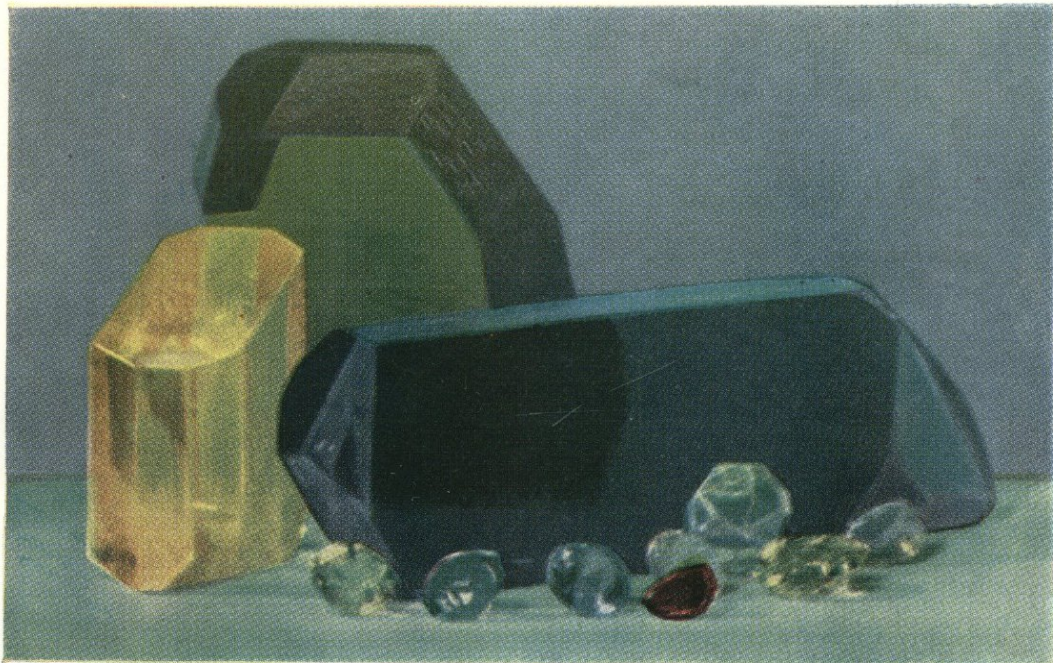


Ф и г. 2. Искусственные монокристаллы кварца

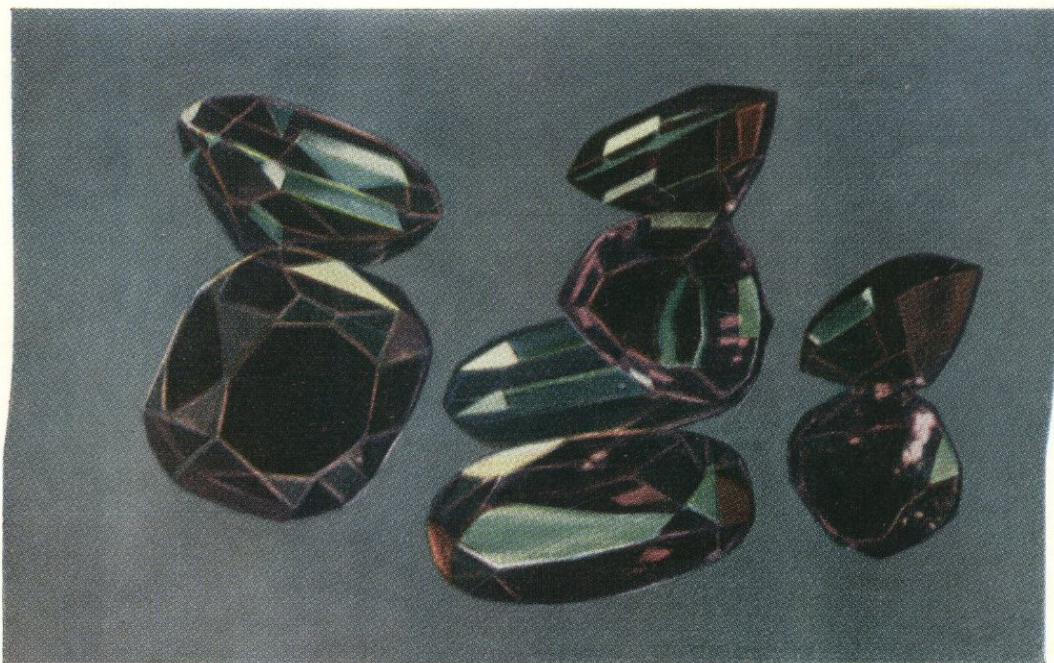
В настоящее время процесс выращивания кварца хорошо изучен, и мы можем уже выращивать кварцы, как сказал А. Е. Ферсман, с заданными физическими свойствами [3, 4, 6].

Изучение «тяжелой фазы» оказалось очень полезным для получения окрашенных разновидностей кристаллов кварца, которым присуще большое количество примесей. Выделяются два типа примесей: механические и структурные (структурная примесь, когда в решетку кварца вместо кремния входит тот или иной атом другого элемента). Эти примеси и дают потенциальные центры окраски.

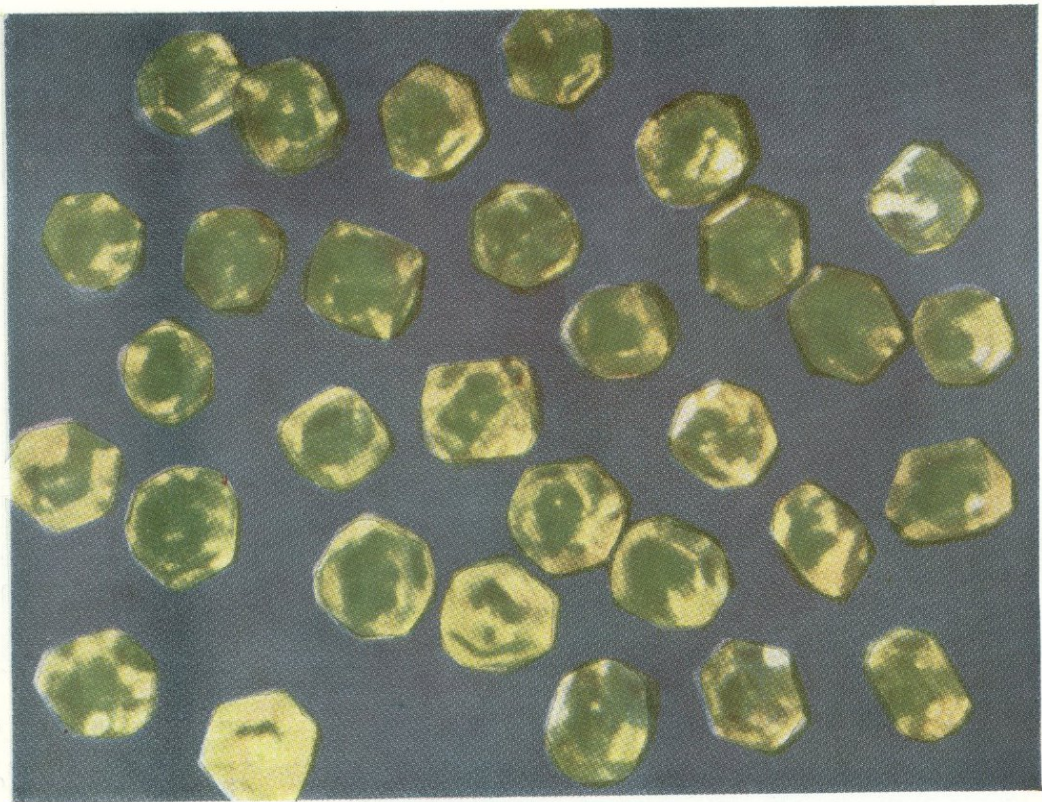
Для получения механических примесей имеется другая возможность, мы специально вводим в шихту, например, кобальтовые соединения,



Ф и г. 3. Окрашенные искусственные монокристаллы кварца



Ф и г. 4. Ограненные камни, изготовленные из цветного искусственного кварца



Ф и г. 6. Монокристаллы искусственного алмаза

растворимые в применяемой системе. Захват «тяжелой фазы» при больших скоростях роста, в которую входят и кобальтовые комплексы, позволяет получать кристаллы кварца, каких нет в природе, — различных синих оттенков [15]. Бурый и зеленый цвет кристаллов получается в результате введения примесей атомов Fe [17]. Под воздействием радиоактивного облучения получают кристаллы кварца с аметистовой окраской [16].

Густота окраски может регулироваться количеством вошедшей примеси в растущий кристалл (фиг. 3, 4).

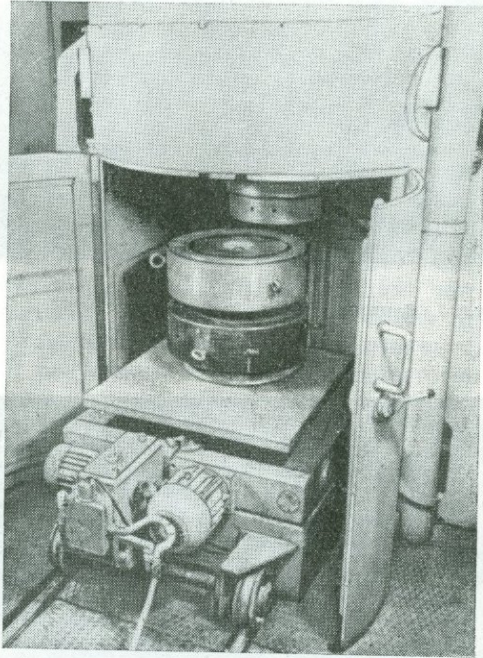
Получение окрашенных разновидностей кварца было важно не только с точки зрения получения полудрагоценных камней, а главным образом с целью изучения центров окраски. И как раз изучение закономерностей окрашивания кварца привело нас к тому, что мы можем выращивать кварц без этих центров окраски. Эта задача решена, так как имеющаяся у нас аппаратура позволяет в течение до двух лет поддерживать заданные режимы кристаллизации. Можно вводить коррективы в процессе роста и выращивать кристаллы кварца оптической кондиции, в том числе и без дислокаций. Такие кристаллы в природе встречаются чрезвычайно редко.

Большой интерес представляет следующая цитата А. Е. Ферсмана: «Как будто бы верный путь найден, и я уверен, что через несколько десятков лет геологи не будут больше с опасностью для жизни взбираться на вершины Альп, Урала или Кавказа в погоне за кристаллами, не будут добывать их в безводных пустынях Южной Бразилии или в наносах Мадагаскара.

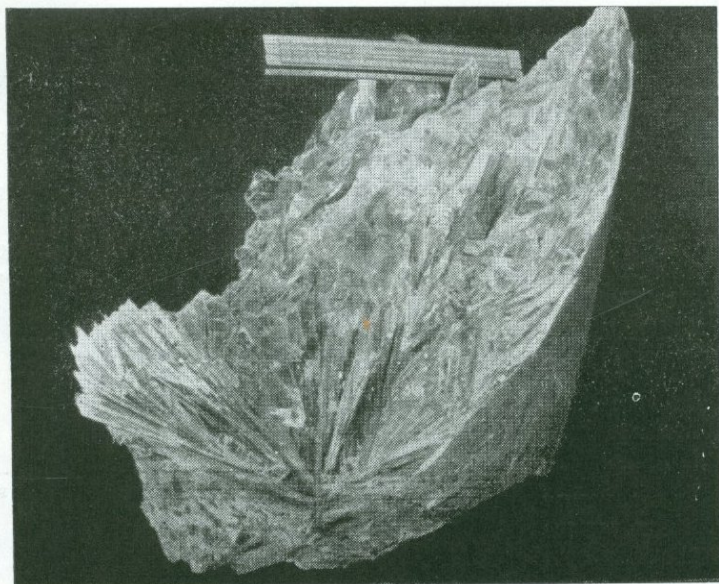
Я уверен, что мы будем по телефону заказывать нужные куски кварца на государственном кварцевом заводе, где в больших закрытых чанах с прозрачными растворами на платиновых ниточках будут расти прозрачные камни горного хрусталя. На смену горняку приходит химик!» [12].

Перехожу к синтетическим алмазам.

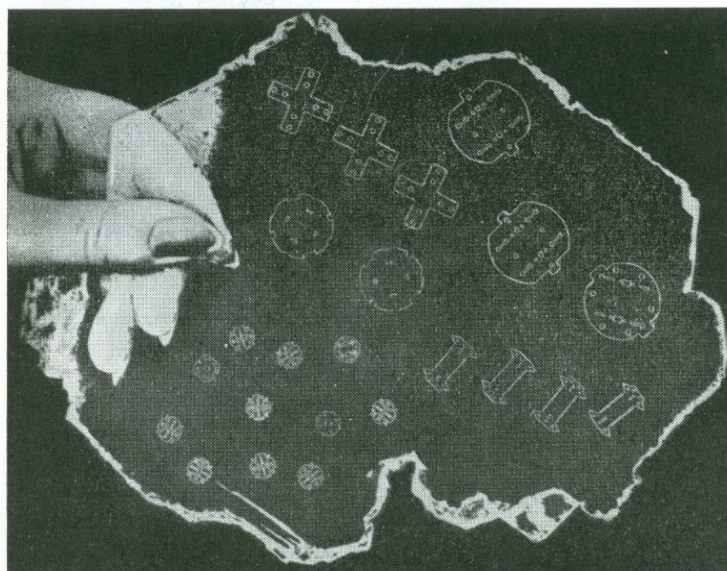
А. Е. Ферсман предсказал условия, при которых можно получать алмазы, причем одним из важнейших условий, по его мнению, является применение высокого давления. «Между тем не только сама природа, но и теоретическое изучение полей устойчивости алмаза и графита ставит одним из важнейших условий образования кристалликов алмаза значительное давление» [13].



Фиг. 5. Установка высокого давления для получения искусственных алмазов



Ф и г. 7. Слиток искусственной слюды



Ф и г. 8. Монокристалльная пластина искусственной слюды с положенными на нее изделиями для радиоламп

Самым интересным и важным является то, что А. Е. Ферсман предсказал наиболее вероятные условия образования алмаза значительно раньше, чем это было сделано учеными, работающими в данном направлении.

«Алмаз может образоваться из расплавленной породы лишь при очень высоких давлениях, достигающих 30, а может быть даже и 60 тыс. атмосфер» [14].

Впервые условия синтеза на основе физических констант графита и алмаза рассчитал советский ученый А. Н. Лейпунский [8]. Алмаз был синтезирован в США в середине 50-х годов. В Советском Союзе алмазы синтезированы в 1960 г. Л. Ф. Верещагиным [7] и несколько позже в нашем институте. За 10 лет создана технология выращивания методом спонтанной кристаллизации алмаза [2].

К сожалению, процесс образования кристаллов алмаза является трудно управляемым. Дело в том, что в камере высокого давления трудно выдерживать постоянство условий синтеза. На фиг. 5 показана установка высокого давления, принятая нами для получения кристаллов алмаза.

Сегодня решена задача получения кристаллов алмаза размером до 1,2 мм, применяемых в технических целях. Это решает задачу, но только для замены природных алмазов на синтетические в основном для металлообрабатывающей промышленности. На фиг. 6 показаны синтетические алмазы марки «САМ», получаемые по разработанной нами методике.

В заключение следует отметить, что у нас решена проблема синтеза искусственной слюды [1]. В синтетической слюде вода заменена фтором (размеры ионов одинаковые). В результате такого изоморфного замещения повысилась термостойкость синтетической слюды. При нагревании до 900—1000° С синтетическая слюда никаких изменений не претерпевает (фиг. 7 и 8).

Закончить статью я хочу словами Александра Евгеньевича Ферсмана: «Научный процесс заканчивается лишь после внедрения выводов в жизнь» [9].

Литература

1. Аникин И. Н. Некоторые условия регулирования процесса кристаллизации слюды.— Труды ВНИИП, 4, вып. 2, 1960, с. 141—146.
2. Безруков Г. Н., Бутузов В. П., Ворожейкин К. Ф., Литвин Ю. А., Рагулина Э. Н. Морфология кристалла синтетического алмаза.— Труды ВНИИСИМС, 1964, 8, с. 149—154.
3. Бутузов В. П. Исследование оптической однородности монокристаллов искусственного кварца.— Труды ВНИИП, 1960, 4, вып. 2, с. 87—94.
4. Бутузов В. П. Искусственный кварц.— Труды ВНИИП, т. VI. Госгеолтехиздат, 1962, с. 5—11.
5. Бутузов В. П., Брятов А. В. К вопросу о выращивании кристаллов кварца.— В сб. «Рост кристаллов». Изд-во АН СССР, 1957, с. 305—310.
6. Бутузов В. П., Гордиенко Л. А., Хаджи В. Е., Цинобер Л. И., Доладугина В. С. Синтез монокристалльного оптического кварца.— В сб. «Рост кристаллов», т. IX. «Наука», 1972, с. 32—34.
7. Верещагин Л. Ф. Алмазы? Пожалуйста.— «Сов. Россия», 1960, 23 июля.
8. Лейпунский О. И. Об искусственных алмазах.— Успехи химии, 1939, 8, вып. 10, с. 1519—1534.
9. Ферсман А. Е. Основные вопросы организации научной работы.— Вестник АН СССР, 1936, № 10, с. 34.

10. Ферсман А. Е. Из истории культуры камня в России. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1946, с. 55, 57, 58.
11. Ферсман А. Е. Очерки по истории камня, т. I, Изд-во АН СССР, 1954, с. 15.
12. Ферсман А. Е. Занимательная минералогия. М.—Л., Изд-во детской лит-ры, 1953, с. 125.
13. Ферсман А. Е. Кристаллография алмаза. Изд-во АН СССР, 1955, с. 26.
14. Ферсман А. Е. Занимательная геохимия. Изд-во АН СССР, 1959, с. 74, 82, 92.
15. Хаджи В. Е., Лушников В. Г. Гидротермальный синтез кристаллов кварца синего цвета.—Труды ВНИИП, 1961, вып. 5, с. 87—89.
16. Цинобер Л. И. Некоторые особенности дымчатой и аметистовой окраски кристаллов синтетического кварца. (Труды II Всес. совещ. по радиационной химии). Изд-во АН СССР, 1962, с. 677—682.
17. Цинобер Л. И., Ченцова Л. Т., Штернберг А. А. О зеленой и бурой окраске кристаллов искусственного кварца.—В сб. «Рост кристаллов», т. 2. Изд-во АН СССР, 1959, с. 61—67.
18. Шефгаль Н. И. Первые советские опыты выращивания кварца. Изд-во АН СССР, 1955.

А. Е. Ферсман — основоположник минералогии и геохимии щелочных пород

С 1920 г. под руководством А. Е. Ферсмана на протяжении многих лет организуются экспедиции Академии наук СССР на Кольский полуостров. Вначале основное внимание было направлено на изучение Хибинского и Ловозерского щелочных массивов. Оно привело к открытию уникальных месторождений хибинского апатита и их промышленному освоению. Это обусловило необходимость проведения систематического и детального исследования минералогии и геохимии указанных щелочных массивов. Первые итоги данных исследований были обобщены в книге «Минералы хибинских и ловозерских гундр» [1], а сокращенный вариант ее в том же году опубликовали на английском языке [7].

Эти книги сразу же привлекли к себе большое внимание, поскольку они были первыми обобщающими работами по минералогии самых крупных щелочных массивов мира. В них приведена характеристика большого количества минеральных видов, многие из которых, очень специфичные по своему составу, имели высокие концентрации таких редких элементов как Zr, Nb, TR и др. 12 минералов оказались новыми — изучены и описаны на материале из Хибинского и Ловозерского массивов, а именно: лампрофиллит, мурманит, рамзаит, ферсманит, юкспорит (силикаты ниобия и титана), ринколит, ловчоррит (силикаты редкоземельных элементов и титана) и лопарит (сложный окисел ниобия и титана, содержащий редкоземельные элементы).

В разделе «Общая характеристика Хибинских и Ловозерских минералов», написанном А. Е. Ферсманом, акцентируется внимание на следующем: 1) обилие минеральных видов (установлено и описано 111 минералов), 2) большое число ниобо-титано-цирконо-силикатов; 3) наиболее типичными элементами являются: P, Sr, Ti, Zr и TR (преимущественно цериевая группа), 4) большая роль комплексных анионов $[AlO_4]^{5-}$, $[FeO_4]^{5-}$, $[TiO_4]^{4-}$, $[ZrO_4]^{4-}$ и др., 5) преобладание K и Na над Al — агпаитовый характер образований и др.

Позднее, в монографии «Полезные ископаемые Кольского полуострова» [6], А. Е. Ферсман дает геохимический анализ отдельных комплексов Кольского полуострова, включая и комплекс щелочных пород Хибинского и Ловозерского массивов. При этом он отмечает, что наиболее типичными элементами являются фосфор, ниобий, титан, стронций, цирконий, редкоземельные элементы (преимущественно цериевой группы). Характерно также преобладание натрия над калием, щелочей над алюминием (коэффициент агпаитности от 1,0 до 1,5), титана над цирконием, ниобия над танталом, обилие стронция и титана, широкое распространение фосфора. Отмечается также повышенное содержание кислорода и преобладание элементов и окислов наиболее высоких валентностей. Сильно щелочной характер расплавов и растворов обуславливает агпаитовый характер образований, возникают сложные комплексные минералы (цирко-

но- и титано-силикаты), фиксирующие щелочи и кальций, образуется эгирин, богатый натрием и трехвалентным железом.

А. Е. Ферсман уделял большое внимание изучению минералогии и геохимии щелочных пород и связанных с ними полезных ископаемых в других регионах СССР, в частности Урала. В статье, посвященной анализу миаскитовых пегматитов Ильменских гор [4], он выдвинул идею о существовании двух типов щелочных расплавов: агпаитовых и миаскитовых.

Для агпаитовых пород характерен значительный избыток щелочей над глиноземом, благодаря чему коэффициенты агпаитности, т. е.

$$\frac{\text{число молекул } K_2O + Na_2O}{\text{число молекул } Al_2O_3},$$

достигают 1,5 (и выше). Эти породы отличаются весьма высоким содержанием Fe^{3+} и Ti, повышенным содержанием кислорода (SeO_2 вместо Se_2O_3), своеобразной минерализацией и связанной с ней последовательностью кристаллизации, при которой раньше кристаллизуются бесцветные компоненты, а позднее выпадают цветные минералы обычно сложного комплексного характера — титано- и цирконосиликаты, богатые Na, Ca, Fe^{3+} , Mn. Породы миаскитового типа имеют коэффициент агпаитности около единицы и меньше.

В этой же статье рассматриваются и причины, ведущие к образованию щелочных магм. Увеличение щелочности происходит под влиянием впавления известняков с выносом комплексного аниона $[CO_3]^{2-}$, в результате привноса избытка FeO и других, хотя и слабых оснований; в результате увеличения степени окисления с переводом ионов низкой валентности в ионы высокой, более способных к образованию комплексных анионов; или в результате удаления слабых анионов и кислотных составных частей путем быстрого пневматолита летучих компонентов и повышения этим pH (отщепления летучей фазы).

Причины образования нефелин-сиенитовых магм А. Е. Ферсманом еще раз рассматриваются в статье «К геохимии щелочных магм» [5, приложение 1]. Он считает, что причины могут быть различны; «лишь бы они вели к следующим химическим процессам изменения расплавов: окислению, деселекации и увеличению щелочности катионов (или ослаблению силы анионов)». Одновременно анализируются и причины возникновения расплавов. В магме по тем или иным причинам должен получиться избыток щелочей или вообще сильных катионов. «Увеличение силы катионов в расплаве, особенно одновременно с увеличением содержания кислорода, должно вести к образованию из части катионов комплексных анионов, что относится в первую очередь к Al, Ti, Zr, Fe^{3+} и т. д., формирующим такие комплексы, как $[TiO_4]^{4-}$ (в титано-силикатах), $[ZrO_4]^{4-}$ (в цирконо-силикатах), $[FeO_4]^{5-}$ (в эгирине), которые характерны для агпаитовых пород».

Эти положения А. Е. Ферсмана по минералогии, геохимии и генезису учитывались всеми исследователями щелочных пород.

Работы, начатые под руководством А. Е. Ферсмана по изучению щелочных массивов, успешно продолжают в нашей стране и в настоящее время. В качестве примера можно сослаться на успехи, полученные при изучении щелочных массивов Кольского полуострова (особенно Хибинского и Ловозерского). В Ловозерском массиве установлено около 300

минералов и их разновидностей [2]. Из них 40 аксессуарных минералов являются новыми, впервые изучены и описаны на материале данного массива. К их числу относятся: беловит, белянкинит, бериллит, бериллосодалит (тугтунит), беталомоносвит, бетамурманит, виноградовит, власовит, гакманит, герасимовскит, гельбертрандит, зорит, ильмайокит, карнасуртит, келдышит, когаркоит (бесхлорный шайрерит), комаровит, куплетскит, лабунцовит, ловозерит, ломоносвит, металопарит, мурманит, ненадкевичит, нордит, раит, рамзаит, сейдозерит, сферобертрандит, тундрит, чинглузит, чкаловит, казаковит, лапландит, ловдарит, сажинит, умбозерит, фосинаит и цирфесит. Многие из этих минералов имеют высокие содержания редких элементов: Zr (власовит, келдышит, сейдозерит, цирфесит), Nb (белянкинит, беталомоносвит, бетамурманит, герасимовскит, карпинскит, ломоносвит, мурманит, ненадкевичит), TR (беловит, карнасуртит, металопарит, нордит, тундрит), Be (бериллит, бериллосодалит, гельбертрандит, сферобертрандит, чкаловит) и др. Изучение этих, а также и других, типичных для пород Ловозерского массива минералов, показало, что одной из наиболее характерных особенностей типоморфных минералов агпайтовых нефелиновых сиенитов является ассоциация в них натрия с элементами, которые определяют специфику данных пород, а именно Cl и S (содалит), F (виллиамит), P (ломоносвит), Zr (эвдиалит, ловозерит и др.), Nb (лопарит, мурманит), TR (лопарит, стенструпин, нордит), Be (чкаловит, эвдидимит-эпидидимит и др.) и Ti (рамзаит, ломоносвит).

В соседнем Хибинском массиве также найдено свыше 140 минералов, из них 24 новых. Многие из новых минералов, обнаруженных в Ловозерском и Хибинском массивах, уже установлены в Илимауссакском щелочном массиве, юго-западная Гренландия [3] и др.

За последние годы большое внимание уделялось изучению не только щелочных массивов Кольского полуострова (Хибинский, Ловозерский, Гремяха-Вырмес и др.) и Карелии (Елетьозерский), но и других регионов Советского Союза: Восточного Приазовья, Урала (Ишимский, Ильменский, Вишневогорский), Прибайкалья (Сыннырский и др.), Восточной Тувы и Маймеча-Котуйской провинции.

В связи с этим опубликовано много работ, в том числе ряд монографий, в которых обобщены результаты многолетних исследований по геологии, петрографии, минералогии, геохимии и генезису щелочных массивов. В них нашли отражение и развитие идеи, высказанные А. Е. Ферсманом — основоположником изучения минералогии и геохимии щелочных нефелинсодержащих пород.

Литература

1. Минералы Хибинских и Ловозерских тундр. Изд-во АН СССР, 1937.
2. Семенов Е. И. Минералогия Ловозерского щелочного массива. «Наука», 1972.
3. Семенов Е. И. Минералогия щелочного массива Илимауссак. «Наука», 1969.
4. Ферсман А. Е. Геоэнергетический анализ миаскитовых пегматитов Ильменских гор. — Труды Ильменского заповедника, 1936, вып. 5.
5. Ферсман А. Е. Геохимия, том III. Л., Изд-во ОНТИ — Химтеорет, 1937.
6. Ферсман А. Е. Полезные ископаемые Кольского полуострова. Изд-во АН СССР, 1941.
7. Minerals of the Khibina and Lovozero Tundras. Akad. Sci. Press, 1937.

А. И. ГИНЗБУРГ

Современное состояние учения

о пегматитах ¹

Прошло более 40 лет с момента выхода первого издания замечательной монографии А. Е. Ферсмана «Пегматиты», в которой впервые было изложено цельное эволюционное учение о пегматитах. За эти 40 лет пегматиты непрерывно изучались, но никогда интерес к ним не был таким значительным, как в настоящее время. Бурное развитие научно-технического прогресса, строительство крупнейших тепло- и гидроэлектростанций, так же как и атомных электростанций, широкое применение радиотехники, радиоэлектроники, телемеханики, кибернетики, создание космических кораблей, плазменных двигателей,— все это связано с использованием в значительных количествах тантала, цезия, лития, а также пьезокварца, оптического флюорита и мусковита, т. е. сырья, добываемого в основном из пегматитов.

Появившийся в последние годы повышенный интерес к драгоценным камням вновь привлек внимание геологов и минералогов к определенным типам пегматитов, в которых только в природе встречаются кристаллы этих изумительных «самоцветов».

Хотя пегматитовый тип месторождений весьма капризный и проявляется четко выраженная тенденция к замене его гидротермальными метасоматическими месторождениями, характеризующимися более богатыми рудами с равномерным распределением полезных компонентов (например, для олова, бериллия, редких земель, урана), тем не менее пегматиты во многих отношениях являются уникальным типом месторождений. Только в них появляются промышленные концентрации богатых цезием поллучитов, чисто танталовых минералов, крупных пластин мусковита, прозрачных кристаллов драгоценных камней и многих других видов сырья. При комплексной обработке руд пегматитовых месторождений, когда наряду с редкими металлами из них будут извлекаться полевые шпаты как керамическое сырье, мелкочешуйчатые слюды для электротехнической промышленности, разработка будет весьма рентабельной даже при не очень высоком содержании в пегматитах редких металлов.

Годы, прошедшие после ухода от нас А. Е. Ферсмана, были периодом весьма интенсивного исследования пегматитов, которое осуществлялось геологами, петрографами и минералогами-геохимиками, ведущими поиски, разведку и изучение слюдоносных, редкометалльных и хрусталеносных месторождений, а в последние годы и пегматитов с драгоценными камнями. В результате детального картирования пегматитовых полей и отдельных тел, выяснения закономерностей их размещения, зональности в распределении различных типов, исследования их внутреннего строения, особенностей минерального и химического состава, процессов взаимодействия

¹ Доклад, прочитанный на XII Ферсмановских чтениях 7/XII 1971 г.

с вмещающими породами сформировалось несколько точек зрения на процесс образования пегматитов. Если при жизни А. Е. Ферсмана высказанные им идеи о возникновении пегматитов вследствие эволюционного развития расплавов, возникающих на конечных стадиях становления гранитных массивов, были общепринятыми, то последующий период характеризуется оживленными дискуссиями и появлением различных подходов к объяснению образования пегматитов.

Творчески развивалась идея А. Е. Ферсмана, согласно которой пегматиты рассматривались как продукты кристаллизации остаточных гранитных расплавов анхиэвтектического состава, формирующихся в целом в замкнутой системе при значительном участии на последних стадиях их развития автосоматических процессов (К. А. Власов, А. Ф. Соседко, М. Ф. Стрелкин, А. И. Гинзбург, А. А. Беус, К. Л. Бабаев, Н. П. Ермаков, Ю. А. Долгов, Г. Г. Родионов, М. В. Кузьменко и др.). Некоторые исследователи стали рассматривать пегматиты как чисто магматические образования, в образовании которых первостепенную роль играют ликвационные явления (И. Б. Недумов, Г. Б. Мелентьев) или вообще не различать магматические и метасоматические процессы (Н. А. Солодов). Рассматривая пегматитовый процесс в целом как замкнутый, в то же время ряд исследователей большую роль отводят интерминерализационной тектонике (М. Ф. Стрелкин, А. И. Гинзбург, И. Б. Недумов и др.), а также явлениям контракции (Ю. А. Долгов, М. А. Осипов), которые приводят к приоткрыванию системы.

Следует указать, что точка зрения А. Е. Ферсмана в последние годы получила широкое признание за рубежом, чему немало способствовал перевод монографии «Пегматиты» на французский язык. В 1951 г. она была издана в Бельгии под редакцией де Тердонка и проф. Ж. Торо. В популяризации идей А. Е. Ферсмана большую роль сыграли работы Н. И. Варламова. Идеи А. Е. Ферсмана в США развивались Е. Н. Камероном, Р. Г. Джансом, А. Г. Мак Нейром, Л. Р. Пейджем, К. У. Бернэмом, в Швеции — П. Квенселем, О. Бротцен и многими другими.

Дальнейшее развитие получила идея гидротермального происхождения пегматитов, впервые сформулированная В. Шеллером, Ф. Гессом и К. Лендесом. Согласно этому направлению, пегматиты представляют собой перекристаллизованные и замещенные граниты или аплиты. Наиболее ярко эти идеи были выражены в работах В. Д. Никитина и его последователей (С. А. Руденко, П. П. Боровиков, В. А. Филишов и др.). Согласно В. Д. Никитину [13], пегматиты возникли из гранитов и гранит-аплитов путем перекристаллизации под воздействием поступающих из глубины растворов и последующего метасоматического преобразования уже перекристаллизованных пород. Весь процесс формирования пегматитов от начала и до конца протекал по принципу открытой системы, при этом все редкометалльные минералы и промышленно ценные слюды образовывались метасоматическим путем в уже твердых породах пегматитов. Точка зрения В. Д. Никитина базировалась главным образом на детальном изучении онтогении минералов, на цепочечном расположении в пегматитах редкометалльных минералов, наличии в них многочисленных включений, свидетельствующих об их метасоматическом образовании; при этом многие приводимые им данные кажутся весьма убедительными. Теоретической основой этих представлений являются взгляды

Д. С. Коржинского на процесс метасоматического рудообразования под воздействием сквозьмагматических растворов и физико-химические построения А. Н. Заварицкого. Следует только подчеркнуть существенное различие во взглядах А. Н. Заварицкого и В. Д. Никитина, состоящее в том, что по А. Н. Заварицкому процессы перекристаллизации гранитов, протекающие при ретроградном вскипании магматического расплава, происходят всегда в замкнутой системе, тогда как В. Д. Никитин рассматривает ее только как открытую.

В последние годы вновь возродилась точка зрения Эскола о связи пегматитообразования с процессами ультраметаморфизма и мигматизации. Эта гипотеза развивается главным образом геологами, изучающими древние пегматиты, развитые в кристаллических щитах, где действительно в ряде случаев пегматиты тесно связаны с мигматитами, при этом жильные мигматиты — вениты — непосредственно переходят в пегматиты. Данная концепция развивается в последнее время в работах Ю. М. Соколова, Д. А. Великославинского, М. М. Мануйловой и других, за рубежом наиболее ярким ее представителем является Г. Рамберг.

На протяжении последних десятилетий протекала оживленная дискуссия между указанными тремя основными направлениями, которая принимала иной раз достаточно острую форму. Несомненно, что эта дискуссия, которую нельзя считать сейчас завершенной, была весьма полезной, поскольку она привлекла внимание к целому ряду новых фактов и заставила исследователей искать объяснение многим явлениям, мимо которых ранее проходили. В то же время она четко показала, что в природе, по-видимому, широко развиты явления конвергенции, т. е. одни и те же (или весьма близкие) минеральные образования могут возникать вследствие действия различных процессов.

В этой связи не исключено, что пегматиты представляют собой гетерогенные образования и возникают в различных геологических условиях разными путями.

Естественно возникает вопрос, какой же новый фактический материал по пегматитам появился после выхода в 1940 г. дополненного второго издания монографии А. Е. Ферсмана, какие произошли принципиально важные объективные изменения в наших знаниях о пегматитах? Наиболее существенные из них могут быть сведены к следующим.

1. Детально изучена геология пегматитовых полей и поясов, выявлены главнейшие закономерности размещения пегматитовых полей и факторы, контролирующие их положение в различных регионах.

2. Изучены структуры пегматитовых полей и уточнена зональность в их строении; следует учитывать, что за прошедшие годы многие месторождения были нацело выработаны, другие разведаны бурением на значительную глубину, измеряемую сотнями метров, отдельные пегматитовые поля прослежены по вертикали по естественным обнажениям в горных районах на 1,0—1,5 км. Все эти данные позволяют судить о поведении пегматитов на значительную глубину.

3. Детализировано внутреннее строение пегматитовых тел, выявлены особенности зональности в пегматитах, изучена стадийность процессов минералообразования и последовательность развития метасоматических процессов.

4. Значительное внимание в эти годы было обращено на изучение геохимии пегматитового процесса. Необходимо здесь подчеркнуть, что

многочисленные проведенные геохимические исследования полностью подтвердили взгляды А. Е. Ферсмана на существование единой геохимической эволюции процесса, которая прослеживается в пегматитах различных регионов мира, образующихся в разные геологические эпохи развития Земли [4].

5. Много нового получено при детальном изучении минералогии пегматитов, расширены представления о минеральном составе, открыты новые минералы пегматитов, изучены изменения минералов в ходе развития самого процесса, показана значительная роль явлений замещения и перераспределения элементов при различных поздних процессах в пегматитах, выявлено существование в пегматитах специфической зоны окисления и гипергенное происхождение многочисленных фосфатов, встречающихся в поверхностных зонах пегматитов.

6. Изучены процессы взаимодействия пегматитов с вмещающими их породами, приводящие в ряде случаев к выносу из пегматитов значительного количества щелочей и образованию вокруг них мощных эндогенных ореолов.

7. Дискуссия по вопросу о генезисе пегматитов побудила представителей различных направлений искать объективные критерии для решения спорных вопросов. Пегматиты являются идеальными объектами для применения различных методов геотермометрии и геобарометрии, поэтому были проведены значительные исследования температур образования минералов пегматитов. В последние годы накопился уже большой статистический материал по температурам образования минералов, который позволяет восстановить объективную картину развития пегматитового процесса.

8. Выявлены своеобразные массивы гранитов, содержащие в своей апикальной части промышленную вкрапленность рудных минералов (редкометалльные граниты или «апограниты» по А. А. Беусу). По ряду особенностей эти граниты весьма напоминают пегматиты. Сравнение подобных редкометалльных гранитов и пегматитов дает много дополнительного материала для понимания условий образования как пегматитов, так и этих своеобразных гранитов.

9. Новые экспериментальные исследования кристаллизации силикатных расплавов с летучими, так же как и многочисленные работы по синтезу кварца, берилла и других минералов пегматитов, позволяют лучше понять ход развития пегматитового процесса. В частности, утверждению о том, что процесс должен протекать только в открытой системе, противоречат опыты по синтезу минералов пегматитов в автоклавах, которые можно рассматривать, как модель совершенно замкнутой системы.

Если пегматиты представляют собой граниты или аплиты, перекристаллизованные и замещенные гидротермальными растворами, то они не должны характеризоваться какими-то особыми, специфическими чертами, отличающими их от типично гидротермальных образований или полевошпатовых метасоматитов, которые в последние годы выявлены в различных районах страны и детально изучены многими исследователями. Между тем привлекает внимание тот факт, что вне зависимости от того, на каких континентах и в каких регионах встречаются гранитные пегматиты, каков их возраст и среди каких пород они локализируются, они всегда характеризуются только им одним свойственными особенностями, ко-

торые заставляют их выделять в особый генетический класс пегматитовых месторождений. К таким специфическим особенностям месторождений этого класса следует отнести следующие.

— Пегматиты представляют собой всегда образования определенных глубин, они не могут быть приповерхностными или гипабиссальными.

— Как правило, пегматиты завершают ход формирования гранитных интрузивных комплексов, т. е. являются конечными их дифференциатами. Более того, в пегматитах концентрируются те элементы, которые закономерно накапливаются в последовательно образующихся интрузивных фазах дифференцированных гранитных комплексов. Другими словами, в пегматитах находит свое завершение геохимическая эволюция, прослеживаемая при развитии гранитного магматизма.

— Пегматиты не встречаются обычно в виде одиночных тел. Чаще всего они группируются в протяженные поля, прослеживающиеся нередко на километры и даже десятки километров. Отдельные поля вытягиваются в гигантские пояса, приуроченные к крупным региональным геологическим структурам.

— По мере удаления пегматитовых полей от материнских интрузивов в их строении прослеживается четко выраженная зональность, отмеченная еще в работах А. Е. Ферсмана: чем дальше от интрузивов располагаются пегматиты, тем в них обычно более интенсивно проявлены метасоматические процессы.

— Для пегматитовых тел весьма характерно зональное внутреннее строение с обособлением в центральных их частях мономинеральных выделений («ядер») кварца. Зональность в строении особенно ярко проявлена в телах округлой или линзообразной формы [2]. В пегматитах, приуроченных к четко выраженным тектоническим зонам, зональность обычно неотчетливая или замаскирована проявившимися более поздними процессами замещения [3].

— В пегматитах наблюдаются специфические структуры, нигде более не встречаемые, — графические (собственно «пегматитовые»), апографические, крупноблоковые, директивные и другие, которые придают им своеобразный облик.

— Существует строго выраженная эволюция в их развитии, единая для всех пегматитов, проявляющаяся в закономерной смене в них по мере падения температуры минеральных парагенезисов. Эта закономерная эволюция и позволила А. Е. Ферсману расчленить весь пегматитовый процесс на отдельные «геофазы». Следует подчеркнуть, что в пегматитах встречаются минеральные ассоциации, которые нигде более, ни в одном другом классе месторождений, до сих пор не обнаружены. Подобные явления не могут быть объяснены с позиции гидротермальной теории образования пегматитов.

— Пегматиты никогда не переходят непосредственно в рудные кварцевые жилы, что следовало бы ожидать, исходя из гидротермальной гипотезы. В тех относительно редких случаях, когда пегматиты и кварцевые жилы с оловянно-вольфрамовой и сульфидной минерализацией встречаются совместно, последние всегда образовывались позже пегматитов, пересекают их или проходят вдоль их зальбандов, реже образуют в них лестничные жилы.

Таким образом, пегматиты представляют собой четко выдержанный особый генетический класс месторождений, характеризующийся своими,

только ему присущими чертами, который не может быть сведен ни к какому-либо другому классу месторождений. Они связаны непрерывными переходами с материнскими гранитами и не переходят в гидротермальные кварцевые рудные жилы с оловянно-вольфрамовой и сульфидной минерализацией. В то же время в самих пегматитах на поздних стадиях их развития могут быть широко проявлены гидротермальные процессы. Только в этом отношении и можно понимать слова А. Н. Заварицкого [10], что пегматиты являются образованиями промежуточными между изверженными горными породами и рудными жилами.

Для понимания всего разнообразия существующих типов пегматитов и условий их образования следует кратко остановиться на главнейших новых данных, полученных советскими геологами при изучении различных пегматитовых полей СССР.

Пегматиты различных структурных этажей земной коры

Еще А. Е. Ферсман отмечал, что пегматиты — образования, возникающие на определенной глубине, при которой в системе силикат — летучие компоненты могут развиваться надкритические явления. Поскольку система $\text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ хорошо изучена, то можно оценить то минимальное давление, при котором вода может существовать в надкритическом состоянии. Если это давление перевести на литостатическое, то оно соответствует глубине примерно в 2 км; другими словами, пегматиты не могут образовываться на глубинах менее 2 км. В то же время нижнего предела глубины формирования пегматитов мы не знаем, во всяком случае он более 10 км. Таким образом, диапазон глубин формирования пегматитов весьма большой — более 8 км, в то время как все гидротермальные месторождения возникают преимущественно на глубине до 4 км, а максимальное их образование приходится на глубины 1—3 км. Естественно, что пегматиты, формирующиеся в различных структурных этажах земной коры, должны существенно отличаться. В этой связи была сделана попытка [6] разделить пегматиты на ряд групп или формаций, образующихся в условиях различных глубин. Предложенная группировка пегматитов базировалась на данных, полученных в ряде районов при реставрации полного стратиграфического разреза, и вычислении мощностей эродированных ко времени образования пегматитов толщ осадочно-метаморфических пород, а также из анализа степеней метаморфизма пород. За прошедшие годы эта группировка в целом не вызвала существенных нареканий со стороны представителей различных школ [13]. Наиболее целесообразно выделять четыре такие группы (формации) пегматитов.

I. Пегматиты малых глубин — формируются на глубинах порядка 2—3,5 км, с ними связаны во многих районах месторождения горного хрусталя и оптического флюорита (хрусталеносные пегматиты).

II. Пегматиты средних глубин — возникают в интервале 3,5—6 км, возможно, несколько более. С ними связаны промышленные концентрации тантала, цезия, лития, бериллия (редкометалльные пегматиты).

III. Пегматиты больших глубин образуются в интервале глубин 6—8 км и более. Все промышленные месторождения мусковита относятся как раз к этой группе, в связи с чем они были названы слюдоносными.

IV. Пегматиты весьма больших глубин, формирующиеся на глубине более 8 км и не несущие промышленное оруденение, часто обогащенные ортитом или монацитом.

Пегматиты различных структурных этажей существенно отличаются по целому ряду признаков; они встречаются в различных геологических условиях и для каждой из этих групп существуют свои специфические поисковые и оценочные признаки. Во многих случаях споры между геологами по поводу генезиса пегматитов в значительной степени происходят из-за того, что изучаются различные природные объекты, находящиеся в несопоставимых геологических условиях. Главнейшие отличия выделенных групп пегматитов заключаются в следующем.

Они залегают среди пород, в различной степени метаморфизованных. В этой связи ведущим поисковым признаком при прослеживании пегматитовых полей становится соответствующая фация метаморфизма осадочно-метаморфических пород.

Так, например, редкометалльные пегматиты средних глубин всегда залегают среди пород, измененных до антофиллит-кордиеритовой субфации амфиболитовой фации метаморфизма, по Тернеру. Этим объясняется постоянное нахождение их среди амфиболитов или андалузит-кордиеритовых сланцев, что важно учитывать при проведении поисковых работ.

Пегматиты этих групп по-разному связаны с материнскими интрузивами. Как правило, чем пегматиты менее глубинные, тем связь их с гранитами более четко выражена. Так, хрусталеносные пегматиты малых глубин постоянно залегают непосредственно среди материнских гранитов, а пегматиты весьма больших глубин чаще всего не обнаруживают какой-либо связи с интрузивами и располагаются среди полей развития мигматитов, так что связь с процессами ультраметаморфизма представляется достаточно обоснованной.

Пегматиты характеризуются различным влиянием вмещающих пород на их состав. Чем они более глубинные, тем процессы контаминации более интенсивно проявлены, и пегматиты обогащаются элементами, типичными для вмещающих пород (кальцием, железом, титаном и др.).

Выделенные группы пегматитов различаются по степени развития метасоматических процессов и обогащенности их летучими компонентами, в частности фтором. Если в пегматитах больших глубин развивается процесс гидролиза полевых шпатов с образованием кварц-мусковитового замещающего комплекса, что определяет появление в них промышленного мусковита, то в пегматитах средних глубин интенсивно проявляется альбитизация и следующая за ней грейзенизация, а в некоторых случаях и лепидолитизация. С этими процессами и связано оловянное, танталовое, цезиевое и частично бериллиевое оруденение. Характерно, что в редкометалльных пегматитах процессы лепидолитизации, обусловленные высокой активностью фтора, локализуются обычно в наиболее апикальных (т. е. наименее глубинных) участках пегматитовых полей и в местах раздувов тел, появляющихся чаще всего в перегибах по падению и простиранию, которые можно рассматривать как своего рода «структурные

ловушки» для летучих. Еще большая роль фтора наблюдается в пегматитах малых глубин, для которых весьма характерны топаз или флюорит.

Пегматиты верхнего структурного этажа отличаются по нахождению в них миароловых пустот. Последние, естественно, не могут появляться на значительной глубине, если только они не являются вторичными, возникающими при последующих процессах растворения. В какой-то степени они могут быть уподоблены миндалевидным пустотам в эффузивах. С этой точки зрения представляют интерес обнаруженные в некоторых гранит-порфирах Северо-Востока СССР небольшие пустоты с друзами горного хрусталя и берилла, вокруг которых в гранит-порфирах наблюдалась кайма микрографической — гранофировой структуры. Подобные образования с известной условностью могут рассматриваться как промежуточные между миароловыми пегматитами и миндалевидными пустотами в эффузивах. Происхождение пустот в пегматитах может быть разным. Они могут возникать на месте появления в остаточном расплаве газовых пузырей вследствие явлений сжатия в процессе остывания, на что обращал внимание еще А. Е. Ферсман, а также вследствие растворения, например, кварца, в зональных телах. В последнее время М. А. Осипов [14] указывал на известную аналогию между расположением, формой и строением камерных пегматитов и усадочных раковин-полостей в искусственных отливках. В частности, известным доказательством образования пустот в камерных пегматитах вследствие термического сокращения объема могут служить барометрические исследования газово-жидких включений минералов из пустот. Эти исследования показали, что в пустотах в процессе формирования минералов давление было значительно меньше литостатической нагрузки, что можно объяснить явлениями разрежения в процессе термического сжатия. Наличие в пустотах небольшого температурного перепада и адиабатические процессы, происходящие при возникновении пустот при термическом сжатии [9], обуславливают рост крупных, хорошо образованных кристаллов кварца, флюорита и драгоценных камней (берилла, топаза, полихромного турмалина, кунцита и др.).

Рассматриваемые группы пегматитов различаются и по соотношению с рудными кварцевыми жилами. Пегматиты больших глубин с ними совместно не встречаются, пегматиты средних глубин (редкометалльные) и кварцевые жилы с оловянной и вольфрамовой минерализацией генетически связаны с едиными гранитными комплексами, но пространственно обычно разобщены: кварцевые рудные жилы располагаются над куполами — ацикальными участками интрузивов, пегматитовые поля — в более глубоких участках прогиба кровли. Только пегматиты малых глубин пространственно связываются с небольшими массивами — куполами гранитов, в пределах которых иногда появляются грейзеновые и кварцевожильные образования, накладывающиеся в некоторых районах на пегматиты.

Пегматиты различных областей тектонического режима

Пегматитовые поля даже одного и того же структурного этажа могут значительно отличаться в зависимости от их расположения в областях различного тектонического режима: геосинклинальных складчатых поясах и зонах региональных разломов [3, 17], проходящих по стыкам платформ или срединных массивов и складчатых обрамлений, вдоль границ разновозрастных древних толщ, в специфических «шовных» структурах. Пегматиты складчатых поясов и этих «шовных» зон отличаются друг от друга рядом особенностей, отмеченных ниже.

По характеру связи с материнскими интрузивами. Так, пегматитовые поля складчатых областей обнаруживают непосредственную связь с гранитными массивами, их распределение контролируется в основном морфологией кровли интрузива, при этом они располагаются преимущественно в зонах экзоконтакта, а также в прогибах кровли. Пегматитовые поля «шовных» структур контролируются тектоническими зонами, нередко удалены от материнских интрузивов на значительное расстояние и не имеют с ними видимой связи.

Протяженностью пегматитовых полей и морфологией тел. В складчатых областях пегматитовые поля протягиваются обычно на несколько километров при соотношении длины поля к ширине порядка 4:1—6:1. Пегматиты чаще всего имеют форму жил с многочисленными раздувами и пережимами, линз, реже встречаются штокообразные и трубчатые тела. Протяженность пегматитовых полей, связанных с «шовными» зонами, нередко достигает десятков километров, поля вытягиваются вдоль зон разломов в виде узких полос (при соотношении длины к ширине 10:1—15:1) и слагаются плитообразными телами — дайками. Последние нередко располагаются кулисообразно и иногда разветвляются на отдельные ветви. Подобные тела весьма выдержаны и по падению, прослеживаясь на значительную глубину (более 1 км).

Характером зональности полей и количеством рудных тел. В складчатых областях обычно четко проявлена зональность в распределении пегматитов по отношению к материнским интрузивам, при этом не более 1—5% тел всего поля содержат рудную минерализацию. В зонах разломов такая зональность обычно замаскирована, при этом крупные поля, протяженностью в несколько километров, могут практически целиком слагаться пегматитами с рудной минерализацией. Поэтому масштабы месторождений, приуроченных к тектоническим зонам, бывают во много раз больше, чем пегматитовых месторождений, располагающихся в складчатых областях.

Внутренним строением пегматитовых тел. Для пегматитов, формирующихся в складчатых областях, весьма типично зональное строение с появлением полнодифференцированных тел и зон с гигантблоковым строением. Пегматиты же, располагающиеся в пределах зон разломов, характеризуются отсутствием четко выраженной зональности, неоднородным участковым строением, широким развитием мелкозернистых сахаровидных агрегатов, единым параллельным расположением пластинчатых минералов (сподумен, альбит). Последние ориентированы примерно перпендикулярно зальбандам тел, благодаря чему возникает своеобразная

директивная структура, а в более редких случаях они вытягиваются согласно простиранию тел. Для них характерны явления брекчирования одних минеральных агрегатов и замещения их другими, появление полосчатых текстур и порфиробластовых структур, многочисленные пересечения прожилков, сложенных различными минеральными ассоциациями, и другие явления, однозначно свидетельствующие о многофазном развитии пегматитов и формировании их в крайне неспокойных тектонических условиях.

Закономерности распределения оруденения. В зональных пегматитах складчатых областей редкометальное оруденение распределено крайне неравномерно, преимущественно вокруг кварцевых ядер; для них типичны гигантские кристаллы рудных минералов в одних участках и полное отсутствие оруденения в других. Пегматиты «шовных» зон отличаются преимущественно равномерным распределением оруденения, представленным большей частью мелкокрапленой минерализацией.

Температурные условия образования пегматитов

Для решения спорных вопросов генезиса пегматитов были сделаны многочисленные попытки определить температуры образования минералов из различных зон пегматитов и таким путем восстановить ход развития пегматитового процесса, при этом были использованы следующие независимые друг от друга методы.

Определение температуры образования кварца путем протравления его плавиковой кислотой и выяснения проходил ли он точку инверсии, т. е. образовался ли выше $573-600^{\circ}$ или ниже этой температуры (Г. П. Барсанов, Э. Я. Гурьева).

Определение температур гомогенизации газовой-жидких включений в минералах пегматитов (Н. П. Ермаков, Г. Г. Леммлейн, Ю. А. Долгов, И. Т. Бакуменко, А. И. Захарченко, В. Н. Труфанов, В. А. Калужный, Л. Ш. Базаров, А. А. Москалюк, Н. И. Мязь, В. С. Полюковский, В. М. Макагон и многие другие), а также использование при этом метода декрепитации этих включений.

Определение температур образования полевых шпатов по двуполюсовому геотермометру Барта.

Определение температур образования мусковита по плагиоклаз-мусковитовому геотермометру Йодера—Эйстера (А. С. Таланцев и др.).

Определение температур образования биотита по содержанию в нем скандия (геотермометр Офтедаля).

Определение последовательности выделения полевых шпатов на основании изучения содержаний в них примесей рубидия.

Определение температур образования кварца на основании прецизионных исследований его структуры: параметры ячейки, данные ИКС, степень дефектности и плотности (Е. И. Долманова, Е. И. Гасоян и др., И. В. Давиденко, А. А. Головин).

В результате накопился громадный цифровой материал, характеризующий температурный режим формирования пегматитов различных групп. В целом данные, получаемые разными методами, достаточно близко подходят друг к другу, отличаясь иногда максимально на $50-60^{\circ}$. Это заставляет считать, что они, по-видимому, правильно отражают общую

картину изменения температуры образования минералов в ходе пегматитового процесса.

Какие же следуют выводы из всех проведенных исследований?

Формирование пегматитов протекает на значительном температурном интервале — от $700-600^{\circ}$ до $150-200^{\circ}$ С. Эти данные подтверждают справедливость намеченных А. Е. Ферсманом температурных режимов образования пегматитов.

В зональных телах редкометалльных пегматитов выделение минералов происходит от периферических частей к центральным. Так, периферические зоны аплитовидного, среднезернистого и основной массы графического пегматита возникают в редкометалльных пегматитах в интервале $600-650^{\circ}$ С, явно из магматического расплава, центральные кварцевые ядра — при температуре $400-500^{\circ}$ С, минералы альбитового замещающего комплекса — в интервале $350-200^{\circ}$ С, а минералы из пустот — от 250 до 80° С. В пределах самих кварцевых ядер температура образования меняется от 500° в наиболее верхних апикальных участках до 350° в нижних частях, под которыми развиваются миароловые пустоты (А. С. Таланцев).

Работами Г. Г. Родионова и др. [15] отчетливо показано, что температурные условия становления пегматитов существенным образом зависят от глубины их формирования. Так, для хрусталеносных пегматитов температура образования микроклиновых графических зон порядка $665-780^{\circ}$, для редкометалльных — $600-650^{\circ}$, а для слюдяных — $480-550^{\circ}$, что хорошо согласуется с уменьшением температуры точки эвтектики в системе микроклин — кварц по мере увеличения давления. Точно так же закономерно изменяется в этом направлении и температура образования мономинеральных микроклиновых зон. Таким образом, сходные зоны пегматитов, формирующиеся в различных структурных этажах Земли, образуются при разных температурах.

Исследованиями Г. Г. Родионова и др. [15] показано, что при переходе от графического пегматита к мономинеральному микроклину, слагающему крупные выделения блоковой зоны, слегка повышается температура (на $10-20^{\circ}$), что вполне понятно, если рассматривать графический пегматит как результат эвтектики (поскольку температура эвтектики всегда ниже температуры кристаллизации каждого из компонентов).

В целом обращает внимание, что А. Е. Ферсманом удивительно точно были определены температурные интервалы образования последовательно развивающихся минеральных ассоциаций (геофазы процесса), за выделения которых его работа неоднократно ранее подвергалась критике.

Механизм образования пегматитов

Важным вопросом генезиса пегматитов является установление механизма образования пегматитов, т. е. решение «проблемы пространства», занимаемого крупными пегматитовыми телами. Другими словами, это вопрос о том, образуются ли пегматиты путем выполнения свободных полостей, создают ли сами они эти полости, раздвигая слои вмещающих пород, или же пегматиты возникают за счет преобразования вмещающих пород в процессе ультраметаморфизма или при их замещении. Детальные струк-

турные исследования, проведенные Г. Г. Родионовым, И. Н. Тимофеевым, А. С. Назаровой, Ю. М. Соколовым и многими другими, позволили установить следующее.

В пегматитах, формирующихся в условиях больших глубин, пегматиты могут полностью или частично возникать за счет преобразования вмещающих их гнейсовых толщ: перекристаллизации и процесса «магматического замещения» (по Д. С. Коржинскому) или селективного выплавления кварц-полевошпатового материала. При этом процесс «пегматизации» носит избирательный характер; наиболее легко преобразовываются в пегматиты биотитовые и гранат-биотитовые гнейсы. Возникновение пегматитов путем преобразования гнейсовых толщ хорошо видно на примере гигантомигматитового типа пегматитов Мамского слюдоносного района, где по теневым структурам в пегматитах можно даже проследить отдельные толщи вмещающих пород [19].

В пегматитах средних глубин процессы ассимиляции пегматитовым расплавом вмещающих пород в целом играют незначительную роль. Пегматитовые тела возникают путем выполнения полостей, открывающихся при тектонических напряжениях.

Пегматитовый расплав проникает, как правило, в открывающиеся полости, но при этом «интрузивная сила» расплава не играет решающей роли в образовании форм пегматитовых тел. Она сказывается в основном при движении расплава и проявляется в перемещении и повороте ксенолитов вмещающих пород, в смещении отдельных выступов вмещающих пород, вдающихся в тело пегматитов и т. д.

В редкометальных пегматитах средних глубин, характеризующихся широким развитием метасоматических процессов, изменение вмещающих пород происходят в основном на поздних стадиях при развитии процессов альбитизации, грейзенизации и лепидолитизации. В целом явления преобразования вмещающих пород развиты слабо и в основном в экзоконтактных зонах, более интенсивно они проявлены в ксенолитах, которые могут быть нацело замещены минералами поздних замещающих комплексов [12].

В условиях малых глубин возможен и иной механизм образования полостей, выполненных пегматитами. По аналогии с раковинами усадки, образующимися в отливках под быстро застывающей коркой, М. А. Осипов [14] предполагает, что камерные пегматиты в гранитах образуются в полостях, возникающих вследствие явлений сжатия в застывающих гранитных куполах.

Рудные ореолы вокруг пегматитов

Поскольку процессы замещения в редкометальных пегматитах приводят к коренному преобразованию их первичного состава, то с ними связан и значительный вынос ряда элементов во вмещающие породы. Как известно, ведущим метасоматическим процессом в пегматитах является альбитизация. При ее развитии по калиевому полевому шпату и сподумену происходит переход в раствор большого количества калия, рубидия и лития, которые частично фиксируются в поздних слюдах, а частично выносятся во вмещающие породы. Следующий за альбитизацией процесс грейзенизации приводит к дальнейшему замещению сподумена и других

литиевых минералов слюдами, а также к изменению поллудита. В результате при наличии соответствующих условий происходит существенный вынос из пегматитов щелочей — лития, калия, рубидия и цезия, с образованием вокруг пегматитов широких ореолов этих элементов. Наиболее благоприятными условиями для выноса редких щелочей из пегматитов являются следующие.

Отсутствие в пегматитах зональности, длительное развитие пегматитовых тел, многократное наложение процессов минералообразования, в частности альбитизации, что способствует сильной переработке пегматитов.

Высокое исходное содержание редких щелочей (лития, цезия) в пегматитах.

Состав вмещающих пород, способствующий вхождению редких щелочей в минералы этих пород. Наиболее благоприятные условия для выноса этих элементов создаются при залегании пегматитов в амфиболитах или амфиболовых сланцах. В этом случае литий легко входит в состав роговой обманки, образуя голынквистит, а цезий фиксируется во вновь образующемся биотите.

Наличие в пегматитах летучих — фтора и бора, совместно с которыми легко переносится цезий. Но при выносе этих летучих из пегматитов в них не создаются условия для интенсивного развития лепидолитизации.

Принципиально новым открытием последних лет является обнаружение в экзоконтактных зонах пегматитов при соблюдении указанных выше условий значительных концентраций цезия, более высоких, чем в самих пегматитах. Вокруг пегматитов развиваются биотитовые цезиеносные слюдиты, биотит которых содержит от 3—4 до 10% окиси цезия [8] и может рассматриваться как новый сырьевой источник цезия. Таким образом, в некоторых случаях рудными становятся не только сами пегматиты, но и экзоконтактные их оторочки, а также узкие прослои вмещающих амфиболовых пород, разделяющие серии сближенных ветвящихся пегматитовых тел.

Пегматиты, редкометалльные граниты и кварцевые рудные жилы

А. Е. Ферсман впервые обратил внимание на существование особых гранитов, содержащих мелкую вкрапленность рудных минералов, и многими своими особенностями сближающихся с пегматитами. Он назвал их «гранитами с неотделившимся пегматитовым остатком». Однако систематическое их изучение началось лишь только через 30 лет. В последние годы были выявлены подобные массивы, содержащие промышленную вкрапленность танталита. Подобные образования ныне известны под названием «апограниты» (по А. А. Беусу) или «редкометалльные граниты» [5]. Как показывает анализ фактического материала, между редкометалльными пегматитами и редкометалльными гранитами существует глубокое геохимическое сходство [7], заключающееся в следующем.

1. Редкометалльные граниты, так же как и пегматиты, появляются на конечных этапах становления гранитных интрузивных комплексов и характеризуются накоплением одних и тех же элементов — лития, руби-

дия, цезия, тантала, олова. Как пегматиты, так и граниты завершают фактически геохимическую эволюцию, присущую нормальному ряду дифференциации гранитной магмы.

2. Валовой состав пегматитов и редкометалльных гранитов в целом близок, анализы их занимают на диаграмме кварц—альбит—ортоклаз—вода единое поле, тяготеющее к линии котектических минимумов.

3. В строении редкометалльных гранитов наблюдается определенная вертикальная зональность, весьма близкая к той, которую можно проследить по вертикали в пегматитовых полях — от нижних зон гранитных массивов к верхним возрастает содержание лития, рубидия, тантала, ниобия, олова, в меньшей степени — бериллия, цезия и убывает содержание титана, циркония, тория, скандия, кальция, магния и железа; соответственно закономерно изменяются и индикаторные отношения элементов. По составу и парагенезису аксессуарных минералов существует известная аналогия в вертикальном разрезе между соответствующими зонами редкометалльных гранитов и полей пегматитов. Следует только учитывать, что степень концентрации редких элементов в пегматитах бывает значительно выше, чем в апикальных зонах гранитов.

4. Температурный диапазон формирования редкометалльных гранитов и пегматитов весьма близок.

5. У них наблюдается единая направленность и последовательность развития постмагматических процессов.

В то же время редкометалльные граниты и пегматиты отличаются друг от друга следующими особенностями.

Они формируются в различных условиях глубинности. Если редкометалльные пегматиты возникают на глубинах порядка 3,5—6 км, то массивы редкометалльных гранитов образуются в условиях меньших глубин (1,5—2,5 км).

Для них характерна различная насыщенность летучими — фтором и бором. Если для пегматитов весьма типичен бор, а фтором обогащены только лепидолитовые пегматиты, то массивы редкометалльных гранитов пересыщены фтором.

Помимо слюды, в них широко развит топаз, содержание которого может достигать 10—20%, бор же для них в целом не типичен. Высокая активность фтора обуславливает вынос из гранитных массивов бериллия, который локализуется обычно в надинтрузивных зонах, образуя там нередко промышленные концентрации. Из пегматитов же бериллий не выносится.

С редкометалльными гранитами пространственно и генетически связаны гидротермальные образования, несущие оловянно-вольфрамовое оруденение кварцево-жильной и грейзеновой формации. Поля таких жил уходят своими корнями обычно в апикальные части массивов редкометалльных гранитов и удаляются от них на 0,5—1,5 км. В отдельных случаях зоны развития грейзенов в гранитах непосредственно переходят в кварцевые жилы. В то же время редкометалльные пегматиты никогда в кварцевые рудные жилы не переходят.

Хотя по своему объему совокупность всех тел, слагающих пегматитовое поле (если их спрессовать), вполне сопоставима с объемом небольшого гранитного купола, термодинамический режим формирования каждого отдельного тела, так же как тепло- и массообмен в нем, иной, чем в куполе гранитного массива. Фракционная кристаллизация

малых объемов пегматитовых расплавов в условиях сравнительно низкой активности фтора приводит к прогрессивному накоплению редких элементов и летучих в центральных частях тел с возникновением типичной зональности, которая не наблюдается в массивах редкометалльных гранитов. Высокий потенциал редких элементов в центральных частях пегматитов обуславливает возникновение специфических минералов (поллуцит, петалит и др.), не встречаемых в гранитах.

Таким образом, редкометалльные граниты и пегматиты следует рассматривать как две ветви развития остаточных продуктов дифференциации гранитных магм, имеющих анхизвтектический состав и обогащенных летучими, но формирующихся в различных условиях глубинности. Если учесть, что с первыми всегда связаны кварцево-жильные и грейзеновые тела, то основная идея А. Е. Ферсмана о параллельном развитии остаточных расплавов, а также пневматолитов и рудных жил остается вполне обоснованной.

Результаты экспериментальных исследований последних лет

Многочисленные экспериментальные исследования системы гранит—вода при различных давлениях и с добавками разных компонентов, проведенные на протяжении последних 10—15 лет О. Таттлом, Н. Боуэном, Г. Кеннеди, Фон Платен, В. Люсом, К. Бернэмом, И. А. Островским, Н. И. Хитаровым, А. А. Кадиком, Б. Н. Мелентьевым и другими, позволили установить следующее.

1. Существовавшие в течение многих лет представления об ограниченной растворимости воды в силикатном гранитном расплаве, основанные на общеизвестных исследованиях Горансона, которые были положены в основу физико-химической модели пегматитового процесса, разработанной А. Н. Заварицким, оказались не совсем точными. При некоторых условиях вода может полностью, неограниченно смешиваться с силикатным расплавом. Такие условия осуществляются в двух случаях: при высоком давлении (более 9,7 *кбар*) и температуре 1080°С (Г. Кеннеди); при значительном содержании в силикатном расплаве щелочей, в частности, когда щелочи в расплаве преобладают над глиноземом (О. Таттл).

2. Добавка в системе значительного количества лития, так же как и фтора, приводит к снижению температуры плавления гранита. Так, при содержании 1% окиси лития температура плавления снижается до 550°, тем самым происходит сближение магматической и гидротермальной стадии процесса.

3. Добавки к системе галоидов щелочных металлов (в частности фторида лития и фторида натрия) обуславливают появление двух не смешивающихся жидкостей и отделение от силикатного расплава сосуществующей с ним весьма подвижной и легкоплавкой фторидной жидкости.

4. Давление, развиваемое в системе, определяется не только литостатической нагрузкой, но в первую очередь содержанием воды и летучих. Подобно тому как при синтезе минералов давление задается степенью заполнения автоклава, так и в природных системах летучие

компоненты в значительной степени определяют давление, при котором происходит кристаллизация расплава.

Указанные положения необходимо учитывать при рассмотрении пегматитовой системы. Согласно Джэнсу и Бернэму [21], в процессе кристаллизации гранитного расплава, обогащенного водой, начиная с температуры в 650° происходит отделение газовой фазы, далее до температуры порядка 500° сосуществуют расплав, газовая фаза и выделявшаяся твердая фаза, при этом газовая фаза по мере кристаллизации все более отжимается к центральной части тела. Далее кристаллизация происходит одновременно из расплава и из газовой фазы, при этом газовая фаза взаимодействует с уже образовавшейся твердой фазой, способствуя ее перекристаллизации. Вследствие возникновения температурного и концентрационного градиента между периферической и центральной частью тела происходит диффузия компонентов, что приводит к росту крупных кристаллов. Если исходный расплав был обогащен литием (содержание в пегматитах окиси лития достигает 1,5%), температуры кристаллизации будут резко снижаться. При значительном количестве щелочей и фтора от расплава будет отделяться не газовая фаза, а легкоплавкая жидкость, которая также будет взаимодействовать с ранее выделившейся твердой фазой.

Выводы

Новый материал ближе всего в целом отвечает идеям А. Е. Ферсмана с тем только добавлением, что пегматиты, встречающиеся в различных структурных этажах земной коры и находящиеся в разных геологических условиях, характеризуются своими специфическими генетическими особенностями. В частности, пегматиты, встречающиеся среди глубоко метаморфизованных толщ нижних структурных этажей, могут возникать путем выплавления из гнейсов при прогрессивном метаморфизме аналогично тому, как возникают анатектические граниты, существование которых никем не оспаривается.

Поэтому можно с известным основанием говорить о гетерогенной природе пегматитов. Что же касается основной массы пегматитов, формирующихся в условиях больших и средних глубин, то они явно представляют конечные дифференциаты гранитной магмы — остаточные расплавы. Формирование их может происходить в принципе в относительно замкнутой системе, что имеет место при развитии процесса в спокойных тектонических условиях.

Естественно, что на формировании тел существенным образом сказывается тектоническая история развития участка пегматитового поля, и если пегматиты приурочены к долгоживущим зонам разлома, то система будет периодически открываться. Весь накопленный и приведенный выше материал позволяет считать доказанными следующие положения.

1. В тектонические трещины внедряются магматические расплавы, и наиболее ранние среднезернистые и собственно графические пегматиты представляют собой магматические образования.

2. Основная масса графических пегматитов представляет собой результат эвтектической кристаллизации.

3. В зональных пегматитах формирование тел протекает от периферии к центру, так что внутренние зоны тел образуются позже внешних.

4. Пегматитовый процесс охватывает значительный температурный интервал — от 750 до 100° (для пегматитов малых глубин) или от 550 до 100° (для пегматитов больших глубин или пегматитов, содержащих высокую концентрацию лития и фтора).

5. Образование пегматитов представляет собой автономный процесс формирования остаточных расплавов, охватывающий три стадии: собственно магматическую, когда происходит кристаллизация из расплава; надкритическую, когда в основном развиваются процессы перекристаллизации, и минералы образуются из надкритического раствора; гидротермальную, на протяжении которой минералы возникают из водного раствора путем метасоматоза или отложения.

Особенностью пегматитов является возможность одновременного образования одних и тех же минералов разными путями, например, отложением (в центральных частях тел) и замещением (в периферических участках).

В различных типах пегматитов роль указанных трех стадий (магматической, надкритической, гидротермальной) может сильно варьировать. В то же время особого пегматитового процесса в физико-химическом понимании, сопоставимого, например, с магматическим или гидротермальным, не существует, он начинается как магматический и завершается как гидротермальный.

6. Процессы замещения, широко развитые в пегматитах, носят в целом аутометасоматический характер и осуществляются теми растворами, которые остаются после кристаллизации минералов из растворов.

7. В определенных интервалах температур образования пегматитов вследствие различного термического сжатия полевого шпата и кварца между зернами и кристаллами этих минералов возникают трещины, что способствует падению давления в системе и поступлению в эти трещины остаточных растворов (Долгов, 1963), вызывающих развитие метасоматических явлений.

8. Любые тектонические подвижки, происходящие в процессе формирования серии пегматитовых жил, образующих единое поле, приводят к раздроблению и брекчированию уже закристаллизовавшихся тел или отдельных их участков. В то же время они обуславливают резкое падение давления и вскипание еще сохранившегося на глубине остаточного расплава. Возникающий при этом надкритический раствор поступает в брекчированные участки вышерасположенных пегматитовых тел, вызывая развитие явлений перекристаллизации и метасоматоза. При быстром остывании, обусловленном резким падением давления, возникают мелкозернистые сахаровидные агрегаты.

Подобные явления могут происходить неоднократно, благодаря чему пегматитовые поля, приуроченные к долгоживущим тектоническим зонам, часто имеют весьма сложное строение, обусловленное многократными подвижками и поступлением с глубины новых порций растворов. В данном случае система периодически из замкнутой становится открытой, процессы замещения носят наложенный характер, но растворы, производящие замещение или перекристаллизацию, тесно генетически связаны с теми расплавами, которые дали начало незамещенным пегматитам.

Как следует из всего изложенного основные идеи А. Е. Ферсмана выдержали испытание временем, и даже более чем через 40 лет его книга о пегматитах является настольной книгой каждого исследователя этих замечательных образований.

Литература

1. Власов К. А. Генезис редкометалльных гранитных пегматитов.— Изв. АН СССР, серия геол., 1955, № 5.
2. Власов К. А. Принципы классификации гранитных пегматитов и их текстурно-парагенетические типы.— Изв. АН СССР, серия геол., 1961, № 1.
3. Гинзбург А. И. О некоторых группах гранитных пегматитов, образовавшихся в различных геологических условиях, и их оценке.— Разведка недр, 1952, № 2.
4. Гинзбург А. И. Минералого-геохимическая характеристика литиевых пегматитов.— Труды Мин. музея АН СССР, 1955, вып. 7, с. 12—55.
5. Гинзбург А. И. Проблемы редкометалльных гранитов.— В кн. «Редкометалльные граниты и проблемы магматической дифференциации», «Недра», 1972, с. 7—27.
6. Гинзбург А. И., Родионов Г. Г. О глубинах образования пегматитов.— Геол. рудн. месторожд., 1960, № 1.
7. Гинзбург А. И., Фельдман Л. Г. Геохимическая направленность процессов формирования редкометалльных гранитов и пегматитов.— В кн. «I Международный геохимический конгресс», т. III, кн. 2. М., 1972, с. 261—274.
8. Гинзбург А. И., Луговой Г. П., Рябенко В. Е. Цезиевые слюдиты — новый тип оруденения.— Разведка недр, 1972, № 8.
9. Долгов Ю. А. Термодинамические особенности генезиса камерных пегматитов.— В сб. «Материалы по генетической и экспериментальной минералогии», вып. 15, т. 1. Новосибирск, 1963.
10. Заварицкий А. Н. О пегматитах как образованиях промежуточных между изверженными горными породами и рудными жилами.— В кн. «Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях». Изд-во АН СССР, 1953, с. 79—92.
11. Мелентьев Г. Б., Делицын Л. М., Мелентьев Б. Н. Ликвация и ее значение в петрологии.— В кн. «Редкометалльные граниты и проблемы магматической дифференциации», «Недра», 1972, с. 253—285.
12. Назарова А. С., Родионов Г. Г., Тимофеев И. Н. Механизм образования пегматитовых тел.— Геол. месторожд. редких элементов, 1960, вып. 7.
13. Никитин В. Д. Пегматитовые месторождения.— В кн. «Генезис эндогенных рудных месторождений», «Недра», 1968, с. 84—151.
14. Осипов М. А. Механизм образования камерных пегматитов в интрузивах гранитоидов формации малых глубин.— В кн. «Редкометалльные граниты и проблемы магматической дифференциации», «Недра», 1972, с. 242—253.
15. Родионов Г. Г., Бушев А. Г., Калугин Е. Н. Особенности пегматитов, вызываемые условиями образования.— Геол. рудн. месторожд., 1972, № 6.
16. Родионов Г. Г., Калугин Е. Н., Балакина Л. И., Петрова Н. С. О природе и соотношениях графических и блоковых пегматитов.— Изв. АН СССР, серия геол., 1972, № 8.
17. Россовский Л. Н., Шостацкий А. Н. О типах поясов редкометалльных пегматитов.— Геол. рудн. месторожд., 1971, № 1.
18. Соколов Ю. М. Метаморфогенные мусковитовые пегматиты. «Недра», 1970.
19. Тимофеев И. Н. О методике детального геологического картирования гигантомигматитового типа слюдоносных пегматитов.— Разведка и охрана недр, 1958, № 7.
20. Шмакин Б. М. Гетерогенность и конвергентность мусковитовых пегматитов.— Изв. АН СССР, серия геол., 1967, № 7.
21. Jahus R. H., Burnham C. W. Experimental Studies of Pegmatite Genesis: I A Model for the Derivation and Crystallization of granitic Pegmatites.— Econ. Geol., 1969, N 8, p. 843—864.

Рост промышленного и комплексного использования природных минерализованных вод¹

Природные континентальные минерализованные воды² во всем их многообразии (поверхностные и подземные, межкристалльная рапа, салары и т. д.) давно уже освоены как источники не только поваренной соли, но и ряда других продуктов, в том числе брома и иода. Однако в последнее время появились новые важные тенденции в этой области — растут масштабы использования природных вод, в промышленность вовлекаются новые объекты и, самое главное, развивается и расширяется комплексное извлечение из них ряда других полезных компонентов.

Эти новые тенденции иллюстрируются ниже на примере некоторых зарубежных стран.

В США наиболее важными по добыче природных минеральных солей являются оз. Сёрлс, Силвер-Пик, Большое Соленое озеро и оз. Солтон-Си.

Оз. Сёрлс расположено в штате Калифорния. Относится к карбонатному гидрохимическому типу. Называется «озером» условно, так как фактически представляет собой плоскую поверхность безводной долины. В центральной части ее находится соляная залежь площадью около 30 км², в которой сосредоточено более 3 млрд. т различных солей. В первый период эксплуатации, которая ведется с конца XIX столетия, использовались твердые соляные образования озера; теперь они потеряли свое значение, и сырьем служат только межкристалльные рассолы верхнего и нижнего соляных пластов залежи.

Рассолы озера являются промышленным источником лития, бора, калия, фосфора, брома, соды и сульфата натрия [1].

В верхней рапе сосредоточены крупные запасы безводной буры, определяемые в 25 млн. т (или 17,4 млн. т В₂О₃). Считается, что в нижнем пласте они не меньше. Достоверные запасы калия в рапе оцениваются в 18 млн. т, но высказано мнение, что в действительности они значительно превышают эту цифру [5]. Несколько десятилетий назад запасы окиси лития в озере определялись в 81 тыс. т; теперь они, вероятно, уменьшились.

Эксплуатация рапы оз. Сёрлс осуществляется двумя компаниями: American Potash and Chemical Corp. (Ampot) на заводе в Троне и Stauffer Chemical Corp. на заводе в Уэстэнде. По данным 1966 г., общая стоимость продукции, производившаяся этими компаниями из рассолов, превышала 500 млн. долл в год.

Завод в Троне представляет собой крупный химический комбинат, производящий соду, сульфат натрия, хлорид калия, сульфат калия, бром

¹ В расширенном виде (10 а. л.) обзор на эту тему печатается в сборнике «Редкие элементы, сырье и экономика», ИМГРЭ, 1974, вып. 10.

² Вопросы использования минеральных компонентов морской воды здесь не рассматриваются.

и его соединения, очищенную буру, борную кислоту, пироборат натрия, фосфорную кислоту, карбонат лития и некоторые другие продукты. На переработку в сутки поступает около 13,5 тыс. м³ межкристальной рапы, откачиваемой из верхнего и нижнего пластов озера.

Сущность процесса комплексной переработки рассолов оз. Сёрлс на комбинате Amprot в г. Троне показана на схеме 1.

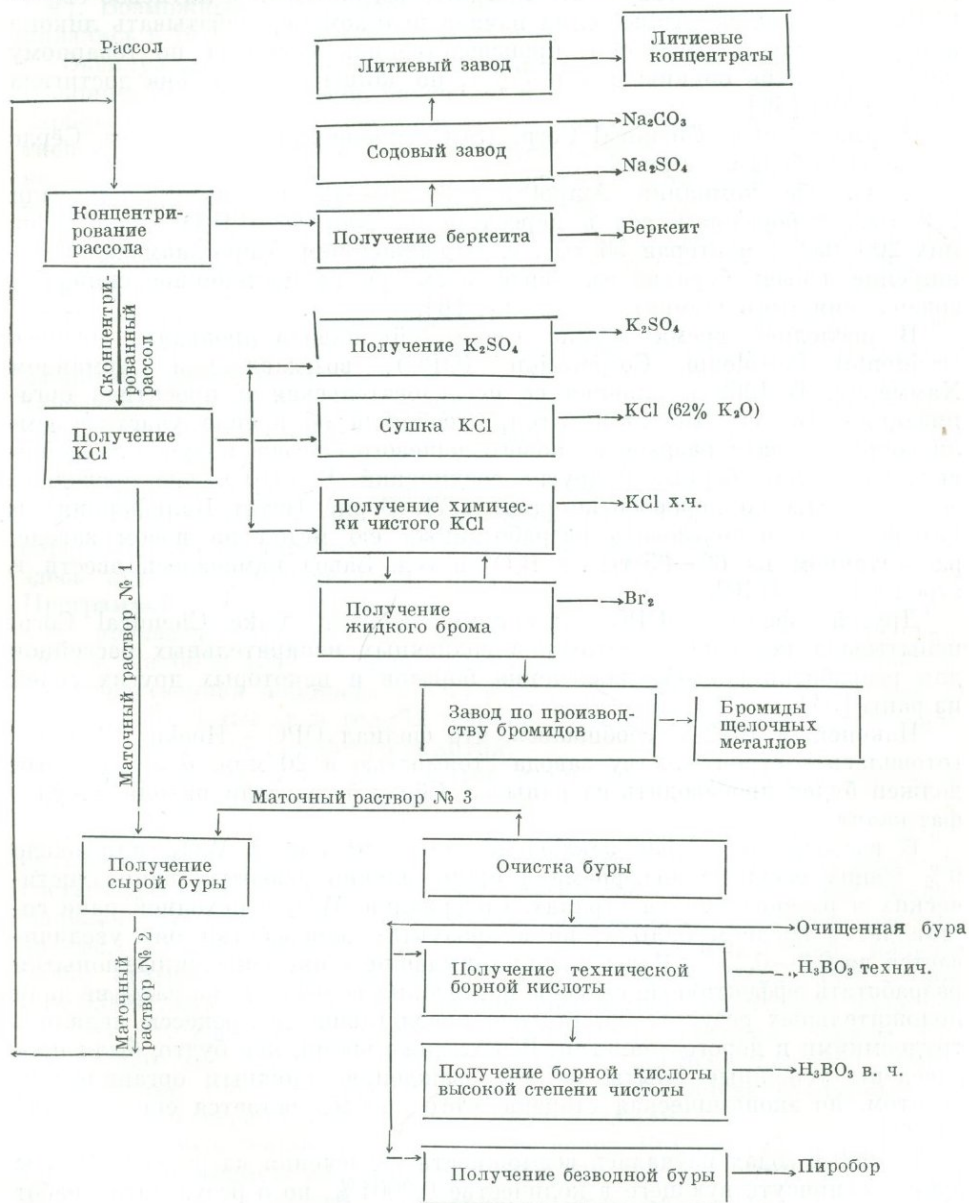


Схема 1. Технологическая схема комплексной переработки рассолов оз. Сёрлс, используемая фирмой American Potash and Chemical Corp.

Промышленное извлечение лития из рапы оз. Сёрлс на комбинате Трона началось в 1938 г. Вплоть до 1951 г. он получался в виде двойной соли — дилитийнатрийфосфата (Li_2NaPO_4), которая продавалась другим компаниям для дальнейшей переработки под названием «ликонц» (сокращенное от «литиевый концентрат»). Он содержал (в %): Li_2O 21 (от 20 до 22); P_2O_5 — 50; Na_2CO_3 — 17; Na_2SO_4 — 2; влаги — 2. По своему составу — это наиболее высокосортное литиевое сырье. С 1952 г. компания Amprot сама начала целиком перерабатывать ликонц в карбонат лития. В 1956 г. производственная мощность по товарному карбонату лития оценивалась в 770 т, по данным 1966 г. она достигала 1100 т в год [46].

Фирма Stauffer Chemical Corp. (SCC) производит из рапы оз. Сёрлс только соли бора и натрия.

Всего обе компании Amprot и SCC 10—12 лет назад извлекали 256 тыс. т боратов в год в пересчете на $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$: первая из них 200 тыс. т и вторая 56 тыс. т. В дальнейшем Amprot намечала расширение добычи бора из оз. Сёрлс, несмотря на постепенное снижение содержания этого элемента в рассолах [6].

В последнее время к рапе Сёрлс-Лейк начала проявлять интерес Occidental Petroleum Corporation (OPC), возглавляемая Арманом Хаммером. В 1968 г. главная ее исследовательская и проектная организация — Garrett Research Group сообщила об аренде участков земли вокруг озера и разработке нового дешевого способа получения калиевых, натриевых, борных и других соединений. В 1970 г. она проводила эксперименты по переработке рапы в Ла-Верне (штат Калифорния) и намеревалась использовать разработанный ею метод на новом заводе, рассчитанном на 60—65 тыс. т B_2O_3 в год. Завод намечалось ввести в строй в 1973 г. [10].

Другой филиал OPC — компания Searles Lake Chemical Corp. испытывала несколько прототипов солнечных испарительных бассейнов для разработки способа извлечения боратов и некоторых других солей из рапы [54].

Наконец, в 1972 г. сообщалось, что филиал OPC — Hooker Chemical готовилась к строительству завода стоимостью в 20 млн. долл., который должен будет производить из рапы оз. Сёрлс буру, соли натрия и сульфат калия.

В рассолах оз. Сёрлс заключено около 80 тыс. т WO_3 , или около 9% общих ресурсов вольфрама в промышленно развитых капиталистических и развивающихся странах. Содержание WO_3 в исходной рапе составляет в среднем 0,007%, но в продуктах переработки оно увеличивается до 0,2—0,25%. Ранее предпринимавшиеся многочисленные попытки разработать эффективные способы извлечения вольфрама из рапы не дали положительных результатов, так как предлагавшиеся процессы являлись трудоемкими и дорогостоящими. В последнее время, как будто, были произведены успешные опыты по его осаждению сложным органическим агентом, но экономическая сторона этого способа остается еще неясной [1, 22].

В 1960-х годах изучалась возможность извлечения из рапы оз. Сёрлс рубидия, присутствующего в количестве 0,0001%, но о результатах работ сведений нет.

Подземное оз. Силвер-Пик открыто в 1961 г., находится в штате

Невада, в бессточной впадине долины Клайтон, площадью 1500 км², представляющей ложе высохшего послеледникового озера. Состав рассолов (в %): натрия 6,2; калия 0,8; магния 0,04; лития 0,04; кальция 0,05; сульфат-иона 0,71; хлора 10,06. Обнаружены также рубидий и цезий, но цифры их содержания не сообщались. Рассолы отличаются высоким содержанием лития, в частности, оно в 5—6 раз выше, чем в оз. Сёрлс [51]. Возможные к извлечению запасы лития в расчете на металл оценивались в 1970 г. в 3,5 млн. т (=7,4 млн. т Li₂O) [26].

Эксплуатация оз. Силвер-Пик ведется компанией Foote Mineral Co. В конце 1965 г. ею были получены в опытном порядке первые тонны карбоната лития, а в июне 1966 г. налажен выпуск промышленной литиевой продукции. Вначале предприятие было рассчитано на 2,3 тыс. т карбоната лития в год, но затем в связи с ростом спроса на литиевую продукцию производственная мощность его одно время увеличивалась на 15—20% в год. В 1970 г. общая площадь, арендовавшаяся компанией Foote Mineral Co., составляла 162 км². Эксплуатировалось 30 скважин, расположенных на площади в 5,2 км² [51].

Исключительно высокое содержание хлористого лития в рапе Силвер-Пик позволило извлекать литий как единственный продукт, отбрасывая на первых порах магниевые и калиевые соли. В 1968 г. на заводе монтировались установки для попутного получения из рапы калия и силицинита. К 1970 г. предполагалось также извлекать соду и окись магния. Таким образом, производство становилось комплексным.

К 1970 г. на долю Силвер-Пик приходилось около 25% общего количества карбоната лития, производившегося в США. В связи с ростом спроса на это соединение осуществлялись мероприятия по расширению здесь литиевого производства, рассчитанные на окончание в 1971 г. Программой предусматривалось бурение 20 новых скважин, в результате чего производительность предприятия должна была возрасти к концу 1970 г. на 60% [51]. Можно предполагать, что к настоящему времени производственная мощность завода в Силвер-Пик по карбонату лития достигла в 6—8 тыс. т в год. В течение 1970 г. намечалось также наладить выпуск хлорида и фторида лития.

В США рассолы оз. Силвер-Пик стали таким же важным источником лития, как сподуменовые руды.

Большое Соленое озеро (БСО) находится в штате Юта, относится к сульфатному гидрохимическому типу. Площадь его водной поверхности составляла в 1969 г. 2470 км², по другим данным — 2340 км²; максимальная глубина — 8,24 м, по другим данным — 15 м. Состав рассолов (в вес. %): натрия 7; калия 0,4; магния 0,8; лития 0,006; кальция 0,003; сульфат-иона 1,5; хлора 14; брома 0,0086; бора 0,003; стронция 0,0002; сумма солей 23,7. Среднее абсолютное содержание иода равно 0,41 г/т. Указывалось также на присутствие рубидия. Запасы NaCl составляют 3,2 млрд. т, MgCl₂ 630 млн. т, Na₂SO₄ 450—540 млн. т, солей калия 108—180 млн. т и LiCl 4 млн. т. Общая стоимость всех компонентов озера оценивается в 75 млрд. долл [19, 41].

Для промышленной переработки рассолов БСО в 1967 г. компания Lithium Corporation of America (LCA) и фирма ФРГ Salzdetfurth A.G. создали совместную компанию — Great Salt Lake Minerals and Chemical Corp. (GSL). Разработанным последней проектом предусматривалось годовое производство (в тыс. т): K₂SO₄ 218; Na₂SO₄ 136;

$MgCl_2$ 455 (по другим данным более 544); $LiCl$ 4,5; Br 2,3, а также значительных количеств $NaCl$. Для получения этих продуктов намечалось перерабатывать примерно 2,3 млн. т сырых солей в год [19, 40, 53]. Технологическая схема переработки рапы БСО показана на схеме 2.

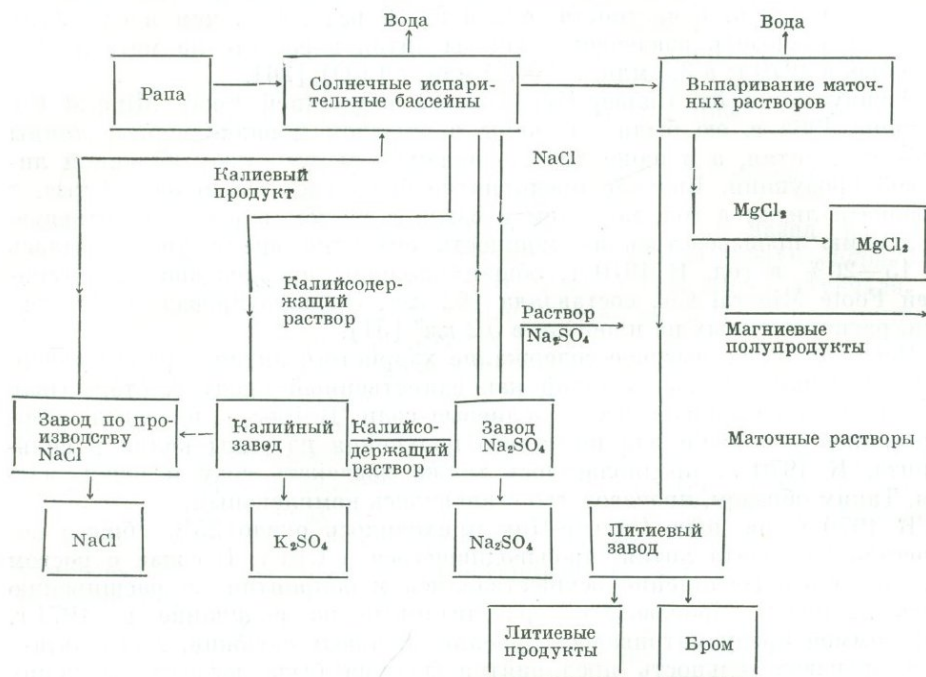


Схема 2. Извлечение химических продуктов из рапы Большого Соленого озера.

Компании *GSL* и *Dow Chemical Co.* строили завод около г. Огдена по производству 180 тыс. т в год безводного хлорида магния из рапы, сконцентрированной до содержания 32% $MgCl_2$. В свою очередь безводный $MgCl_2$ должен был служить исходным сырьем для производства 44 тыс. т металлического магния и 90 тыс. т хлора в год на заводе, который фирма *Dow Chemical Co.* намеревалась ввести в строй в 1971 г. в Даллеспорте (штат Вашингтон) [30]. Однако позднее пуск этого завода был отложен до 1975 г.

Компания *GSL* предполагала частично вывозить хлорид магния в Японию, где он будет служить исходным сырьем для магниевого завода годовой мощностью 18 тыс. т металла, сооружаемого фирмой *Mitsubishi Chemical Co.* совместно с фирмой *Dow Chemical Co.* [29].

В 1968 г. было завершено строительство опытной установки для извлечения хлорида лития из маточных растворов, остающихся после выделения хлорида магния, а в 1970 г. заканчивалось проектирование литиевого и бромного заводов в районе Литл-Маунтин. Стоимость литиевого завода определялась в 4 млн. долл [16]. Впоследствии фирма *GSL* отказалась от организации попутного извлечения солей лития из рапы

БСО, поскольку в США расширялась добыча сподумена. Надо считать, что этот отказ несомненно имеет временный характер.

В конце 1970 г. было закончено строительство химического комплекса компании GSL в г. Огдене и в начале 1971 г. выдана первая промышленная партия сульфата калия. Общая стоимость его составила 30 млн. *долл.* Выпуск всего запланированного ассортимента солей предполагалось начать в конце 1971 г. [33]. Однако эти планы не были реализованы. Производство сульфата калия в 1971 г. составило лишь 25% от намеченного уровня.

Промышленной переработкой рапы БСО занимается также компания N. L. Industries, ранее называвшаяся National Lead Co. В 1968 г. она объявила о намерении построить в 1973 г. магниевый завод мощностью 41 тыс. *т* металла в год в Роули, на юго-западном берегу БСО. Кроме того, намечалось производить ежегодно 73 тыс. *т* жидкого хлора, 368 тыс. *т* хлорида магния, 45 тыс. *т* гипса, 41 тыс. *т* карналлита, 288 тыс. *т* хлорида и сульфата калия и 454 *т* соединений лития, а также окись магния и сульфат натрия. Общая стоимость химического комплекса определялась в 70 млн. *долл.* Считалось, что в результате ввода в действие указанного предприятия выпуск металлического магния в США возрастает более чем на одну треть [39, 44, 49].

К весне 1970 г. в испарительных бассейнах компании было накоплено уже 544 тыс. *т* рассола с содержанием 26% $MgCl_2$. Дальнейшая концентрация рассола, которая должна осуществляться путем сушки и плавки, обеспечивает получение продукта с содержанием (вес. %): $MgCl_2$ — 91,6; KCl — 1,1; $NaCl$ — 1,8; $CaCl_2$ — 3,4; $LiCl$ — 1,8; MgO — 0,3. Затем он подвергается электролизу с получением магния и хлора.

По самым последним данным компания N.L. Industries испытывает большие затруднения с пуском магниевого завода в Роули, главным образом в связи со значительным уменьшением содержания соли (с 24 до 14%) в рапе южной части озера после строительства дамбы Южно-Тихоокеанской ж. д. [27].

Интерес к ресурсам БСО проявляли, кроме того, Aluminium Company of America (Alcoa), American Magnesium Co., Austrial Oil Co., Harwey Aluminium, Inc., Hazen Research Inc., Golden, Colo., Homestead Mineral Corp., Intermountain Chemical Corp., Kaiser Aluminium and Chemical Corp. и разные другие компании.

Долина Империял (штат Калифорния). Зимой 1961—1962 гг. глубокой скважиной юго-восточнее оз. Солтон-Си были вскрыты своеобразные термальные рассолы хлоридного гидрохимического типа, представляющие собой паро-водяную смесь с минерализацией более 400 *г/л* и температурой свыше 270° С. Рассолы состоят из 70% пара и 30% твердых веществ. Площадь их распространения измеряется многими квадратными милями¹ [13]. Среди месторождений подобного типа рассолы Солтон-Си выделяются необычайно высокими концентрациями различных макро- и микрокомпонентов. В частности, в них определены высокие содержания натрия, кальция, калия, лития и многих тяжелых металлов. Найдены также рубидий и цезий в количестве 168 и 22 частей на миллион, соответственно.

¹ 1 кв. миля = 2,59 км².

Полуколичественным спектральным анализом в темном осадке, отобранном из дренажной трубы примерно в 30 м от места разлива воды в ходе трехмесячной опытной откачки, отмечалось присутствие значительных концентраций таких элементов, как серебро, медь, мышьяк, бор, бериллий, висмут, галлий, свинец и сурьма.

Промышленное освоение месторождения Солтон-Си началось в 1964 г., когда основным разработчиком его стала компания Morton International. Вместе со своим партнером — объединенной фирмой O'Neill Ashmun and Hillard of Midlans, Тех. — она приступила к строительству опытного химического завода и теплоэлектростанции. Внимание было прежде всего сконцентрировано на возможности использования гидротермальных рассолов в энергетических целях и на извлечении KCl (содержание его в рассолах достигает 4%). Предполагалось также получение NaCl и CaCl₂. К осени 1964 г. на месторождении было пробурено шесть скважин, производительность каждой более 2000 т пара в сутки. Одна из скважин могла давать 2080 т солей в сутки, в том числе 1120 т NaCl, 636 т CaCl₂ и 324 т KCl [32, 42].

В 1967 г. компанией Morton International были введены в действие опытный завод по извлечению хлорида калия стоимостью 2,5 млн. долл и энергетические опытные турбогенераторы мощностью 1500 квт. После завершения опытных работ компания намеревалась построить завод мощностью 500 тыс. т KCl в год и теплоэлектростанцию мощностью около 60 000 квт. Новое строительство должно было проходить поэтапно. В 1968 г. намечалось начать строительство первой установки по производству NaCl и CaCl₂. На втором этапе должны извлекаться KCl и производиться безводный CaCl₂. На последней стадии для повышения рентабельности производства имелось в виду организовать получение марганца, лития и некоторых других продуктов. С этой целью проводились соответствующие исследования в лабораторных условиях.

По данным 1972 г. компании Southern Pacific Land Co., Phillips Petroleum Co. и Southern California Edison Co. заключили соглашение о совместной эксплуатации геотермальных полей Бутса (Buttes) в Долине Империял. Первоначальной целью является производство электроэнергии; в дальнейшем предполагается наладить также получение из рассолов различных минеральных компонентов. Компании Southern Pacific Land принадлежит участок площадью 120 км² в юго-восточной части оз. Солтон-Си, близ Ниланда [20].

Недавно проведено детальное изучение энергетических ресурсов месторождения Солтон-Си и технологической возможности комплексной переработки его рассолов. Потенциальные запасы геотермической энергии месторождения определены минимум в 20 000—30 000 Мвт, что обеспечивает ежегодное получение 500 Мвт энергии в течение более 50 лет [50].

Среди других месторождений природных рассолов США, имеющих практическое значение, следует назвать озера Бонвилл (штат Юта), Бристоль (штат Калифорния) и Снайдер (штат Техас). Рапа месторождения Снайдер отличается исключительно высоким содержанием хлорида магния, порядка 11%. На базе ее фирмой American Magnesium Co. в 1969 г. построен завод по производству металлического магния (мощность 18 тыс. т в год) и хлора. В настоящее время завод временно остановлен по требованию санитарного контроля штата Техас [21].

Таблица

Содержание химических элементов в рассолах, ассоциируемых с нефтями в континентальных штатах США (кроме Аляски), в частях на миллион *

Возраст водоносной формации	Li	Na	K	Mg	Ca	Sr	B	SO ₄ ⁻	Cl	Br	J
Миссисипская система (нижний карбон)	10	28 000	40	10 000	60 000	3000	40	400	179 000	3200	40
Пермь	30	100	1 000	25 000	100	5	...	20 000	9 000	...	...
»	40	55 000	2 500	9 000	30 000	...	90	400	166 000	1200	25
Девон	100	66 000	10 000	5 000	40 000	2000	...	100	198 000	700	20
Кембрий	...	8 000	...	11 000	20 000	...	...	350	79 000	...	...
Пенсильванская система (средний и верхний карбон)	5	51 000	1 000	600	10 000	1000	10	30	98 000	600	1000
Юра	100	68 000	4 000	5 000	30 000	...	...	60	175 000	5000	10
Мiocен	15	73 000	600	6 000	30 000	...	60	60	184 000	200	20
Девон	25	74 000	700	5 000	30 000	900	...	600	182 000	2000	40
»	60	14 000	8 000	15 000	70 000	1500	300	400	200 000	2500	40
Миссисипская система	...	16 000	9 000	11 000	14 000	800	...	20	90 000	1500	40
Девон	10	58 000	3 000	5 000	20 000	1000	...	60	143 000	1300	30
»	90	72 000	2 000	4 000	35 000	...	...	4	186 000	1800	20

Три точки (...) означают, что определение элемента не производилось.

*

Оз. Бонвилл служит источником получения солей калия и оз. Бристоль — хлорида кальция.

Подземные высокоминерализованные воды являются в США главным сырьевым источником иода и важным источником брома. В калийных солях, извлекаемых из таких рассолов в штате Мичиган, определен рубидий. Его содержание в промышленном хлориде калия составляет примерно 0,05%.

В качестве промышленного сырья на бром и иод в США давно уже используются также *буровые нефтяные воды*. Произведенный в 1967 г. анализ 106 образцов вод нефтеносных районов показал, что содержание брома в них колеблется в пределах от 0,002 до 0,3%. Максимальная концентрация иода (580 мг/л) установлена в рассолах нефтегазозного района Северной Оклахомы. В 1968 г. в штате Арканзас из буровых нефтяных вод бром извлекался на четырех заводах компаний Arkansas Chemicals, Inc., Great Lakes Chemicals Corp., Dow Chemical Co., Michigan Chemical Corp. Две последние фирмы извлекали также иод [47].

В последнее время большое внимание привлечено в США к буровым водам нефтяных месторождений как возможному источнику разных других элементов, в том числе редких.

По данным 1966 г., ежегодно при бурении на нефть на поверхность территории США выносилось около 105 млн. т различных солей, таких как хлорид, сульфат, бикарбонат, бромид, иодид натрия, и аналогичные соли лития, калия, кальция, магния, стронция, бария, бора, железа, марганца и др. Подсчитано, что при добыче одного галлона (=3,7854 л) сырой нефти получают два галлона воды с содержанием 100 000 мг/л растворенных солей [24]. По данным 1970 г., выброс буровых вод на поверхность составлял уже 1230 млн. м³, т. е. на 280 млн. м³ больше, чем в 1967 г. Химический состав рассолов некоторых нефтяных районов США приводится в таблице. Установлено, что в нефти, природных газах и рассолах нефтеносного поля Цимрик, расположенного в округе Керн, в Калифорнии, присутствует самородная ртуть [13].

Приводятся следующие данные о сравнительном содержании некоторых химических элементов в морской воде и буровых водах (мг/л): Na 10 600 и 12 000—150 000; K 380 и 30—4000; Li 0,2 и 1—50; Rb 0,12 и 0,1—7; Cs 0,0005 и 0,01—3; Sr 8 и 5—5000; Br 65 и 50—5000; J 0,05—1—300. Они свидетельствуют о том, что в буровых водах концентрация элементов, в особенности стронция, лития, цезия, рубидия, намного выше, чем в морской воде [25].

На схеме 3 представлена предлагаемая технологическая схема комплексной переработки буровых вод. Она предусматривает извлечение всех полезных компонентов и одновременное получение очищенной пресной воды.

Особенно подчеркивается значение проблемы утилизации буровых вод в связи с охраной окружающей среды — предотвращением загрязнений почвы и поверхностной воды. Учитывается и экономия на расходах по сбросу, транспортировке и захоронению или очистке этих буровых вод. Отмечается, что при извлечении из буровых вод только четырех компонентов — брома, иода, магния и лития — даже по варианту минимальных их содержаний стоимость продукции может составить 1,5 млрд. долл в год; если же учесть получение рубидия, цезия, калия и хлора, то она превысит 3 млрд. долл в год.

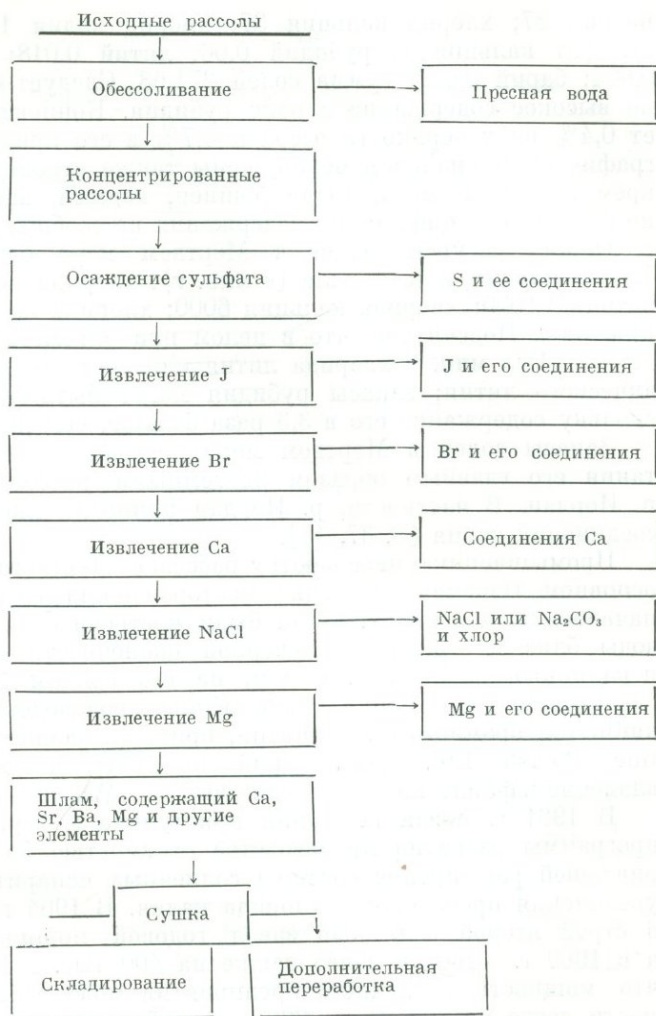


Схема 3. Извлечение различных химических компонентов из рассолов, ассоциирующихся с нефтями.

В 1965 г. сообщалось о разработке метода определения менее $0,01 \text{ мг/л}$ цезия и рубидия в нефтяных водах [25].

За пределами США богатейшим арсеналом различных химических элементов является Мертвое море, находящееся на территории Израиля и Иордании.

Мертвое море принадлежит к хлоридному гидрохимическому типу и представляет собой огромное бессточное озеро, расположенное в зоне Великих Афро-Азиатских грабенов, в области молодого тектоно-магматизма. Площадь его водной поверхности составляет $940\text{--}1000 \text{ км}^2$, глубина 395 м , объем воды 136 км^3 (по другим данным — 143 и 159 км^3). Рассолы имеют следующий состав (в г/л): хлорид магния 130; хлорид

натрия 87; хлорид кальция 37; хлорид калия 11,5; бромид магния 5; сульфат кальция 1; рубидий 0,06; литий 0,018; бор 0,022; марганец 0,004; барий 0,022; сумма солей 271,63. Следует отметить исключительно высокое содержание в рапе рубидия. Концентрация брома составляет 0,4% на поверхности озера и 0,7% в его придонных слоях. Спектрографическим анализом обнаружены также стронций, алюминий, железо, кремний, хром, медь, титан, свинец, кадмий, ванадий, цезий, кобальт, по конкретным цифр об их содержании не сообщалось [18].

Общие ресурсы солей в Мертвом море огромные и превышают 42—43 млрд. т, в том числе (в млн. т): хлорида магния 22 000; хлорида натрия 12 000; хлорида кальция 6000; хлорида калия 2000; бромида магния 1000. Подсчитано, что в целом при объеме воды в 159 км³ оно содержит 17,5 млн. т хлорида лития или соответственно 2,9 млн. т металлического лития; запасы рубидия могут быть оценены в 9,6 млн. т, поскольку содержание его в 3,3 раза больше, чем лития.

Запасы солей в Мертвом море постоянно пополняются за счет питания его главным образом подземными рассолами, а также водами р. Иордан. В частности, р. Иордан приносит ежегодно около 40 тыс. т соединений калия [5, 37, 45].

Промышленную переработку рассолов Мертвого моря осуществляет в основном Израиль. Освоение месторождения на промышленной основе началось в 30-х годах, когда были построены калийный и бромный заводы близ г. Эриха, на северной оконечности моря (1930—1931 гг.) и калийный завод у г. Содом, на его южном берегу (1937 г.). В последующем происходило наращивание производственных мощностей калийных и бромного предприятий, принадлежавших вначале фирме Palestine Potash Ltd. (английский капитал), а затем перешедших во владение израильской компании Dead Sea Works Ltd.

В 1961 г. новая компания приступила к осуществлению обширной программы развития производства стоимостью 75 млн. долл., предусматривавшей расширение системы солнечных испарительных бассейнов для увеличения производства хлорида калия. В 1964 г. в Содоме был введен в строй второй калийный завод годовой мощностью 400 тыс. т KCl, а в 1969 г. — третий завод также на 400 тыс. т KCl в год. Отмечалось, что мощность последнего предприятия может быть в случае необходимости легко увеличена на 200 тыс. т без существенных дополнительных затрат. В результате этих мероприятий, осуществлявшихся в 1969 г., производство солей калия в Израиле должно было возрасти до 1 млн. т в 1970 г. и 1,2 млн. т в 1971 г. [28, 45].

Маточные растворы, остающиеся после извлечения хлорида калия, перерабатываются на бром. В 1968 г. производительность бромного завода компании Dead Sea Works Ltd. составила 8 тыс. т, в 1971/72 ф. г. она возросла до 13,5 тыс. т. Филиал этой компании Bromine Compounds Ltd. производит соединения брома, в частности метилбромид, этиленбромид.

Большая часть производимой из рапы Мертвого моря калийной и бромной продукции (схема 4) экспортируется, преимущественно в страны Западной Европы. В 1968/69 ф. г. экспорт хлорида калия из Израиля в стоимостном выражении составил 14,5 млн. долл.; в 1970/71 ф. г. он должен был возрасти до 25 млн. долл. В 1971/72 ф. г. экспорт брома и его соединений выразился цифрой 2,8 млн. долл.

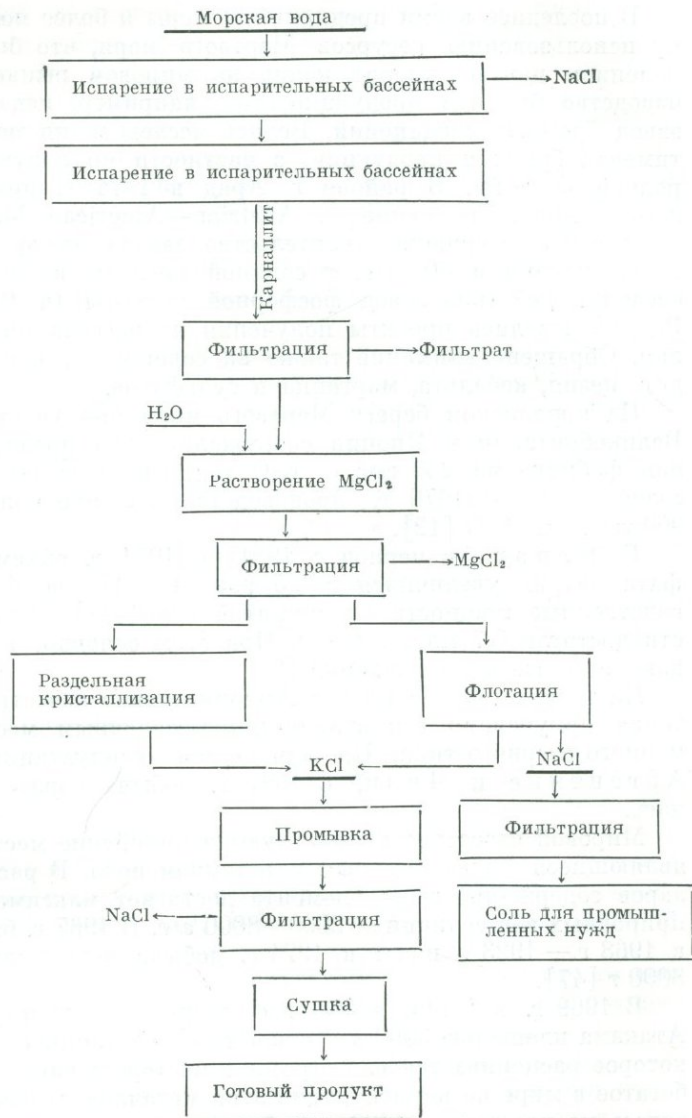


Схема 4. Технологическая схема переработки рассолов Мертвого моря

Работы по извлечению редких металлов из рапы Мертвого моря имели лишь экспериментальный характер. Фирмой Palestine Potash Ltd. предпринимались попытки выделить рубидий, однако промышленной реализации они не получили.

К 1963 г. компания Dead Sea Works Ltd. разработала метод извлечения лития из рассолов Мертвого моря, который был признан экономически эффективным, но о реализации его пока никаких сообщений нет.

В последнее время предприняты меры к более полному и комплексному использованию ресурсов Мертвого моря, что было вызвано вначале падением цен на хлорид калия на мировом рынке. Расширилось производство бромной продукции, так, например, недавно построен новый завод бромных соединений. Велись исследования по расширению ассортимента бромной продукции, в частности по получению бромисто-водородной кислоты. В районе г. Арад в 1971 г. при участии иностранного химического концерна Austrian—American Magnesite Co. должно было быть завершено строительство завода по производству 46 тыс. *t* окиси магния и 40 тыс. *t* соляной кислоты в год. Здесь же недавно введен в действие завод фосфорной кислоты (в 1971 г.—166 тыс. *t*). Разрабатывались проекты получения из рассола нитрата и фосфата калия. Обращено внимание также на содержание в рассолах лития, рубидия, цезия, кобальта, марганца и сульфатов.

На иорданском берегу Мертвого моря при участии капиталов США, Великобритании и Японии сооружались два предприятия: обогатительная фабрика на 250 тыс. *t* K_2O в год и завод на 500 тыс. *t* калийных солей в год; к 1970 г. производство их предполагалось довести до 900 тыс. *t* по K_2O [12].

В Канаде в период с 1951 по 1971 г. объем производства сульфата натрия увеличился в 2,5 раза (со 178 до 435 тыс. *t*) и производственные мощности предприятий сульфатно-натриевой промышленности достигли 0,7 млн. *t* в год. При этом основное количество продукции дают озерные месторождения [9].

На территории Латинской Америки давно известны борные месторождения, приуроченные к вулканогенно-осадочным месторождениям современного озерного типа. Промышленная эксплуатация их велась лишь в Аргентине и Чили, с 1967 г. добыча боратов в Чили прекратилась.

Мировой известностью пользуются чилийские месторождения селитры, являющиеся также крупным источником пода. В рассолах чилийских саляров содержание этого элемента достигает максимально известных для природных вод величин — 2000—8000 г/*t*. В 1967 г. было получено 2216 *t*, в 1968 г.—1923 *t* иода; в 1974 г. добыча иода должна была составить 3000 *t* [47].

В 1969 г. в Чили, в 800 км севернее Сантьяго, в пределах сalara Атакама площадью 3000 км² открыто новое крупное месторождение рапы, которое расценивается как огромное месторождение калия и лития, самое богатое в мире по концентрации этих металлов. В начале 1970 г. разведка велась на площади в 1400 км², бурение было проведено на глубину 30 м. Предварительные подсчеты показали, что запасы калия (по другим данным — солей калия) равняются 12 млн. *t* при содержании 2% в рапе и лития — 1,2 млн. *t* при концентрации 0,2% (по другим данным 0,2% Li_2O). Для сравнения отметим, что содержание этих металлов составляет соответственно в оз. Сёрлс 2,6 и 0,009% и в Силвер-Пик 1,0 и 0,04%, а лития в Мертвом море — 0,002% [23].

В водах термального поля Эль-Татио определен цезий в количестве 15 мг/л.

В 1961 г. в Перу были обнаружены огромные запасы фосфоритов и калиевых рассолов около г. Чиклайо, в районе пустыни Сечура (департамент Пьюра), расположенном на побережье Тихого океана и

представляющем собой обширную впадину, заполненную третичными морскими отложениями. Общие подсчитанные запасы фосфатной руды со средним содержанием 8% P_2O_5 оцениваются в 38 млрд. т. В рассолах заключено также 48 млн. т хлорида магния и 15 млн. т сульфата магния. Анализами установлено содержание 0,7% KCl, причем в условиях естественного выпаривания оно повышается до 4,75%. Отмечалась повышенная литиенность рассолов, но конкретных данных о содержании лития не сообщалось. Кроме того, в рассолах обнаружены значительные концентрации соды, брома и других полезных компонентов. Разработка месторождения Сечура осуществляется перуанской компанией *Minega Bayovar S.A.*, филиалом американской фирмы *Kaiser Aluminium and Chemical Corp.*

Одним из проектов, рассчитанных на пять лет, предусматривалось, что отгрузка хлорида натрия в размере 1 млн. т начнется в середине третьего года, после начала строительства, а производство 1,8 млн. т фосфатной продукции и 180 тыс. т хлорида калия — в течение четвертого года. В дальнейшем предполагалось организовать также производство солей магния [39]. По данным 1974 г. на базе месторождения Сечура намечается ежегодное производство 2 млн. т фосфатных концентратов, 485 тыс. т фосфорной кислоты, 200 тыс. т суперфосфата, 200 тыс. т фосфата аммония, 200 тыс. т хлорида калия и 2 млн. т хлорида натрия.

В Мексике компания *Quimica del Rey S. A.* в 1972 г. сообщила о намерении расширить производство окиси магния из рассолов с 35 до 50 тыс. т в год.

В Исландии, на юго-западной оконечности острова, в районе мыса Рейкьянес в 1969 г. были обнаружены большие ресурсы геотермических рассолов и паров. Считается, что на их базе можно в ближайшее время организовать производство 250 тыс. т NaCl, 58 тыс. т $CaCl_2$, 25 тыс. т KCl, 700 т брома и 500 т солей лития в год. Намечалось также производство металлического натрия. Стоимость проекта — 13 млн. долл. Этот комплекс предполагается кооперировать с производством из морской воды окиси магния. Другим проектом предусматривается организация извлечения, кроме указанных выше солей, 107 тыс. т $MgCl_2$. Общая стоимость строительства определяется в 26 млн. долл.

По технологии, разработанной Национальным исследовательским советом Исландии, переработка рассолов и морской воды должна осуществляться в три этапа. На первом этапе путем испарения с помощью геотермального пара получают поваренную соль, хлорид калия, хлорид кальция, бром и соединения лития. На втором этапе осуществляется производство хлорида магния из морской воды с последующим восстановлением его до металлического магния. В данном процессе предполагается использовать геотермальный пар в сочетании с ионным обменом; при этом в качестве побочного продукта будет получаться кальцинированная сода. На третьем этапе путем электролитической диссоциации поваренной соли намечается получение каустической соды, хлора, водорода, соляной кислоты, хлората натрия, а также различных хлорированных углеводородов, в частности винилхлорида, этилендихлорида и поливинилхлорида [35].

В Исландии насчитывается около 7000 источников горячей и теплой воды с очень значительными запасами геотермической энергии. В подземных парах обнаружены значительные концентрации тяжелой воды.

Организация ее производства будет зависеть от нахождения возможностей сбыта.

В течение многих десятилетий промышленное использование природных минерализованных вод осуществляется в Италии. На территории этой страны они представлены многочисленными горячими борсодержащими источниками (соффиони), наиболее распространенными в провинции Тоскана. Италия исторически является первой страной в мире, освоившей в промышленных масштабах соффиони комплексно как источник энергии и минерального сырья. По данным 1965 г. суммарный дебит скважин тосканских парогидротермальных месторождений составлял около 3000 т пара в год, причем 90% его приходилось на месторождения Лардарелло и Каstellуово. В 1969 г. в Италии действовало 16 геотермальных электростанций общей мощностью более 380 тыс. кВт. Наиболее крупной из них является Лардарелло-3 мощностью 120 тыс. кВт [4].

Кроме борной кислоты, присутствующей в количестве 0,1—0,7%, пары и воды источников содержат двуокись углерода, сероводород, метан, аммиак, гелий, аргон и неон. Из них извлекаются борные, аммиачные и углекислые продукты. В последние годы из парогидротерм Тосканы добывалось до 15 тыс. т в год различного химического сырья, в том числе 4400 т борной кислоты, 4000—5000 т буры, 620 т хлористого аммония [4]. Иод извлекается с 1962 г. из подземных минеральных источников в Сальсомаджоре, где максимальная концентрация его достигает 550 мг/л [7]. Одно время предпринимались попытки извлекать литий из вод Сальсомаджоре, но промышленное получение его так и не было налажено.

В последнее время много внимания уделяется изучению впадин с горячими рассолами (до 56°С) акватории *Красного моря*, обнаруженных в 1960-х годах американскими исследователями. Химический анализ вод, взятых на глубинах 2200 м, показал, что они содержат цинк, медь, свинец, кобальт и ряд драгоценных металлов в концентрациях, достаточных для промышленного использования. В придонных осадках впадин выделены слои железистого монтмориллонита, аморфного гёгита, сульфидов, мангансидерита, ангидрита и манганита, с содержанием окислов железа до 67%, марганца до 35,5%, цинка до 12% и меди до 4,5%. Общая стоимость микрокомпонентов, заключенных в природных осадках и рассолах Красного моря, оценивается в 2,5 млрд. долл. Разработана технология извлечения металлов из иловых отложений этого моря [34].

В Китайской Народной Республике в концентрированных рассолах соляных озер Цайдамской впадины (провинция Цинхай) обнаружены значительные количества калия (25 млн. т), магния, бора, лития и других редких элементов, в соляных отложениях — определены крупные запасы бора, сульфата и хлорида натрия, калийных и магниевых солей. На базе некоторых из них уже действуют промышленные предприятия по добыче буры и калийных солей [5].

В Японии во многих горячих источниках установлено присутствие германия. Наиболее высокое его содержание в 170 мг/л определено в воде горячих источников Дзюман в префектуре Беппу. Разработан метод извлечения германия из минерализованных вод с помощью анионообменной смолы. Подземные минерализованные воды являются единственным источником иода в Японии. По размерам производства этого элемента она в последнее время вышла на первое место среди капиталистических и

развивающихся стран: в 1967 г.— 2910 т, в 1968 г.— 3590 т, в 1969 г.— 4632 т, в 1970 г.— 5905 т, в 1971 г.— 6478 т. Из паров горячих источников в Тоетоми на о-ве Хоккайдо в небольших объемах извлекается борная кислота. На базе термальных вод и перегретого пара близ г. Мориока, в префектуре Ивате, строилась крупная геотермическая станция, мощность которой в 1970 г. должна была составить 60 тыс. кВт [47].

В Новой Зеландии обнаружены повышенные концентрации лития, рубидия и цезия в буровых скважинах гидротермального поля Вайракей, равные соответственно 1,8—16,4; 0,5—3,3 и 0,7—2,9 мг/л. Особенно подчеркивалось высокое содержание цезия в Токаану (4,7 мг/л) и отмечалось, что в связи с ростом значения этого элемента в ближайшем будущем подземные воды области, вероятно, приобретут промышленное значение [15]. Извлечение микрокомпонентов из термальных вод Вайракея предполагалось проводить концентрированием вод с помощью электродиализа и выпариванием.

В Вайракее действует одна из крупнейших за рубежом геотермических электростанций мощностью 190 Мвт.

Литий, рубидий и цезий определены также во многих пробах воды и пара, выделяющихся из скважин и источников Каверау — второго термального района Новой Зеландии.

В Индии изучалась возможность извлечения лития из соленосных отложений сухого оз. Пага-Валли и рапы оз. Самбхар в процессе их переработки на буру [38].

Заключение

Из изложенных материалов вытекает ряд выводов и предложений.

1. В последние годы промышленное использование природных континентальных минерализованных вод ознаменовалось новыми успехами, далеко продвинулось вперед и продолжает приобретать все более важное значение. Ярким подтверждением этого является:

— неоднократное расширение в США комбината в Троне на базе рапы оз. Сёрлс и строительство нового химического и металлургического комплекса на базе рассолов Большого Соленого озера;

— освоение в США подземных рассолов Силвер-Пик и организация на их базе промышленного производства карбоната лития, освоение месторождений Солтон-Си (Долина Империял), Снайдер, Бонвилл и Бристоль;

— неоднократное развитие и расширение химических предприятий, использующих рассолы Мертвого моря.

2. В ближайшей перспективе намечается дальнейшее расширение действующих предприятий в районах оз. Силвер-Пик, Сёрлс, Большого Соленого озера, Мертвого моря и вполне вероятным является освоение источников минерализованных вод в Перу, Чили, Исландии, Новой Зеландии.

3. Особенно следует отметить открытие новых месторождений рапы в сalaraх Перу и Чили, подводных термальных рассолов вблизи Исландии и впадин с горячими рассолами в Красном море. Значительно расширились сведения о рапе Мертвого моря и месторождениях КНР. Мно-

гочисленные сведения поступают об источниках Японии, Новой Зеландии и т. д.

4. В некоторых случаях использованию природных минерализованных вод препятствуют тяжелые климатические и транспортные условия. Однако намного более весомыми являются положительные факторы, вытекающие из самой природы этого сырья и способствующие выгодному его освоению. Этими факторами являются:

— отсутствие необходимости в специальных горных и обогатительных предприятиях с большим количеством рабочих;

— комплексный состав (наличие, как правило, нескольких промышленных полезных компонентов, иногда очень ценных);

— возможность применения на первых стадиях производства даровой солнечной энергии;

— как правило, высокая или даже исключительно высокая исходная концентрация отдельных компонентов;

— возможность одновременного использования при переработке термальных вод минеральных компонентов и подземного тепла.

Нельзя сбросить со счетов и тот немаловажный факт, что в ряде случаев происходит процесс восполнения ресурсов природных вод, так что эксплуатация в разумных масштабах не угрожает истощению их запасов, и предприятия можно строить в расчете на исключительно длинные периоды времени.

В начальной стадии выпаривание воды и концентрирование рассолов имеет сезонный характер. Однако это обстоятельство сейчас, видимо, не представляет уже сколько-нибудь серьезных неудобств.

5. Комплексность использования природных минеральных вод все более расширяется. Из них получают сейчас, помимо поваренной соли, соду, сульфат натрия, хлористый калий, хлористый магний, окись магния, металлический магний, борную кислоту, пироборат натрия, очищенную буру, бром и разные его соли, иод, карбонат и фосфат лития, гипс, хлористый кальций, хлор.

6. Исключительный интерес приобретают природные минерализованные воды как источник редких элементов.

В течение ряда лет единственно только из рапы оз. Сёрлс в США извлекались соли лития и притом в небольших количествах. Теперь дополнительно и в гораздо больших масштабах они получаются из рапы оз. Силвер-Пик и скоро начнут получаться также из рапы Большого Солевого озера. Намечается извлечение соединений лития из рассолов Исландии, а последние данные о запасах (1,2 млн. т) и высокой концентрации лития в сalaraх Чили являются событием большой важности, тем более что в них содержится, по-видимому, и цезий.

Число определений редких и других микроэлементов в природных водах непрерывно растет. В частности, обращено внимание на рубидий и цезий. Сравнительно много данных о наличии в зарубежных минерализованных водах стронция и довольно часто начали встречаться сведения о германии и галлии и некоторых других редких и малых металлах. Что же касается анализов на бериллий, индивидуальные редкоземельные элементы, рений, селен, теллур, висмут, то пока они производятся, видимо, только случайно.

В целом о содержании этих элементов в природных минерализованных водах и рассолах очень мало что известно. Однако в сообщениях по

Большому Соленому озеру говорилось о возможном попутном извлечении рассеянных элементов.

7. По существу сейчас наступил переломный момент в отношении к редким элементам в природных водах и положено начало заметному их извлечению. Надо полагать, что начавшись, этот процесс будет далее развиваться более быстро и значительно активнее.

Попутное извлечение редких элементов должно еще более расширить комплексность процессов переработки минерализованных вод и повысить их экономическую эффективность. В связи с этим нельзя не подчеркнуть, что рассолы Силвер-Пик дали возможность получать в США соли лития с наименьшими производственными затратами, даже когда не извлекались другие, основные макрокомпоненты.

8. До недавнего времени только в Италии имело место использование термальных вод как источника тепла и минеральных солей. Теперь подобная технология осуществляется уже и в США (Долина Империял), намечается к реализации в Исландии и скоро, вероятно, получит более широкое распространение, особенно в Новой Зеландии и Японии.

Намечается интересный вариант комбинированного использования минеральных компонентов термальных вод и морской воды в районе Исландии.

Любопытно обнаружение в термальных водах Исландии высоких концентраций тяжелой воды.

9. Довольно оцутимое и возрастающее значение приобретает геотермическая энергия. В настоящее время она используется в 12 странах мира и в 1970 г. обеспечила мощность 684 тыс. *квт* (или на 298 тыс. *квт* больше, чем в 1969 г.). С помощью американских специалистов в 13 странах изучались новые возможности ее утилизации и считается, что к 1975 г. на ее основе будут установлены мощности в 2 млн. *квт*. Острый энергетический кризис, разыгравшийся в капиталистическом мире в 1973—1974 гг., вызвал повышенный интерес и к геотермическим источникам энергии, что несомненно приведет к резкому росту ее дальнейшего практического освоения и использования.

По данным 1974 г. активные геологоразведочные работы по геотермальным источникам велись в Алжире, Чили, Колумбии, Эквадоре, Эфиопии, Греции, Гватемале, Индии, Индонезии, Израиле, Кении, Марокко, Никарагуа, Испании, Венесуэле. В США поисками таких источников занимались 30 компаний и к 1985 г. установленные мощности геотермальных электростанций намечено довести до 7 млн. *квт*. В Японии построена геотермическая электростанция для завода по электролизу никеля.

10. Нефтяные буровые воды являются уже серьезным источником брома и иода, но их значение как огромного резервуара других минеральных компонентов, в частности лития и стронция, пока промышленностью еще практически не оценено.

Сейчас на повестку дня поставлена и эта задача и вполне вероятно, что скоро в отношении комплексного промышленного освоения буровых нефтяных вод произойдут важные сдвиги, тем более что это диктуется и необходимостью охраны природы.

11. Продолжаются интенсивные исследования по усовершенствованию технологических способов переработки природных минерализованных вод, особенно с целью повышения их комплексности. В частности, большое количество новых работ посвящено попутному извлечению лития.

12. О достигнутом важном промышленном значении природных минерализованных вод можно судить хотя бы потому, что только из рапы оз. Сёрлс производится продукция на сумму около 0,5 млрд. долл. в год.

13. Изучением, освоением и эксплуатацией месторождений природных минерализованных вод занимаются многие компании, причем число их из года в год увеличивается. В ряде случаев к осуществлению указанных мероприятий привлекаются иностранные капиталы. Так, в освоении Большого Соленого озера в США участвует западногерманская фирма, в эксплуатации рапы Мертвого моря в Израиле — американский капитал. Изучением рассолов Красного моря занимаются разные страны, в частности очень активно ФРГ.

14. Минеральная продукция, получаемая из природных минерализованных вод, в больших количествах поступает на внешние рынки и в целом является довольно значительным объектом внешнеторговых операций. В последнее время наблюдается тенденция к дальнейшему расширению ее экспорта и импорта.

В частности, экспорт сульфата натрия возрос с 224 тыс. т в 1960 г. до 356 тыс. т в 1970 г., а импорт этой соли соответственно со 159 до 283 тыс. т [9].

Не исключено, что богатая минеральными компонентами или специально обогащенная (сконцентрированная) рапа может стать в ближайшее время товарным и при этом экспортным продуктом, особенно в связи с возможностью попутного извлечения из нее редких и малых металлов.

В Советском Союзе достигнуты, как известно, существенные успехи в деле использования рассолов Кара-Богаз-Гола для извлечения сульфата натрия и природных минерализованных вод других районов для производства ряда минеральных продуктов, особенно брома и иода. Однако теперь отношение у нас к данному виду минерального сырья следует пересмотреть коренным образом.

Прежде всего необходимо этой проблеме придать общесоюзный характер и организовать общее координирование всех научных исследований и практических мероприятий. Особое внимание следовало бы, в частности, срочно уделить буровым нефтяным водам. Всемерно должны быть расширены аналитические работы и в пределах целесообразности они должны проводиться сразу на все или многие элементы, представляющие промышленный интерес или могущие иметь потенциальное промышленное значение, в особенности на редкие и другие микро- и ультрамикроразноэлементы. Следует обратить особое внимание на природные воды как возможный источник рения, галлия, германия, скандия, некоторых редкоземельных элементов иттриевой подгруппы.

Сейчас четко наметилась тенденция к резкому увеличению потребления магния и его сплавов как более легких конструкционных материалов для ряда отраслей промышленности (особенно для автомобильного и других видов транспорта) с некоторой заменой алюминия и алюминиевых сплавов. Перспективы роста производства магния считаются очень значительными и это несомненно усиливает позиции природных вод как источника магниевого сырья.

Недавно в газете «Правда» отмечалось, что в советских термальных водах содержатся иод, бром, бор, стронций, цезий и ставился вопрос о необходимости изучения технологии извлечения этих элементов [3]. Наряду с этим напрашивается и вариант применения отработанных тер-

мальных вод в целях орошения, учитывая возможную положительную роль указанных микроэлементов для повышения урожайности сельскохозяйственных культур.

Назрела, очевидно, необходимость проведения Всесоюзного совещания по перспективам промышленного освоения минерализованных вод, включая все вопросы технологии, энергетики, экономики, проектирования и использования продукции в разных отраслях народного хозяйства.

В заключение считаем своим приятным долгом выразить сердечную благодарность Л. С. Балашову, Т. Ф. Бойко, Г. А. Голевой, В. П. Данилову, И. Н. Лепешкову и Ф. А. Макаренко за их ценные советы по данной работе.

Литература ¹

1. Бойко Т. Ф. Озеро Сёрлс и его литиеносные и вольфрамоносные рассолы.— Труды ИМГРЭ, 1963, вып. 17, с. 47—66.
2. Голованева И. Ф., Ромашова Н. Н. Некоторые вопросы комплексного использования горнохимического сырья в промышленности капиталистических стран.— Хим. пром-сть за рубежом, 1971, № 2, с. 63—73.
3. Дворов И. «Даровая» энергетика без хозяина. „Правда“, 15 января 1974 г.
4. Дворов И. М. Глубинное тепло Земли. «Мир», 1972, 207 стр.
5. Донченко К. Б. Сравнительная геолого-экономическая характеристика промышленных типов месторождений полезных ископаемых. Калийные соли. Обзор. М., ВИЭМС, 1970.
6. Кореньков Г. Л., Устинова Н. А. Горнохимическое сырье зарубежных стран. «Химия», 1965, 343 стр.
7. Лиманская Г. Л. Бор.— В кн. «Минеральные ресурсы промышленно развитых капиталистических и развивающихся стран». Годовой обзор (на начало 1970 г.). М., ВГФ, 1971, с. 325—329.
8. Матвеева Л. Ф. Положение с магнием в США и Канаде.— БИКИ, 1971, № 5, с. 7.
9. Новиков Э. А. Производство и потребление сульфата натрия за рубежом.— Хим. пром-сть, 1973, № 11, с. 70—73.
10. Плющев В. Е., Степин Б. Д. Химия и технология соединений лития, рубидия и цезия. «Химия», 1970, 407 стр.
11. Сидоренко А. В. Геология в 2000 году.— В сб. «Будущее науки», вып. 4. «Знание», 1971, с. 271—287.
12. Скоков В. Г. Сырьевые ресурсы калийных солей капиталистических и развивающихся стран и их использование. «Недра», 1970, 144 стр.
13. Уайт Д. Е. Месторождения ртути и цветных металлов, связанные с термальными минеральными источниками.— В кн. «Геохимия гидротермальных рудных месторождений». «Мир», 1970, с. 479—528.
14. Ферсман А. Е. Комплексное использование ископаемого сырья. Л., Изд-во АН СССР, 1932.
15. Эллис А., Уилсон С. Геохимия ионов щелочных металлов в гидротермальной системе Вайракей.— В кн. «Геохимия современных поствулканических процессов». «Мир», 1965, с. 108—126.
16. All systems are go for Great Salt Lake projects.— Chem. Engng, 1968, 15, N 13, p. 106, 108, 110.
17. An approach to recovering magnesium metal...— J. of Metals, 1969, 21, N 12, p. 9A—10A.
18. Bendor Y. K. Some geochemical aspects of the Dead Sea and the question of its age.— Geoch. Cosmochim. Acta, 1961 25, N 4, p. 239—260.
19. Brine recovery projects at Great Salt Lake, Utah.— Phosphorus and Potassium. 1969, N 39, p. 43—46.
20. California geothermal fields to be developed by three companies.— Engng & Mining J., 1972, 173, N 12, p. 34.

¹ В работе использовано более 500 источников, здесь приводится только выборочная литература.

21. Carmichael R. L. Magnesium.— Engng & Mining J., 1969, 170, № 3, p. 117—119; 1970, 171, № 3, p. 85—87.
22. Carpenter L. G., Garret D. E. Tungsten in Searles Lake.— Mining Engng, 1959, 11, N 3.
23. Chile.— Phosphorus and Potassium, 1970, N 49, p. 43.
24. Collins A. G. Here's how producers can turn brine disposal into profit.— Oil Gaz J., 1966, 64, N 27, p. 112—113.
25. Collins A. G. Methods of analyzing oilfield waters: cesium and rubidium. Bu Mines Rept. Inv. 6641, 1965, 18 pp.
26. Cummins A. M. Lithium.— Mineral facts and problems, 1970, Bull. 650, p. 1073—1081.
27. Davis J. C. Magnesium.— Chem. Engng, 1973, 80, N 19, p. 84, 86.
28. Dead Sea works now among world's largest potash producers.— Phosphorus and Potassium, 1970, N 46, p. 45—47.
29. Dow Chemical and Mitsubishi Chemical...— Modern Metals, 1970, 26, N 11, p. 18.
30. Dow Chemical plans to build a magnesium chloride processing plant...— Chem. Engng News, 1966, 44, N 8, p. 21.
31. Fertilisers in Israel.— Mining Minerals Engng, 1969, 5, N 6, p. 48.
32. Geothermal brine draws Morton Salt.— Chem. Engng News, 1965, 43, N 5, p. 16.
33. Great Salt Lake complex dedicated last month.— Engng Mining J., 1971, 172, N 1, p. 21.
34. Hot brines and recent heavy metal deposits in the Red Sea. N. Y., 1969, 600 p.
35. Iceland. Minerals from sea-water.— Industrial Minerals, 1970, Nov., N 38, p. 29.
36. Intermountain making magnesium chloride liquor from lake brines.— Engng Mining J., 1969, 170, N 9, p. 400, 402.
37. Kaplan D. Process for the extraction of lithium from Dead Sea solutions.— Isr. J. Chem., 1963, 1, N 2, p. 115—120.
38. Lithium resources in India.— Salt Research Industry, 1967, 4, N 3, p. 83—84.
39. Magnesium booster: budding auto market.— Chem. Week, 1969, 104, N 20, p. 36—38.
40. Magnesium chloride contract.— Canad. Mining J., 1969, 90, N 1, p. 15.
41. Magnesium ready for new growth phase.— Modern Metals, 1967, 23, N 7 (8), p. 90—91.
42. Morton bide for power and potash from brines.— Chem. Engng News, 1965, 43, N 51, p. 21—22.
43. Morton decides to mine brine.— Chem. Engng News, 1967, 45, N 3, p. 17.
44. Murcott M. A. Magnesium.— Mining Annual Review, 1973, p. 61—62.
45. Nadel Sh. Harvesting more Israel potash.— Engng Mining J., 1965, 166, N 10, p. 84—90.
46. New plant pulls lithium from Nevada brines.— Chem. Engng News, 1966, 44, N 32, p. 38—39.
47. Olson K. S. Iodine.— Min. Yearbook, 1968, 1—2, p. 1201—1203.
48. Production pace quickens at Great Salt Lake.— Chem. Week., 1970, 107, N 24, p. 45—46.
49. Prospects for Utah.— Min. Minerals Engng, 1970, 6, N 10, p. 44—45.
50. Salton Imperial Valley region.— Mineral Industry Bull., 1971, 14, N 6, p. 10—11.
51. Silver Peak gives bright look to Foote Mineral's lithium picture.— Engng Mining J., 1970, 171, N 4, p. 71—73.
52. Use of geothermal energy in a heavy water production plant will be studied.— Nucleonics Week, 1973, 14, N 9, p. 3.
53. Utah company gets set to tap mineral wealth of Great Salt Lake.— Engng Mining J., 1970, 171, N 4, p. 67—70.
54. West J. M. Boron.— Engng Mining J., 1970, 171, N 3, p. 84.

Геохимия минералов — рудноносность и генезис гранитоидов

В решении таких сложных и во многом еще достаточно спорных вопросов, как потенциальная рудоносность или вероятный генезис изверженных пород, наряду с классическими геолого-тектоническими и минералого-петрографическими методами особое место должна занять геохимия минералов — ветвь геохимии, изучающая особенности содержания, распределения и форм нахождения редких и рудных элементов в минералах изверженных пород — порообразующих и акцессорных.

Рудоносность пород

При выяснении возможной рудоносности пород помимо геологоструктурных и литолого-петрографических факторов в качестве дополнительных критериев рудоносности используются как содержание в породе собственных минералов рудных элементов, так и содержание этих элементов в порообразующих минералах, в особенности в биотите.

Средние содержания. Обычно считается, что показателем рудоносности является повышенное содержание в биотите соответствующего рудного элемента — Ta, Sn, Be, W и т. п.

Однако при выяснении причин, приводящих к возникновению подобных высоких содержаний, надо учитывать не только время выделения минералов или особенности их состава, которые не являются величинами постоянными и оказывают большое влияние на возможность вхождения в кристаллическую решетку биотита того или иного количества редких элементов. При этом надо учитывать и то, насколько высокие содержания действительно превышают среднее содержание данного элемента в биотите и обязаны ли они исключительно изоморфной форме его нахождения.

Для того чтобы судить о повышенном или пониженном содержании элемента в минерале, надо знать среднее содержание этого элемента в минерале, которое, чтобы судить достоверно, должно быть вычислено на основании значительного числа анализов. Подобные средние содержания были вычислены [21] и часть из них приведена в данной статье.

При дальнейших исследованиях, сравнивая с вычисленным средним частные содержания редких и рудных элементов в биотите рудоносных гранитов, мы убеждаемся в существовании двух групп наблюдений. Одна из них свидетельствует о том, что биотиты рудоносных гранитоидов содержат рудный элемент в количестве, превышающем среднее, другая — свидетельствует об обратном. Действительно, для биотита рудоносных гранитоидов имеются примеры высокого (82 z/r) и низкого (2,3 z/r) содержания Mo; высокого (10 z/r) и низкого (5,0 z/r) содержания W; высокого (120,0 z/r) и низкого (25 z/r) содержания Sn и т. п. Кроме

того, более высокие по сравнению со средним содержания рудного элемента часто характеризуют биотиты нерудоносных гранитоидов. Таковы биотиты из гранитоидов Гиссарского хребта, содержащие 30 г/т тантала, биотиты гранитов Тырнауза, содержащие 99 г/т олова, и т. д.

Объяснение этим, казалось, бы противоречивым наблюдениям можно найти, если предположить, что повышенные содержания в биотите рудного элемента могут быть обязаны не только изоморфной, но и минеральной форме его нахождения, т. е. микровключениям собственных минералов рудного элемента.

Действительно, количество включений аксессуарных минералов в породообразующих может быть очень велико, поэтому говорить о величине содержания редких и рудных элементов в биотите, не будучи уверенным, что последний лишен микровключений минералов этих элементов, надо очень осторожно.

Например, подсчет в шлифах показал, что в гранитах Горного Алтая на долю ортита, циркона, апатита, сфена, магнетита, эпидота, находящихся в виде микровключений в биотите, приходится от 33 до 73% от их общего содержания в породе.

За счет микровключений в биотите установлены повышенные содержания U, Th, TR, Zr, Ti, Fe.

Загрязняющее влияние на состав биотита заключенных в нем микровключений рудных минералов уже отмечалось в литературе. Так, по сравнению с чисто отобранном мусковитом, мусковит, предварительно истертый и затем подвергнутый центрифугированию, содержит в два раза меньше Sn, биотит — в 3—90 раз меньше Mo и т. п. Поэтому значительно повышенные по сравнению со средним содержания редких элементов в биотите рудоносных гранитоидов (Sn в биотите оловоносных гранитов Приморья — 400 г/т, Восточного Забайкалья — 200 г/т, Казахстана — 250 г/т; Ta и Nb в биотите из танталоносных гранитов Восточного Забайкалья — 24 г/т и 234—2450 г/т соответственно; Mo в биотите из молибденоносных гранитов Северного Кавказа — 82 г/т Mo и т. п.) весьма вероятно обязаны микровключениям собственных минералов этих элементов (табл. 1).

Приведенные примеры относились к биотиту, что касается других минералов, то, по данным В. И. Серых [29], плагиоклазы из рудоносных гранитоидов Северного Прибалхашья и Центрального Казахстана хорошо отличаются от нерудоносных по большему среднему содержанию в них W (3,5 г/т), Mo (0,95 г/т) или Be (14,76 г/т). Как видно, эти содержания в случае W и Be не отличаются от значений, определяемых величиной ($\bar{x} + s$), а для Mo они в 4 раза ниже.

Эти примеры свидетельствуют о том, что знание средних содержаний и дисперсий содержаний редких и рудных элементов в минералах позволяет в ряде случаев по-иному оценить их роль как индикаторов такого важного свойства изверженных пород, каким является их рудогенерирующая способность.

Коэффициент накопления. Степень отторжения редких элементов от продуктов главного и накопления в продуктах позднего этапа кристаллизации обычно определяется по величине коэффициента накопления — отношению содержания редкого элемента в одноименных минералах поздней и ранней генерации.

Раньше причину различной рудоносности гранитов пытались объяс-

Таблица 1

Средние содержания W, Mo, Sn, Nb, Ta в биотите послекембрийских интрузивных гранитоидов Советского Союза (в г/т)

Элемент	Гранодиориты	Граниты биотитовые	Граниты лейкократовые	Граниты интрузивные (среднее)	Рудоносные граниты
W	1,5(2) *	6,8(65)	13,7(6)	7,2(73)	40,0
Mo	4,4(16)	5,8(108)	9,8(13)	6,0(137)	82—310
Sn	41,5(36)	66,8(179)	71,0(71)	76,5(396)	150—400
Nb	93,4(71)	148,1(207)	198,2(48)	143,6(326)	234—2450
Ta	9,8(38)	16,8(168)	14,2(37)	15,3(243)	24,0

* Здесь и далее в таблицах в скобках указано число анализов.

нить неодинаковым тектоническим положением гранитных массивов, их различным петрохимическим составом или степенью измененности, различной литологией вмещающих пород и т. п. Однако, отдавая должное известному влиянию перечисленных признаков на степень проявления рудогенерирующей способности гранитной магмы, следует признать, что они не отражают тех внутренних причин, которые в одних случаях побуждают находящиеся в магме редкие и рудные элементы рассеиваться в кристаллических решетках порообразующих минералов, препятствуя таким образом их накоплению в поздних продуктах, а в других — препятствуют подобному рассеиванию, стимулируя тем самым участие этих элементов в постмагматическом рудообразовании.

Ярким отражением этих особенностей поведения редкого или рудного элемента в процессе кристаллизации гранитной магмы является изменение его содержания в одноименных минералах различных генераций, определяемое обычно как коэффициент накопления. Величина этого коэффициента отражает такую важную особенность, как преобладающее рассеяние этих элементов в кристаллических решетках минералов ранних этапов кристаллизации ($K > 1$) или отторжение и накопление в продуктах поздних этапов становления гранитных интрузивов ($K < 1$). Последнее может явиться важным признаком проявления рудогенерирующей способности гранитной магмы.

Полученные данные для порообразующих минералов эльджуртинского гранита, представленных ранней и поздней генерациями, не показывают накопления этих элементов в поздних генерациях минералов, что характеризует гранит по этому признаку как нерудоносный, хотя некоторые исследователи связывают с ним W-Mo месторождение Тырныауз. Кроме того, анализ полученных данных (табл. 2) свидетельствует, что для этого гранита в ранний этап кристаллизации (биотит) тенденция к отторжению редких элементов не была проявлена. В стадию главной кристаллизации (плагноклаз) она в значительной степени проявилась для F и в меньшей для Pb и Sn, а в стадию поздней кристаллизации (калиевый полевой шпат) эта тенденция наиболее ярко была выражена для Rb и в меньшей мере для V и Be. В общем по этому признаку рассматриваемые граниты не несут черт, присущих рудоносным гранитам.

В то же время в граните одного из массивов Казахстана в поздних генерациях калиевых полевых шпатов содержание Be в два раза выше, чем

Таблица 2

Средние содержания редких и рудных элементов в минералах порфировых выделений (1) и основной массы (2) гранитоидов Эльджуртинского массива, Северный Кавказ (в г/т)

Элемент	Биотит			Плагиоклаз			Калиевый полевой шпат		
	1 (2)	2 (2)	K_n	1 (10)	2 (7)	K_n	1 (8)	2 (8)	K_n
W	—	—	—	0,7	0,7	1,0	0,8	0,8	1,0
Mo	3,5	3,0	0,9	1,0	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1
Sn	62,0	57,5	0,9	5,5	7,0	1,3	5,5	5,5	1,0
Cu	39,0	32,0	0,8	41,0	20,0	0,5	17,2	18,0	1,0
Zn	650,0	540,0	0,8	—	—	—	—	—	—
Pb	28,0	27,0	1,0	26,1	38,8	1,5	63,6	60,0	0,9
Be	4,5	4,5	1,0	10,4	8,3	0,8	1,5	1,7	1,1
Li	510,0	510,0	1,0	—	—	—	—	—	—
Cs	170,0	170,0	1,0	—	—	—	—	—	—
F	5250,0	3600,0	0,7	113,0	253,0	2,1	100,0	100,0	1,0
B	—	—	—	14,0	13,0	0,9	9,3	10,6	1,1
Rb	—	—	—	—	—	—	425,0	595,0	1,4

Примечание. K_n — коэффициент накопления.

в порфировых, что свидетельствует о значительном накоплении этого элемента к поздним стадиям кристаллизации (табл. 3). В этом отношении к ним весьма близки граниты массива Контенколь.

В поздних генерациях калиевых полевых шпатов из гранитов амуджикапо-сретенского комплекса значительно (в 2—10 раз) увеличивается содержание Cs [3], что позволяет предполагать наличие в связи с этими гранитами редкометалльных цезиеносных пегматитов. Граниты Верхне- и Нижнегологотайского массива выделяются большим накоплением Be к поздним этапам кристаллизации (табл. 4).

Подобные же наблюдения справедливы и для аксессуарных минералов. Так, в неоловоносных гранитах джидинского комплекса сфены ранней генерации содержат Sn в 1,5 раза больше (425 г/т), чем сфены позд-

Таблица 3

Средние содержания редких и рудных элементов в калиевых полевых шпатах порфировых выделений (1) и основной массы (2) гранитоидов акчатауского комплекса, в г/т [29]

Массив	Молибден			Бериллий			Рубидий		
	1	2	K_n	1	2	K_n	1	2	K_n
Казахстан (2)	2,0	0,8	0,4	5,7	11,0	2,0	702	779	1,1
Коктенколь (2)	—	—	—	2,8	5,4	2,0	—	—	—
Куу (1)	—	—	—	—	—	—	1183	2184	1,9
Жаманкарабас (3)	0,5	0,7	1,4	—	—	—	658	961	1,5

Таблица 4

Средние содержания редких и рудных элементов в калиевых полевых шпатах порфирировых выделений (1) и основной массы (2) гранитоидов амуджикано-сретенского комплекса, в g/m [3]

Массив	Rb			Cs			Be			Pb			Ba			Sr			
	1	2	K_n	1	2	K_n	1	2	K_n	1	2	K_n	1	2	K_n	1	2	K_n	
Кара-Чачинский (12)	282	308	1,1	5	10	2,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Куренгинский (5)	301	315	1,0	4	3	0,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Сретенский (70)	260	375	1,4	2	10	5,0	—	—	—	41	29	0,7	6600	1700	0,3	800	530	0,7	—
Амуджиканский (9)	435	524	1,2	8	17	2,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Верхнеголготайский (15)	400	460	1,1	Сл.	10	10,0	0,9	2,9	3,2	59	39	0,7	3000	1200	0,4	550	340	0,6	—
Нижнеголготайский (10)	600	790	1,3	3	15	5,0	1,0	4,5	4,5	73	44	0,6	2950	1200	0,4	530	290	0,6	—

ней генерации, содержащие 277 g/t [25]. Коэффициент накопления в этом случае равен 0,6, отражая тем самым рассеяние олова на ранних этапах кристаллизации нерудоносных гранитов.

Соотношение между изоморфной и минеральной формами нахождения рудных элементов. Широкое распространение в изверженных породах минералов редких элементов, выделившихся в собственно магматическую стадию, показывает, что, помимо изоморфного рассеяния, для редких элементов характерна и другая форма нахождения — форма минерального рассеяния. В связи с этим большой интерес представляет выяснение причин, приводящих к появлению акцессорных минералов. В частности, весьма интересно выявить зависимости, существующие между изоморфной и минеральной формами нахождения, т. е. между содержанием элемента в минерале-носителе и содержанием минерала этого же элемента в породе.

Влияние появления собственного минерала какого-либо элемента на содержание этого элемента в других минералах можно проиллюстрировать следующими примерами.

Прямая зависимость между содержанием редкого или рудного элемента в минерале и количеством собственных минералов этих элементов в граните наблюдается, но далеко не всегда. Например, биотит из танталосных гранитов, содержащих значительное количество разновозрастных минералов Ta и Nb — стрюверита, эвксенита, колумбит-тантала, содержит в 10 раз больше Ta, чем биотит из нетанталосного гранита, содержащего меньше акцессорных тантало-ниобатов [1]. Чаще отмечается обратная зависимость, являющаяся следствием того, что элемент или рассеивался в виде изоморфной примеси в кристаллических решетках порообразующих и акцессорных минералов, или получал возможность образовывать собственные минералы. Так, среди гранитоидов Урала гранаты мурзинских гранитов, содержащих большое количество ксенотима, выделяются низкими содержаниями иттрия, а ильмениты коч-

карских гранитов, содержащих тантало-ниобаты, характеризуются низким содержанием ниобия. В то же время повышенные содержания ниобия характеризуют сфены и ильмениты из ильменогорских и джабык-карагайских гранитоидов, практически лишенных тантало-ниобатов [19].

Более поздние исследования также показали, что в тех случаях, когда содержание ниобия и тантала в биотите превышает среднее значение, количество тантало-ниобатов в граните часто ниже среднего, и наоборот. В этом отношении показательны биотиты из лейкократовых гранитов Котансуйского массива (Орское Зауралье), которые содержат Та в 2,5 раза больше, по сравнению со средним, в то время как содержание тантало-ниобатов в граните в 3 раза ниже среднего [20].

В гранитах Центрального Казахстана, содержащих 21,2 г/т тантало-ниобатов, количество ниобия в ильмените составляет 3640 г/т, а при меньшем содержании тантало-ниобатов, равном 14,4 г/т, содержание ниобия в ильмените несколько повышается — 3780 г/т [19].

В гранитоидах Сусамырского батолита Тянь-Шаня, где ураноторит встречается спорадически и в весьма незначительном количестве, ортит содержит в среднем (5 определений) 18 932 г/т Th и на его долю приходится от 50 до 70% всего тория породы [13]. Иная картина наблюдается в гранитоидах Хантаусского массива (Южный Казахстан), содержащих ураноторит в весовых количествах. Содержание тория в ортите здесь значительно понижено и составляет всего 1500 г/т, причем на его долю приходится только 3—6% общего тория породы, так как 54,5% Th приходится на долю ураноторита [14].

Дегенхардт [17] отмечал, что в щелочных эгириновых гранитах циркон нередко совершенно отсутствует, что объясняется присутствием эгирина, который может включать в свою решетку до 0,5% ZrO_2 . Монгомери [36] указывал, что образование собственных минералов тантала в пегматитах Хардинга наблюдается в тех случаях, когда в них отсутствуют такие минералы-концентраторы тантала, как сфен, касситерит, рутил, турмалин и др. Неоднократно отмечалось, что захват ниобия (и тантала) различными порообразующими и акцессорными минералами препятствует образованию собственных минералов этих элементов.

Существование подобной обратной зависимости между содержанием редких и рудных элементов в биотите или в других порообразующих или акцессорных минералах гранитоидов и наличием собственных минералов этих элементов обязано жесткому лимиту в распределении того или иного элемента между минералами одного парагенезиса. Появление конкурирующего с биотитом минерала-носителя или минерала-концентратора рудного или редкого элемента обычно приводит к заметному снижению его содержания в биотите.

Подобные соотношения важно иметь в виду при оценке рудогенерирующей способности породы или при минералого-геохимическом сопоставлении интрузивных тел. Описанные случаи прямой зависимости между содержанием редких элементов в биотите и количеством собственных минералов этих элементов в граните обязаны чаще всего наличию их микровключений в биотите.

В свете изложенного кристаллохимический фактор выступает как регулирующая сила, препятствующая или стимулирующая концентрацию рассеянных в магме редких и рудных элементов, вплоть до образования ими собственных минералов и постмагматических концентраций.

Металлогеническая специализация. Реальность существования металлогенической специализации не подтверждается имеющимися данными. Полярные соотношения, существующие между содержанием элемента в минерале-носителе и рудоносностью породы, равно как и более низкие по сравнению с кларком содержания рудного элемента в подобных породах, скорее всего свидетельствуют об ее отсутствии.

Полученный к настоящему времени материал свидетельствует о том, что в ряде случаев содержание рудных элементов в главном минерале-носителе рудоносных гранитов оказывается ниже среднего, характерного для данного минерала. Поэтому механизм отторжения рудного элемента, имевший место в процессе кристаллизации магмы, кажется более реальной причиной рудоносности, чем изначальное обогащение магмы рудными элементами.

Как следует из имеющегося к настоящему времени материала [8, 9, 11, 32], не всегда существует прямая зависимость между повышенным содержанием рудного элемента в гранитоиде и его рудоносностью. То же можно сказать и о породообразующих минералах. Для ряда редких элементов, у которых процессы кристаллохимического рассеяния играют отрицательную роль, препятствуя их концентрации в поздние, пегматитовые или гидротермальные этапы становления интрузивов, скорее будет характерна обратная зависимость между наличием оруденения и повышенным содержанием рудного элемента в главном минерале-носителе, поглощающем большую часть элемента от его общего содержания в породе.

Подобные соотношения будут характерны преимущественно для элементов с низкими кларковыми содержаниями (1—20 г/т), значительное обогащение которыми магмы в процессе ее зарождения маловероятно. В то же время для элементов с высоким значением кларков, таким, как, например, железо (27 кг/т), наблюдается прямая зависимость между его содержанием в минералах (роговая обманка, биотит), количеством последних в гранитоиде и его рудоносностью.

Богатство биотита различными редкими и рудными элементами и их непостоянное содержание в нем привело к многочисленным попыткам использовать особенности его состава в качестве индикатора возможной рудоносности гранитных интрузивов. При этом обычно указывается, что биотиты рудоносных гранитоидов характеризуются повышенным содержанием соответствующего элемента.

Однако учитывая отрицательное влияние кристаллохимического рассеяния на возможность концентрации редких элементов в поздние этапы становления интрузивов и то, что биотит является минералом-носителем большинства редких и рудных элементов гранитной магмы, а для многих из них и минералом-концентратором, можно предположить, что для этих элементов скорее будет характерна обратная зависимость, т. е. биотиты рудоносных гранитоидов будут характеризоваться более низкими содержаниями этих элементов по сравнению с биотитом нерудоносных гранитов.

Действительно, рассматривая особенности состава биотита рудоносных гранитов, можно убедиться, что содержание в нем ряда элементов ниже «нормативного» содержания, определяемого величиной $(\bar{x}+s)$.

Так, например, содержание Мо в биотите молибденоносных гранитов Северо-Западного Забайкалья практически не отличается от его содержания в породе [34]. Биотит из молибденоносных гранитов Восточного Забайкалья и Верхнего Приамурья содержит в среднем 2,6 г/т Мо [27],

что в 5 раз ниже «нормативного» содержания, равного 15,6 г/т. Количество W и Mo в биотите из рудоносных и нерудоносных гранитов Восточного Забайкалья практически одинаково и составляет 3—5 г/т W и 1—2 г/т Mo [9]; в биотите из рудоносных гранитов Чукотки среднее содержание W и Mo составляет 1,9 и 3,2 г/т соответственно [8].

В значительной степени накапливается в биотите и такой элемент, как Sn, коэффициент концентрации которого в этом минерале составляет 21,0. В отношении олова было показано [4], что биотиты оловоносных гранитов содержат его значительно больше: от 80—100 до 300—400 г/т по сравнению с биотитом неоловоносных гранитоидов, содержащих этот элемент значительно меньше — 30—50 г/т.

Сравнивая теперь содержания Sn в биотите оловоносных гранитов с его «нормативным» содержанием, характерным для биотита гранитоидов вообще и равным 134 г/т, можно убедиться, что содержания, превышающие эту величину, встречаются среди биотитов оловоносных гранитов далеко не всегда.

Действительно, проведенные исследования привели к несколько противоречивым результатам, очевидно, обязанным различной чистоте анализировавшегося материала.

Согласно одним исследователям, биотиты оловоносных гранитов содержат Sn больше по сравнению со средним: в Калбо-Нарымском районе 145, Восточном Забайкалье 370 [4] или 150—200 [2], на Дальнем Востоке 166 [6] и даже 400 г/т [26].

Данные других исследователей свидетельствуют о более низком по сравнению с «нормативным» содержанием Sn в биотите оловоносных гранитов: Чукотка 55 [47], Восточное Забайкалье 81,2 [32], Корнуол (Англия) 126 г/т [411].

Биотиты литиеносных гранитов, содержащих акцессорный амблигонит или сподумен, содержат в среднем 498 г/т Li [18], что значительно меньше величины $(\bar{x}+s)$, равной 1705 г/т, и свидетельствует об ограниченном изоморфном рассеянии лития, способствующем образованию его собственных минералов.

По данным Пэри и Наковского [37], в биотите монцонитов, со штоками которых ассоциирует полиметаллическое оруденение, содержится в среднем 300 г/т Zn, т. е. более чем в два раза меньше величины $(\bar{x}+s)$, что свидетельствует о возможности цинка накапливаться и образовывать собственные минералы в поздних продуктах дифференциации.

В отношении тантала имелись указания [31], что биотиты из гранитоидов, с которыми генетически связаны пегматитовые или гидротермально-пневматолитовые рудопроявления тантала, характеризуются более высоким его содержанием (13—33), чем биотиты нерудоносных гранитов, содержащих 4—7 г/т Та.

По данным И. Н. Маликова и др. [22], биотит гранитов, с которыми связано танталовое оруденение, содержит в среднем 31 г/т, а биотит «нерудоносного» гранита — 17 г/т Та. Однако приводимые содержания тантала в биотите танталоносных гранитов ниже значения $(\bar{x}+s)$, равного 36 г/т, чего и следовало ожидать, так как накоплению тантала в пегматитах или в гидротермально-пневматолитовых образованиях будет благоприятствовать его ограниченное рассеяние в продуктах магматической стадии кристаллизации; последнее находит свое отражение в низком содержании тантала в биотите — главном минерале-носителе этого элемента.

Таким образом, вырисовывается достаточно определенная зависимость, заключающаяся в том, что биотиты рудоносных гранитоидов (так же, как и сами граниты) нередко содержат меньше соответствующего рудного элемента по сравнению с вычисленным средним, характерным для этого минерала.

В то же время биотиты из гранитов Тырныауза (Северный Кавказ), в связи с которыми рудопроявлений цинка не обнаружено, содержат его в шесть раз больше — 4300 г/т [23] по сравнению с «нормативной» величиной ($\bar{x} + s$).

Подобные соотношения вызваны тем, что рудоносность интрузий является функцией не только исходного состава магмы, но также условий их становления. В зависимости от последних рудообразующие элементы могут остаться в породах в рассеянном состоянии либо оказаться в той или иной форме сконцентрированными.

Если рассматривать рудогенерирующую способность гранитной магмы как способность рассеянных в ней редких и рудных элементов в силу сочетания ряда условий концентрироваться в поздние и постмагматические этапы становления гранитных тел, то первым признаком проявления подобной рудогенерирующей способности будет появление собственных минералов этих элементов, называемых обычно акцессорными. И хотя для достаточно полного проявления рудогенерирующей способности необходимо благоприятное сочетание ряда факторов, появление этих минералов фиксирует собой новую, более концентрированную по сравнению с изоморфной форму нахождения рудных элементов — форму минерального рассеяния (т. е. нахождение редких элементов в виде микроскопических и субмикроскопических минеральных выделений).

Обычно одним из признаков рудоносности гранитоидов считается повышенное содержание редких и рудных элементов в биотите, являющемся благодаря особенностям своей структуры и состава их минералом-носителем и концентратом. Однако при выяснении причин, приводящих к возникновению подобных высоких содержаний, надо учитывать не только время выделения минерала или особенности его состава, которые не являются величинами постоянными и оказывают большое влияние на возможность вхождения в кристаллическую решетку биотита того или иного количества редких элементов. При этом надо учитывать и то, что в рудоносных гранитах существовали благоприятные условия для образования рудными элементами собственных минералов. Последние и могли захватываться растущими кристаллами сингенетичного с ними биотита, вызывая нередко отмечаемое в нем повышенное содержание того или иного элемента.

Приведенные выше данные действительно показывают, что повышенные содержания редких элементов в биотите рудоносных гранитоидов часто обязаны микровключениям собственных минералов этих элементов, что подтверждается бимодальным характером гистограмм, полярными соотношениями между изоморфной и минеральной формами нахождения редких и рудных элементов и их меньшим содержанием в предварительно центрифугированном биотите. Поэтому приведенное выше определение рудогенерирующей способности магмы справедливо, так как подтверждается часто наблюдающейся обратной зависимостью между собственно изоморфной и минеральной формами нахождения редких и рудных элементов в биотите.

Следует отметить, что пониженное содержание рудных или редких элементов в биотитах рудоносных гранитов не является чем-то необычным и, вероятно, отражает закономерность более крупного порядка, которая заключается в обедненности рудоносной породы соответствующим рудным элементом, имевшим возможность сконцентрироваться в рудопоявлениях различных типов и масштабов.

В 1927 г. был описан [38] контакт сподуменового пегматита с вмещающими сланцами, причем было установлено, что пегматит беден фосфором, но им обогащаются сланцы, пегматит богат литием, но его заметного привноса в сланцы не устанавливается. На основании этого авторы приходят к выводу об отсутствии зависимости между составом пегматита и материалом, привнесенным им в сланцы.

Несколько позже В. Н. Лодочников [15] сформулировал свое правило полярности. Он писал: «...весьма часто, чтобы это можно было назвать случайностью, при изучении интрузивных и эффузивных пород и их воздействии на вмещающие породы наблюдается и повторяется одно и то же явление, которое по этой частой его повторяемости можно назвать правилом полярности магматических и постмагматических минералов одной и той же магмы, и правило это можно сформулировать следующим образом: поствулканические процессы несут с собою те элементы или окислы, которыми бедна сама порода, обусловившая эти процессы».

В качестве примеров В. Н. Лодочников приводил обогащение контактирующих с гранитом пород Mg и Fe (биотит), в то время как в самих гранитах эти элементы играют незначительную роль. Габбро и диабазы в больших количествах несут Na во вмещающие породы (адинолы, спилзиты), а сами содержат мало этого элемента.

Позже на полярное поведение петрогенных элементов при становлении гранитных интрузивов Тянь-Шаня обратил внимание А. А. Конюк [10].

В Западном Забайкалье породы Бом-Горхонского массива характеризуются повышенным по сравнению с кларком содержанием Sn, Ta, Nb, т. е. элементов, которые не характерны для постмагматических проявлений. В то же время содержания W и Mo в гранитоидах этого массива понижены, хотя они и сопровождаются жильным вольфрамовым и штокверковым молибденовым оруденением [33].

Рассматривая рудогенерирующую способность гранитной магмы как способность рассеянных в ней редких и рудных элементов к образованию собственных минералов, следует признать, что их повышенное содержание в минерале-носителе не всегда может быть прямым индикатором рудоносности гранита, так как часто наблюдается обратная связь между содержанием редких элементов в породообразующем минерале и количеством собственных минералов этих элементов в граните. Поэтому, возможно, более достоверным индикаторным признаком явится пониженное по сравнению со средним содержание рудного элемента в минерале-носителе. Это тем более вероятно, что количество рудного элемента в рудоносном граните нередко бывает ниже кларка, что и фиксируется в составе биотита, являющегося чутким индикатором геохимических особенностей гранитной магмы. Однако для того, чтобы установить достоверность этого признака, необходима его проверка на большом количестве дополнительного материала.

Генезис пород

Геохимия минералов позволяет установить ряд существенных отличий в составе одноименных породообразующих и аксессуарных минералов из петрографически сходных пород различного генезиса. Эти отличия являются следствием наследования минералами геохимических особенностей исходных пород или магм. Все минералы интрузивных гранитоидов содержат в большом количестве многие редкие и рудные элементы по сравнению с одноименными минералами автохтонных гранитов, выделяющихся более высокими содержаниями Ga и Sr. Наиболее низкими содержаниями редких и рудных элементов и наиболее высокими Cr, Co, Ni, V характеризуются минералы гранитоидов габбровой формации.

В кристаллическом основании щитов и платформ широко развиты породы, отвечающие по составу гранитам и получившие разнообразные наименования: гранито-гнейсов, гнейсо-гранитов, порфиробластических гранитов, анатектитов и т. п. Генезис этих пород трактуется различно. Одни исследователи склонны приписывать им образование за счет осадочно-метаморфических пород, изменивших свой первоначальный состав и структуру под воздействием различных метасоматических процессов. Другие считают их интрузивными гранитоидами, претерпевшими сильное изменение в результате регионального метаморфизма. Последняя точка зрения привела к представлению о широком развитии кислого магматизма в докембрийское время. В то же время наблюдения последних лет с несомненностью свидетельствуют о наличии среди подобных пород сильно метаморфизованных осадков [30]. Поэтому представляется крайне желательным разработка и использование таких методов и признаков, которые позволяют более достоверно устанавливать первичную природу сильно измененных пород. Подобная «реставрация» тем более необходима, т. к. представляет большой интерес не только с точки зрения воссоздания правильной картины геологического прошлого в древнейшие этапы жизни земли. Она имеет большое значение и в чисто практическом отношении, так как генетически различные группы гранитоидов, автохтонные и интрузивные, характеризуются весьма различной рудоносностью: подавляющее большинство месторождений редких элементов связано с интрузивными гранитоидами.

К числу таких признаков относятся отличия в составе одноименных породообразующих и аксессуарных минералов из гранитоидов различного генезиса, которые до последнего времени оставались практически невыясненными. Поэтому особый интерес представляют данные, приведенные в табл. 5, которые свидетельствуют о наличии существенных отличий в содержании редких элементов в минералах из этих двух генетически отличных групп гранитоидов.

С одной стороны, отличие породообразующих минералов автохтонных гранитов, образовавшихся в результате метасоматического преобразования парагнейсовых толщ, от одноименных минералов интрузивных гранитов напоминает отличие осадочных пород от кислых изверженных, выражающееся, в частности, в более низком содержании в первых Be и F и более высоком — Ga и Sr. С другой стороны, минералы интрузивных гранитоидов отличаются от одноименных минералов автохтонных гранитов более высоким содержанием большинства рудных элементов — W, Mo, Sn, Zn, Sc, хотя их кларковые содержания в осадочных породах

Таблица 5

Средние содержания редких и рудных элементов в минеральных интрузивных (1) и автохтонных (2) гранитоидах (в g/m)

	W	Mo	Sn	Zn	Sc	Ga	Sr	Be	F
Кларк в кислых породах	1,5	1,0	3,0	60,0	3,0	20,0	300,0	5,5	800,0
Кларк в осадочных породах	2,0	2,0	10,0	80,0	10,0	30,0	450,0	3,0	500,0
Биотит	1 7,2 2 5,6	6,0 3,3	76,5 25,0	480,7 420,4	61,0 16,8	61,0 141,7	35,0	4,9 1,8	15567,6 6183,3
Плагиоклаз	1 2,2 2 2,0	1,4 1,5	— —	— —	— —	— —	490,0 564,0	11,8 2,4	748,0 609,0
Калиевой полевой шпат	1 2,3 2 2,5	1,5 1,5	— —	— —	— —	28,3 66,5	607,3 1076,3	3,1 2,0	200,0 1068,7
Кварц	1 2,7 2 2,2	2,5 0,5	10,5 3,5	20,0 16,2	— —	2,8 11,0	— —	0,7 0,9	— —
Магнетит	1 5,0 2 1,2	12,8 11,0	25,5 7,6	238,0 268,0	6,5 0,2	21,0 53,5	— —	— —	— —
Сфен	1 35,5 2 7,7	81,7 54,5	254,6 118,0	— —	9,9 5,0	4,4 10,0	141,0 —	— —	— —
Ильменит	1 63,4 2 34,0	8,0 2,7	98,7 57,0	867,0 1450,0	57,1 25,0	3,8 10,0	— —	— —	— —
Апатит	1 — 2 —	— —	50,7 0,4	— —	— —	1,5 33,0	751,0 954,0	0,8 5,0	— —
Эпидот	1 — 2 —	1,5 50,0	30,4 5,0	— —	13,5 75,0	107,0 500,0	1034,0 —	11,5 50,0	— —

выше, чем в кислых изверженных (табл. 5). Возможная причина этого отличия заключается в том, что формы нахождения рудных элементов (изоморфная, сорбированная, минеральная и т. п.), суммарно обуславливающие их высокие содержания, более разнообразны в породах осадочно-метаморфических, чем в кислых изверженных, где большая часть элемента от его общего содержания в породе находится в форме изоморфного рассеяния.

Причина низких содержаний может заключаться также и в следующем. Несмотря на то, что осадочные породы по сравнению с магматическими характеризуются более высоким содержанием ряда редких и рудных элементов, при процессах гранитизации и метасоматоза, превращающих их в породы гранитного состава, происходит уменьшение содержания этих элементов в связи с их выносом, в то время как меньшая их часть (в том числе Ba, Sr, Ga) сохраняется на уровне содержания в исходных породах.

Следует, однако, остановиться подробнее на особенностях состава отдельных минералов. Черты унаследованности геохимических особенностей

осадочно-метаморфических пород наиболее отчетливо проявлены для Mg, Ti, Be, F, Ga, Sr.

Известно, например, что в осадочно-метаморфических породах встречаются турмалины преимущественно дравитового состава, в то время как в гранитах магматического генезиса преобладают шерлиты. Поэтому наличие в гранито-гнейсах магнезиальных турмалинов служит известным указанием на их первично-осадочную породу. Действительно, в гранито-гнейсах архея Карелии присутствуют турмалины, содержащие до 75% дравитового компонента.

Обычным минералом сланцев и гнейсов является гранат. По сравнению с гранатом из парагнейсов амфиболовой фации метаморфизма гранаты ортогнейсов отличаются более высоким содержанием спессартинового и меньшим — пиропового компонентов. Равным образом и гранаты автохтонных гранитов содержат 1,6% спессартинового и 15,4% пиропового компонентов по сравнению с 31,4 и 4,4% соответственно в гранате интрузивных гранитов.

По сравнению с апатитом интрузивных гранитоидов апатиты автохтонных гранитоидов содержат меньше TR, U, Th и больше Sr и Ga. Любопытно, что апатиты из осадочно-метаморфических пород также характеризуются большим содержанием Sr и Ga и низким — TR. Более высоким содержанием Zn и Ga выделяются и магнетиты автохтонных гранитоидов. Примечательно, что, помимо акцессорных, все породообразующие минералы автохтонных гранитов, включая и кварц, также отличаются от одноименных минералов интрузивных гранитов повышенным содержанием Ga.

Довольно хорошо выражено наследование высоких содержаний стронция в осадочно-метаморфических породах, находящее отражение в повышенном содержании этого элемента в породообразующих и акцессорных минералах автохтонных гранитов.

Таким образом, содержания Ga и Sr примечательны в том отношении, что, по-видимому, отражают геохимические особенности материнских пород, так как среднее содержание Ga и Sr в песчано-сланцевых породах в 1,5 раза выше, чем в интрузивных гранитоидах.

Как дополнительные критерии при решении генетических вопросов могут быть использованы и некоторые особенности в содержании фтора. Так, мусковит из кристаллических сланцев характеризуется более низким содержанием F (890 г/т) по сравнению со средним содержанием его в мусковите из интрузивных гранитов (10760 г/т). Более низким содержанием фтора характеризуются биотиты и плагиоклазы из автохтонных гранитов по сравнению с одноименными минералами интрузивных гранитов.

Имеются, однако, и другие отличия в составе минералов, которые связаны не только с более ограниченными возможностями к изоморфному рассеянию в условиях низких давлений и температур, сопровождающих процессы формирования осадков и их последующего метаморфизма, но и, вероятно, с потерей многих редких и рудных элементов из минералов в процессе седименто- и диагенеза. Особенно это относится к более низкому содержанию в минералах автохтонных гранитов U и Th.

Биотиты автохтонных гранитоидов содержат больше Nb, Ta, TR, Ga, Rb, Zr, т. е. элементов, которые или содержатся в большем количестве в песчано-сланцевых, или обычно накапливаются в метасоматиче-

ски измененных породах. В то же время содержание большинства рудных элементов — W, Mo, Sn, Zn, Cu, Bi — в биотите автохтонных гранитах понижено. Понижены содержания и таких редких элементов, как Sc, Cs, Be и Th. Например, среднее содержание скандия в биотитах из интрузивных гранитов составляет 61 г/т, что свидетельствует о его 20-кратной концентрации в этом минерале по сравнению с гранитами. В то же время биотиты докембрийских автохтонных гранитов характеризуются меньшим содержанием Sc (16,8 г/т), что сближает их с биотитами из кристаллических сланцев, в которых этот минерал также обладает низким средним содержанием Sc, равным 30,6 г/т.

Биотиты автохтонных гранитоидов содержат значительно меньше Cs (32 г/т), чем биотиты интрузивных гранитоидов (107 г/т). Следует отметить, что в биотитах из сланцев и метаморфических пород содержание скандия обычно почти не улавливается, т. е. составляет меньше 5 г/т.

По сравнению с калиевыми полевыми шпатами из интрузивных гранитоидов эти минералы в автохтонных гранитах отличаются более низкими содержаниями Li и Ba.

В калиевых полевых шпатах гранитов Украины содержание лития не превышает 10 г/т. Оно также весьма незначительно и составляет 6—8 г/т Li в калиевых полевых шпатах из докембрийских гранитов и очковых гнейсов Южной Норвегии [39]. Низкие содержания лития установлены и в калиевом полевоом шпате из автохтонных гранитов Алданского щита [28].

Калиевые полевые шпаты из метасоматических порфиробластических гранитоидов Анабарского щита содержат, в среднем (4 определения) 5429 г/т Ba, а из интрузивных диорито-сиенитов значительно больше — 9345 г/т [16]. В докембрийских гранитах Колорадо среднее содержание бария в калиевых полевых шпатах (11 определений) 1143 г/т, что почти в 5 раз меньше, чем в этом же минерале из интрузивных гранитов [5].

Ряд признаков свидетельствует о том, что на минералы докембрийских гранитов наложили отпечаток метасоматические процессы, игравшие большую роль в формировании окончательного облика автохтонных гранитоидов.

Действительно, микроклины из чудново-бердичевских гранитов Украины содержат в среднем 700 г/т Rb, т. е. приблизительно в 1,5 раза больше, чем этот минерал из интрузивных гранитоидов. Как известно, повышенные содержания рубидия характерны для калиевых полевых шпатов из зон калишпатизации [24].

Сравнивая средние содержания урана и рубидия в калиевых полевых шпатах из докембрийских автохтонных и послекембрийских интрузивных гранитоидов (табл. 5), можно заметить, что первые значительно (1,5—2,0 раза) объединены этими элементами. Это также может служить указанием на метасоматическое преобразование этих пород, так как в поздних метасоматических калиевых полевых шпатах содержание урана и рубидия обычно уменьшается.

На большую роль метасоматических процессов в формировании окончательного облика автохтонных гранитов указывают высокие содержания иттриевых р.з.э. в апатите, цирконе, сфене и гафния — в цирконе из этих гранитов. Подобные исследования дают интересные результаты и при изучении минералов из других типов пород. Так, исследование трех-

валентного железа в плагиоклазах из гетерогенных габброидных пород методом ЭПР позволило установить, что в плагиоклазах магматических габброидов фиксация железа в форме комплекса F^{3+} (III) проявлена значительно слабее, чем в плагиоклазе из гибридных габброидов [12].

Заключение

Знание формы нахождения редких и рудных элементов в минералах весьма важно, так как разные формы нахождения отражают не только своеобразие генезиса минерала, а следовательно, и включающей его породы, но и неодинаковую возможность редкого или рудного элемента участвовать в миграции и мобилизации при различных метасоматических и метаморфических процессах, так как форма нахождения оказывает значительное влияние на способность элемента участвовать в процессе рудообразования.

Сравнительное изучение содержания редких и рудных элементов в одноименных минералах разного генезиса, состава, степени измененности и т. д. даст возможность оценить удельную роль отдельных факторов, оказывающих влияние на концентрацию или рассеяние редких и рудных элементов.

Геохимия минералов, изучающая особенности содержания и форму нахождения рудных и редких элементов в различных минералах, породообразующих и акцессорных, окажет большую помощь при объяснении причин изменчивости физических свойств минералов, в значительной мере зависящих от особенностей состава последних.

Для полного понимания закономерностей распределения редких элементов в горных породах нельзя ограничиваться только данными о частных или средних содержаниях редкого элемента в породе. Необходимо также иметь данные и о содержании этого элемента в слагающих породе минералах. Последнее позволяет отличать первично-магматические содержания от наложенных постмагматических.

Средние содержания рудных элементов в минералах следует рассматривать как геохимические репера, используя которые, легче проводить корреляцию интрузивных пород или судить о их рудоносности. С их помощью появляется возможность объективно судить не только о генезисе или об особенностях формирования включающей минерал породы, но и о такой важной тенденции в поведении редких и рудных элементов, как их рассеяние в ранних или накопление в поздних и постмагматических продуктах кристаллизации.

Геохимия минералов, а именно выяснение характера связи между минеральной и изоморфной формами нахождения редких и рудных элементов в рудоносных и нерудоносных породах, количественная оценка этой связи, позволит ответить на вопрос об источнике рудного вещества и реальности существования металлогенической специализации изверженных пород.

Литература

1. Аношин Г. Н., Дорош В. М., Косалс Я. А., Маликова И. Н. и др.— В кн. «Геохимические критерии потенциальной рудоносности гранитоидов». Иркутск, 1970.
2. Антипин В. С., Кузьмин М. И., Легейдо В. А.— В кн. «Вопросы геологии Прибайкалья и Забайкалья». Чита, 1967.
3. Антипин В. С., Кузьмин М. И., Пополитов Э. И., Знаменский Е. Б.— Геохимия, 1969, № 6.
4. Барсуков В. Л., Павленко Л. И.— Докл. АН СССР, 1956, 109, № 3.
5. Брей Д. М.— В сб. «Редкие элементы в изверженных горных породах и минералах». ИЛ, 1952.
6. Говоров И. Н., Недашковский П. Г., Левашов Г. Б. и др.— В сб. «Геохимические критерии потенциальной рудоносности гранитоидов». Иркутск, 1970.
7. Дегенхардт Х.— В кн. «Геохимия редких элементов». ИЛ, 1959.
8. Иванов В. С. и др.— В сб. «Вопросы геологии, геохимии и металлогении северо-западного сектора Тихоокеанского пояса». Владивосток, 1970.
9. Иванова Г. Ф., Бугузова Е. Г.— Геохимия, 1968, № 6.
10. Колюк А. А. О явлениях полярности в развитии гранитоидных интрузий.— Изв. АН КиргССР, серия ест. и техн. наук, 1960, 2, вып. 9.
11. Кузьмин М. И., Клепикова Е. А., Петров Л. Л.— В сб. «Геохимия редких элементов в изверженных горных породах». «Наука», 1964.
12. Леонов Ф. П., Щербакова М. Я., Истомина В. Е.— Геохимия, 1973, № 2.
13. Леонова Л. Л.— Геохимия, 1962, № 6.
14. Леонова Л. Л., Ренне О. С.— Геохимия, 1964, № 8.
15. Лодочников В. Н. Серпентины и серпентиниты Ильчирские и другие. М.— Л., ОНТИ, 1936.
16. Лопатин Б. Г.— Уч. зап. НИИГА. Регион. геол., 1969, вып. 14.
17. Лугов С. Ф.— В сб. «Металлогеническая специализация магматических комплексов». «Недра», 1964.
18. Ляхович В. В.— Изв. АН СССР, серия геол., 1963, № 3.
19. Ляхович В. В. Акцессорные минералы в гранитоидах Советского Союза. «Наука», 1967.
20. Ляхович В. В.— Геохимия, 1970, № 10.
21. Ляхович В. В. Редкие элементы в породообразующих минералах гранитоидов. «Недра», 1972.
22. Маликова И. Н., Поганьев В. В., Дорош В. М., Сухаренко А. В.— В кн. «Гранитоидные массивы Сибири и оруденение». Новосибирск, «Наука», 1971.
23. Одикадзе Г. Д.— Геохимия, 1968, № 10.
24. Пампура В. Д.— В сб. «Геохимия и петрология магматических и метасоматических образований», «Наука», 1965.
25. Петрова З. И., Петров Л. Л.— Геохимия, 1965, № 5.
26. Руб М. Г., Макеев Б. В., Васильева Г. Л.— Изв. АН СССР, сер. геол., 1964, № 1.
27. Сандомирский А. Я., Кравченко Н. С.— В сб. «Геохимические циклы Дальнего Востока», 1969.
28. Седов И. С. и др.— Докл. АН СССР, 1969, 187, № 2.
29. Серых В. И. Геология и геохимия позднекаледонских гранитоидов юго-восточной части Кокчетавского массива (Северный Казахстан).
30. Сидоренко А. В.— Сов. геология, 1963, № 4.
31. Сигнин А. А.— Геохимия, 1966, № 9.
32. Сотников В. И., Изюмова Л. Г.— Геохимия, 1965, № 2.
33. Токсубаева Г. П.— Материалы VIII конф. молодых ученых ВИМС. М., 1970.
34. Шеремет Е. М. Геология и геохимия раннемезозойских гранитоидов Витим-Каренгского междуречья (Северо-Западное Забайкалье). Иркутск, 1970.
35. Jedwab J.— An. Soc. Geol., Belgique, 1953, 76, № 4.
36. Montgomery A.— Am. Mineralogist, 1950, 35, № 9—10.
37. Parry W. T., Nackowski M. P.— Econ. Geol., 1963, 58, № 7.
38. Schwartz G., Leonard R.— Bull. Geol. Soc. Amer., 1927, 38.
39. Taylor S. R., Heier K. S.— Geochim. Cosmochim. Acta, 1958, 13, № 4.

Геохимия техногенеза

Геохимическая деятельность человечества, которую А. Е. Ферсман в 1922 г. предложил именовать техногенезом, до сих пор остается одним из наименее разработанных разделов геохимии. В творчестве самого Александра Евгеньевича со свойственным ему широким взглядом на вещи техногенезу уделялось много внимания. Ученый обращался к этим проблемам неоднократно [18—20]. В итоге и в наши дни работы А. Е. Ферсмана по техногенезу представляют собой наиболее глубокое и обстоятельное изложение данной проблемы.

Геохимическая деятельность человечества привлекала также внимание учителя и друга А. Е. Ферсмана — В. И. Вернадского. Этим вопросам он посвятил ряд блестящих страниц [4—6 и др.]. В. И. Вернадский подчеркивал планетарное значение деятельности человека, формирование особой земной оболочки — «ноосферы» (сферы разума). Очевидно, что понятие «ноосфера» и «техногенез» относятся к одному кругу проблем, так как именно техногенная миграция создает ноосферу.

В условиях новой научно-технической революции исследования по геохимии ноосферы и техногенеза становятся особенно актуальными, так как они во многом являются теоретической основой проблемы рационального использования природных ресурсов, охраны природы и борьбы с загрязнением окружающей среды. Не лишне напомнить, что уже в первые годы Советской власти этим вопросам большое внимание уделял В. И. Ленин.

В наши дни во всех союзных республиках приняты законы об охране природы, имеются общесоюзные законы по основам здравоохранения, землепользования, использования водных ресурсов. На IV сессии Верховного Совета СССР 19 сентября 1972 г. был рассмотрен вопрос «О мерах по дальнейшему улучшению охраны природы и рациональному использованию природных ресурсов», а в январе 1973 г. ЦК КПСС и Совет Министров СССР приняли специальное постановление по данному вопросу.

Геохимия техногенеза в трудах А. Е. Ферсмана. Интерес к этому вопросу возник у А. Е. Ферсмана уже в первые годы развития геохимии. Толчок дали впечатления заграничной поездки 1909 г., когда Александр Евгеньевич пересекал промышленные районы Германии и наблюдал горы пустой породы, долины, засыпанные шлаками, дым многих тысяч труб [19, стр. 297]. В дальнейшем А. Е. Ферсман стал анализировать техногенез с общих методологических позиций геохимии, выясняя, как зависит использование химических элементов человеком от их положения в периодической системе, размеров атомов и ионов, величин эков и веков, величин кларков [19].

А. Е. Ферсман выделил три основных геохимических типа техногенеза.

1. Процессы, направленные к уменьшению свободной энергии и образованию устойчивых соединений (например, сжигание топлива). Его осо-

бое внимание привлекает увеличение количества CO_2 в атмосфере, которое ведет к потеплению климата, усилению геохимической деятельности рек и т. д.

2. Процессы, идущие с поглощением энергии, уменьшающие энтропию, приводящие к образованию неустойчивых систем, богатых свободной энергией (например, металлургия — получение свободных Al, Fe, Zn, Cu и т. д.).

3. Получение четных элементов с ядрами типа $4q$, образующих наиболее стойкие соединения (Ca, Mg, O, Si и т. д.).

Ученый наметил шесть случаев сочетания деятельности человека и стихийных процессов природы. Так, для платиноидов он отмечает соответствие природной и техногенной миграции — в обоих случаях имеет место концентрирование. Для других элементов отмечается рассеивание природой и концентрирование человеком (Al, Zr, Hf, Au, Ra и т. д.), рассеивание в природе и обществе (B, C, O, F, Na и др.).

Уделяя много внимания энергетике техногенеза, А. Е. Ферсман пришел к выводу: «...ни в одной системе космоса мы не встречаемся с такими реакциями, которые бы шли столь очевидно в разрез с законом энтропии» [19, т. III, стр. 433].

Техногенные геохимические системы. В трудах А. Е. Ферсмана четко выявился один из объектов исследования геохимии техногенеза — процессы техногенной миграции химических элементов. Очевидно, возможен и другой ракурс — изучение не конкретных процессов техногенной миграции, а их сочетания в определенных частях планеты. В этом случае объектом исследования оказываются техногенные геохимические системы, в которых могут протекать и взаимодействовать самые различные процессы. Классификация таких систем еще не разработана, здесь, несомненно, существует определенная иерархия. Самая крупная техногенная система — вся ноосфера земли, примером более мелкой системы служит горнообогатительный комбинат или рудник. Изучение техногенной миграции в этих последних системах имеет большое практическое значение, в первую очередь для полного извлечения полезных компонентов и предотвращения загрязнения окружающей среды. Представляется, что в ближайшие годы необходимо поставить в основных рудных районах СССР специальные исследования типа «Техногенная миграция на территории N-ского горно-обогатительного комбината», «Геохимия процессов подземного выщелачивания на N-ском рудном поле» и т. д.

Разновидностью техногенных систем являются города, сельская местность, курорты и т. д., геохимия которых должна стать предметом специальных исследований, особенно в связи с проблемой загрязнения среды, судьбой минеральных удобрений и ядохимикатов, проблемой полного использования курортных ресурсов и т. д. Объектом геохимии техногенеза, очевидно, могут быть и еще более крупные техногенные системы ранга отдельных экономических районов, целых стран, групп стран и т. д.

Естественно, что при изучении этих вопросов геохимия техногенеза должна тесно соприкасаться с общественными науками, но вряд ли можно сомневаться в возможности и целесообразности специфического геохимического анализа вопроса. Не лишне отметить, что первые шаги в данном направлении связаны с именем А. Е. Ферсмана [20, 21].

Итак, объекты геохимии техногенеза весьма разнообразны — от отдельного завода, рудника до целых стран и ноосферы в целом. Како-

ва же должна быть методология подобного исследования, те общие принципы, которые позволят решить задачу?

Модели техногенеза и понятийный аппарат. Один из путей развития геохимии техногенеза мы видим в построении моделей, использовании опыта смежных разделов геохимии, разработавших самостоятельный понятийный аппарат и конкретные методы исследования.

В качестве модели локальной техногенной системы и техногенной миграции можно использовать разрушающееся рудное месторождение и образование вокруг него вторичных ореолов рассеяния. Теория этого вопроса, как известно, детально разработана в разделе прикладной геохимии, посвященном геохимическим методам поисков полезных ископаемых (труды Н. И. Софронова, А. П. Соловова, А. А. Саукова, Л. Н. Овчиникова, С. В. Григоряна и др.).

В качестве центрального понятия мы выдвигаем техногенную геохимическую аномалию, под которой следует понимать участки ноосферы с повышенным или пониженным содержанием химических элементов (относительно местного природного геохимического фона). Появление техногенных аномалий связано с деятельностью рудников, заводов, электростанций, транспорта, колхозов, совхозов и т. д., причем каждый такой объект может рассматриваться как эпицентр техногенной аномалии.

Существуют положительные и отрицательные техногенные аномалии, связанные соответственно с повышенным и пониженным содержанием элементов в аномалии относительно фона. При выделении аномалий могут быть использованы законы математической статистики, как и в теории геохимических поисков. Размеры техногенных аномалий колеблются в очень широких пределах. Рационально различать глобальные аномалии, охватывающие весь земной шар или большую его часть. Их примером служит повышение содержания CO_2 в атмосфере в результате сжигания угля и нефти или накопление Sr^{90} после ядерных взрывов.

Региональные техногенные аномалии распространяются на части материков, отдельные страны, области, зоны, провинции. Они, например, возникают в результате массового применения минеральных удобрений, ядохимикатов.

Локальные техногенные аномалии связаны с конкретным эпицентром (рудником, заводом и т. д.), их радиус не превышает нескольких десятков километров. К числу локальных аномалий относится, например, повышенное содержание металлов в почвах и водах вокруг некоторых металлургических комбинатов. Пространство, занимаемое локальной аномалией, следует именовать техногенным ореолом рассеяния.

В связи с проблемой загрязнения окружающей среды все техногенные аномалии можно разделить на три типа: к первому относятся полезные техногенные аномалии, которые улучшают окружающую среду, делают ее более пригодной для жизни человека. Их примером служит повышенное содержание кальция в ландшафтах в районах известкования кислых почв нечерноземных областей.

На создание положительных техногенных аномалий направлено иодирование поваренной соли в районах развития эндемического зоба, фторирование питьевой воды в городах с широким распространением кариеза, применение молибденовых, борных, цинковых и других микроудобрений, кобальтовой и прочей подкормки домашних животных.

Ко второму типу принадлежат вредные техногенные аномалии, ухудшающие условия существования человека, растений и животных. Эти аномалии привлекают большое внимание в связи с загрязнением атмосферы в городах, отравлением рек ртутью и т. д. Особенно катастрофическое положение создается в некоторых густо населенных районах США и Японии. В нашей стране вопрос стоит не столь остро, но все же проблема существует и ей уделяется много внимания. До сих пор эти вопросы рассматривались преимущественно с позиций биологических наук (экологии и др.), в связи с чем законы образования аномалий изучены далеко недостаточно. Здесь открывается большое поле для работы геохимиков, особенно специалистов по геохимии ландшафта [8, 13].

Наконец, можно выделить и третий тип — нейтральных техногенных аномалий, не оказывающих определенного влияния на здоровье человека. Так, например, концентрация золота в банках, железа, алюминия в городах вряд ли может служить химической причиной, влияющей на здоровье человека, растений или животных.

По среде, в которой развиваются техногенные аномалии, их можно разделить на литохимические (в почвах, породах, строениях), гидрогеохимические (в водах), атмогеохимические (в атмосфере) и биогеохимические (в организмах) техногенные аномалии. Последние в свою очередь представлены фито-, зоо- и антропогеохимическими аномалиями. Вредные аномалии в организме человека, как например, наблюдающиеся в некоторых местах Японии повышенные концентрации кадмия и ртути, являются, естественно, самыми опасными (известны новые болезни, полувившие уже специальное наименование у медиков).

Как видим, аналогия с процессами формирования вторичных ореолов рассеяния рудных месторождений позволила установить ряд понятий геохимии техногенеза и наметить приемы исследования. Проблемы геохимии техногенеза настолько актуальны, что задержка с их разработкой может иметь крайне нежелательные последствия (особенно загрязнение среды). Поэтому в целях ускорения развития этого важного раздела геохимии необходимо использовать опыт и других смежных разделов геохимии, заимствуя у них «модель техногенной миграции», понятийный аппарат и конкретные методы исследования.

Техногенные геохимические барьеры. Понятие о геохимических барьерах, предложенное нами в 1961 г., может быть распространено и на процессы техногенеза. Техногенным геохимическим барьером предлагается именовать такой участок ноосферы, где происходит резкое уменьшение интенсивности техногенной миграции и, как следствие, концентрация элементов. Существуют кислые, щелочные, испарительные, механические и прочие техногенные барьеры. Формируя техногенные барьеры, можно создавать искусственные месторождения полезных ископаемых. Так, на техногенных испарительных барьерах давно уже получают соли (создавая искусственные лагуны и т. д.). Этот путь перспективен и для создания искусственных рудных месторождений. Еще важнее создавать техногенные барьеры (щелочные адсорбционные и т. д.) на путях миграции рудных элементов в районах металлургических и химических заводов с тем, чтобы предотвратить загрязнение окружающей среды. Вопрос этот недостаточно изучен, но заслуживает внимания, так как обещает мобилизацию природных ресурсов ландшафта на борьбу с загрязнением среды (поглощение сточных вод торфами и т. д.).

использовании элементов промышленностью и их среднем содержании в земной коре [19].

Автор этой статьи предложил в 1972 г. ввести в геохимию новую функцию — технофильность химических элементов — T , равную отношению ежегодной добычи элемента (D) к его кларку в земной коре (K). На фиг. 1 по абсциссе отложена величина D , по ординате K ;

$$T = \frac{D}{K}.$$

В таблице и на фиг. 1 приведены величины технофильности большинства химических элементов для конца 60-х годов XX в. За основу подсчета величины D взяты данные Мейсона [12], преимущественно для капиталистических стран. Используются также труды И. Г. Магакьяна [11], Н. А. Быхова и др. [3].

Как мы видим, самым технофильным элементом является углерод, что мы связываем с огромной ролью энергетического сырья в жизни человечества. Многие элементы, принадлежащие к одной группе периодической системы, характеризуются и близкой технофильностью. Например, железа ежегодно добывается $3,1 \cdot 10^8$ т, а марганца в 50 раз меньше. Но относительно распространенности в земной коре — величины кларков — они извлекаются одинаково, технофильность их равна $6 \cdot 10^7$. Равны технофильности серебра и меди, ртути и кадмия, близки — хрома, молибдена, вольфрама и т. д. Вместе с тем наблюдаются и существенные различия, например у хрома, брома и иода, кальция и магния и т. д.

Таким образом, хозяйственная деятельность человека зависит от кларков литосферы, а в отдельных случаях для родственных элементов наблюдается пропорциональность между добычей и кларком, что находит выражение в близких величинах технофильности.

Технофильность является одним из важных понятий геохимии техногенеза и нуждается в дальнейшем изучении. Отметим, что на этой основе возможен прогноз добычи элементов на ближайшие годы. Так, например, технофильности магния ($1 \cdot 10^6$) и стронция ($2 \cdot 10^5$) сильно отстают от их соседей по периодической системе — Са ($2 \cdot 10^8$) и Ва ($3 \cdot 10^7$). Это заставляет предполагать быстрый рост добычи этих металлов хотя бы до $T = 3 \cdot 10^7$, как у бария, что позволяет легко рассчитать абсолютные размеры мировой добычи для магния около $6 \cdot 10^7$ т, для стронция — $1 \cdot 10^6$ т. Конечно, эти расчеты приблизительны, но в сочетании с другими методами прогноза, вероятно, могут быть полезными.

Технофильность очень динамична и для многих элементов за XIX в. изменилась приблизительно в 100 раз. На фиг. 2 показана технофильность некоторых элементов для конца 20-х и 60-х годов текущего столетия; числа для 20-х годов взяты у А. Е. Ферсмана [19, т. II, стр. 297]. Как видим, и здесь наблюдаются существенные различия, которые не может скрыть даже логарифмический масштаб.

Различия в технофильности определяют изменение химического состава культурных ландшафтов, в которых накапливаются наиболее технофильные элементы, — человечество «перекачивает» на земную поверхность из глубин элементы эндогенных рудных месторождений. В результате по сравнению с природным культурный ландшафт обогащается свинцом, ртутью, медью, сурьмой, оловом и другими элементами (см.

Таблица
Технофильность химических элементов

Элемент	Добыча в мире, по данным различных авторов, $\tau - Д$	Кларк литосферы [7] — K	Технофильность $T_1 = \frac{Д}{K}$	Элемент	Добыча в мире по данным различных авторов, $\tau - Д$	Кларк литосферы [7] — K	Технофильность $T_1 = \frac{Д_1}{K}$
С (уголь)	$1,8 \cdot 10^9$	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{10}$	Ba	$2 \cdot 10^6$	$6,5 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^7$
Cl	$5,2 \cdot 10^7$	$4,7 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^9$	F	$1,1 \cdot 10^6$	$6,6 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^7$
Au	$1,6 \cdot 10^3$	$4,3 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^9$	Na	$5 \cdot 10^7$	2,50	$2 \cdot 10^7$
Pb	$3 \cdot 10^3$	$9 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^9$	Pd	24	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^7$
Pb	$2,8 \cdot 10^6$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^9$	B	$1,5 \cdot 10^5$	$4,2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^7$
Te	$2 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^9$	Re	1	$7 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^7$
Hg	$9 \cdot 10^3$	$8,3 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^9$	Co	$1,3 \cdot 10^4$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^6$
Ag	$8 \cdot 10^3$	$7 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^9$	Zr	$1 \cdot 10^5$	$4,7 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^6$
Cu	$5,4 \cdot 10^6$	$4,7 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^9$	K	$1 \cdot 10^7$	2,50	$4 \cdot 10^6$
Sb	$6 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^9$	Mg	$2 \cdot 10^6$	1,87	$1 \cdot 10^6$
Cd	$1,3 \cdot 10^4$	$4,3 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^9$	Ti	$5 \cdot 10^5$	0,45	$1 \cdot 10^6$
Sn	$1,9 \cdot 10^5$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^8$	Ta	$3 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^6$
Br	$1,1 \cdot 10^5$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^8$	V	$7 \cdot 10^4$	$9 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^5$
Mo	$4,5 \cdot 10^4$	$4,1 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^8$	Al	$6,1 \cdot 10^6$	8,05	$7 \cdot 10^5$
Zn	$3,8 \cdot 10^6$	$8,3 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^8$	Ge	$1 \cdot 10^2$	$4,4 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^5$
S	$2 \cdot 10^7$	$4,7 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^8$	Be	$3 \cdot 10^2$	$3,8 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^5$
W	$3 \cdot 10^4$	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^8$	Nb	$1,3 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^5$
Cr	$1,4 \cdot 10^6$	$8,3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^8$	Hf	50	$1 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^5$
As	$4 \cdot 10^4$	$4,7 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^8$	Li	$1,5 \cdot 10^3$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^5$
Ca	$6 \cdot 10^8$	2,96	$2 \cdot 10^8$	In	10	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^5$
Se	$1 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^8$	Tl	$3 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^5$
P	$2 \cdot 10^7$	$9,3 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^8$	Sr	$8 \cdot 10^3$	$3,4 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^5$
U	$3 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^8$	Rb	$2 \cdot 10^8$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^5$
I	$4 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^7$	Ga	10	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^3$
Ni	$4 \cdot 10^5$	$5,8 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^7$	Th	50	$4,3 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^3$
Fe	$3,1 \cdot 10^8$	4,65	$6 \cdot 10^7$	Cs	1	$3,7 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^3$
Mn	$6 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^7$				

таблицу). Геохимический анализ этого явления и его возможные последствия должны стать предметом специального исследования.

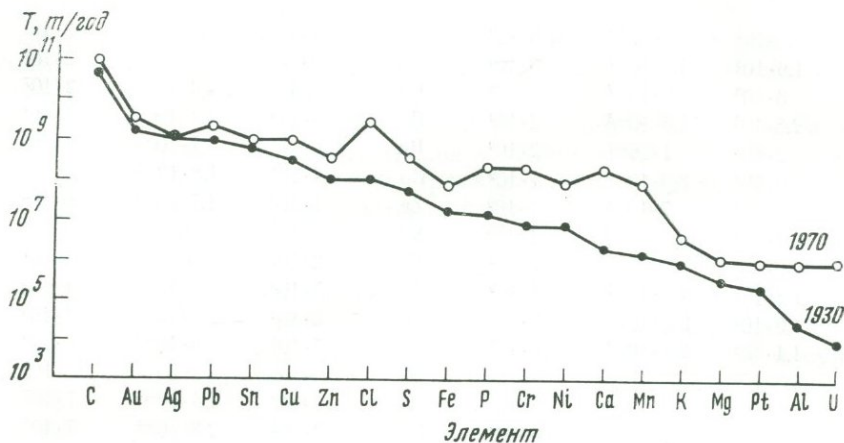
Энергетика техногенеза. Если первобытный человек ежедневно расходовал 2—3 ккал, то с покорением огня, появлением земледелия и животноводства — уже 10 ккал., а после освоения гидроэнергии, газа, нефти, угля — около 200 ккал (192 ккал на жителя США в 1965 г. [10]).

В перспективе непосредственное использование солнечной энергии, кинетической энергии вращения Земли и т. д. обещает резкий рост энергооборуженности человечества. Для техногенных систем характерно увеличение работоспособной энергии и разнообразие ее видов.

Часть энергии производит работу, но некоторая ее часть неизбежно обесценивается и выделяется в виде тепла. Это определяет «разогре-

вание» культурных ландшафтов. Пока что эффект такого разогревания невелик, хотя известно, что в зимнее время температура воздуха на улицах больших городов на несколько градусов выше, чем в окружающей сельской местности. В центре Москвы, например, теплее, чем в пригородах на 2° (главная причина — отопление жилых домов и промышленных предприятий).

В США и Западной Европе известны случаи, когда крупные тепловые электростанции сбрасывали воду в реки и озера и вызывали их «тепловое загрязнение» — разрастание синезеленых водорослей, гибель рыбы и т. д.



Фиг. 2. Технофильность элементов (Т) на конец 20-х и 60-х годов

В далекой перспективе ставится вопрос о таком генерировании тепла в ноосфере Земли, при котором его главным источником будет уже не солнечное излучение, а искусственные источники. Это приведет к коренному изменению климата планеты [2].

Существенно отметить, что в XX в. в энергетике техногенеза произошел качественный скачок — помимо традиционных видов энергии, характерных для биосферы, человек овладел новым ее видом — атомной энергией распада урана (а в перспективе и термоядерной энергией).

Информационные особенности техногенных систем. Вплоть до середины XX столетия геохимия изучала миграцию атомов на Земле и сопровождающие ее энергетические эффекты, т. е., как и другие естественные науки, исходила из вещественно-энергетической картины мира. Научно-техническая революция ввела в обиход естествознания новое фундаментальное понятие — «информацию», под которой в самом общем смысле понимают степень разнообразия систем [22]. По мнению А. И. Берга [1] в XXI столетии главным научным понятием будет не вещество, не энергия, а именно информация; нет вещества и энергии без информации. При изучении природных систем все большее значение приобретают такие информационные характеристики, как сложность, упорядоченность, самоорганизация, обратная связь и другие. Возникло представление о качестве информации, ее видах. Различают социальную, биологическую и не-

органическую информацию. Таким образом, информация приобретает значение общего свойства материи.

В техногенных системах преобладает специфическая «социальная информация», намного расширяются скорость и способы передачи информации (печать, радио, телевидение и т. д.). Происходит «информационный взрыв», хотя биологическая и неорганическая информация часто уменьшается. Например, в естественном состоянии в степи растут сотни видов растений, а для посевов пшеницы и других культур характерно уменьшение биологического разнообразия. Сводя тропический лес с его тысячами видов диких растений и создавая плантации бананов, человек еще больше уменьшает биологическую информацию.

Даже по внешнему виду культурные ландшафты нередко однообразнее природных. Например, в лесной и в степной зонах сельский культурный ландшафт приближается к лесостепному облику — частично залесенной местности, представляя собой открытые пространства с участками, засаженными деревьями (лесные полосы, сады и т. д.). Однако потеря природной информации с избытком компенсируется ростом информации за счет техногенеза. В целом, в геохимическом отношении культурные ландшафты разнообразнее природных.

Итак, техногенез приводит к росту информации, появлению новых ее видов, новых способов хранения, переработки и передачи.

Увеличение разнообразия происходит как за счет расходования текущей энергии биосферы, так и той энергии, которая была аккумулирована за миллиарды лет ее существования (главным образом в горючих ископаемых). Следовательно, рост разнообразия в техногенных системах, уменьшение в них энтропии (увеличение негеэнтропии) сопряжены с увеличением энтропии в земной коре (рассеяние месторождений полезных ископаемых, сжигание угля, нефти, горючих сланцев и газов).

В техногенных системах огромное значение приобретает обратная связь, осуществляемая в процессе передачи информации. Это управляемые системы, однако положительная обратная связь часто преобладает над отрицательной, в связи с чем для таких систем часто не характерно стационарное состояние, они не являются саморегулируемыми системами и в процессе развития все больше удаляются от стационарного состояния. Отрицательными следствиями этого служат «непредвиденные последствия хозяйственной деятельности», в том числе загрязнение окружающей среды и «стихийные бедствия» (пыльные бури, наводнения, эрозия почв и т. д.). Преодоление этих нежелательных явлений связано с усилением роли отрицательных обратных связей, позволяющих стабилизировать систему, сделать ее саморегулируемой, оптимальной.

Техногенные системы в большей степени, чем природные, представляют собой централизованные системы; для их нормального функционирования, для оптимизации необходим центр, из которого осуществляется управление системой. Вместе с тем, как правило, культурные ландшафты не имеют управляющих центров, так как отдельные их части (заводы, сельскохозяйственные поля, транспортные артерии и т. д.) управляются из самостоятельных независимых центров. Это и приводит к ослаблению роли отрицательных обратных связей, к «непредвиденным последствиям», загрязнению среды и т. д. Поэтому централизация культурных ландшафтов и других техногенных систем составляет одну из самых важных практических задач организации территории. В каждом культурном ланд-

шафте или группе ландшафтов должны быть самостоятельные центры управления, регулирующие взаимоотношения между частями, решающие задачи оптимизации.

При данном уровне развития производительных сил вполне возможно оптимальное использование природных ресурсов, когда, с одной стороны, получается наивысший хозяйственный эффект, а с другой — не происходит загрязнения среды, расхищения и разрушения производительных сил, обеспечивается их рост и развитие до уровня недоступного природе. Поэтому важнейшая практическая задача геохимии состоит в разработке теории оптимизации техногенной миграции.

Литература

1. Берг А. И., Бирюков Б. В. Кибернетика — путь решения проблем управления. — Будущее науки, 1970, вып. 3.
2. Будыко М. И. Антропогенные влияния на климат и пути его преобразования. — В кн. «Природа и общество». «Наука», 1968.
3. Быховер Н. А., Кобалидзе Л. Н. и др. Экономика минерального сырья и геолого-разведочных работ. «Недра», 1968.
4. Вернадский В. И. Очерки геохимии. Л., 1927.
5. Вернадский В. И. Несколько слов о ноосфере. — Успехи современной биологии, 1944, 18.
6. Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. «Наука», 1965.
7. Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры. — Геохимия, 1962, № 7.
8. Глазовская М. А. Техногенез и проблемы ландшафтно-геохимического районирования. — Вестник МГУ, серия геогр., 1968, № 1.
9. Глазовская М. А. Технобиогемы — исходные физико-географические объекты ландшафтно-геохимического прогноза. — Вестник МГУ, серия геогр., 1972, № 6.
10. Кэмбл А. Энергия. — В кн. «Горизонты науки и техники», «Мир», 1969.
11. Магакьян И. Г. Рудные месторождения. Ереван, 1961.
12. Мейсон Б. Основы геохимии, «Недра», 1971.
13. Перельман А. И. Геохимия ландшафта. «Высшая школа», 1966.
14. Перельман А. И. Геохимия эпитетических процессов (зона гипергенеза). Изд. 1-е, 1961, изд. 2-е, 1965, изд. 3-е. М., 1968.
15. Перельман А. И. Геохимия элементов в зоне гипергенеза. «Недра», 1972.
16. Перельман А. И. Геохимия ноосферы. — Природа, 1972, № 1.
17. Ферсман А. Е. Геохимия России, т. II. М., 1922.
18. Ферсман А. Е. Химические проблемы промышленности. Л., 1924.
19. Ферсман А. Е. Геохимия, т. II. М., 1934, т. III. М., 1937.
20. Ферсман А. Е. Полезные ископаемые Кольского полуострова. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1941.
21. Ферсман А. Е., Коган Б. И. Минеральное сырье зарубежных стран. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1947.
22. Урсул А. Д. Информация. «Наука», 1971.

В. П. ПЕТРОВ

Роль А. Е. Ферсмана в развитии учения о неметаллических полезных ископаемых

Вряд ли будет ошибочным заявление о том, что все развитие промышленности неметаллов в Советском Союзе в первую половину нынешнего века проходило под активным непосредственным влиянием Александра Евгеньевича Ферсмана. Влияние это очень сильно сказывается и сейчас, спустя более 25 лет со дня его кончины.

До сих пор сохраняют свое значение многие из огромного числа работ А. Е. Ферсмана, особенно те, где поднимались проблемы использования новых видов полезных ископаемых или давалось генетическое толкование месторождениям неметаллов. Кроме того, он вел очень большую организационную работу как по созданию новых предприятий и исследовательских учреждений, так и по составлению общих сводок по различным неметаллическим полезным ископаемым.

Организационная роль А. Е. Ферсмана исключительно велика: он умел объединять большое число специалистов вокруг той или иной идеи и направлять их мысль и энергию на решение вполне определенной практической задачи. Поэтому ниже, при показе роли А. Е. Ферсмана в развитии промышленности неметаллов оба главных направления его деятельности рассматриваются по отдельности.

История развития промышленности неметаллов в конце XIX и первой половине XX столетий, во время расцвета деятельности А. Е. Ферсмана была крайне интересной.

Если в начале XIX в. неметаллическая промышленность России использовала преимущественно отечественные материалы, то к концу века собственные месторождения были заброшены. Преобладал ввоз сырья из-за границы. Особенно велик был ввоз того неметаллического сырья, которое требовало некоторой предварительной обработки. Такую обработку обычно брали на себя зарубежные фирмы, в основном германские. Следует учесть также, что, кроме ввоза полуфабрикатов и подготовленного сырья, в конце XIX и начале XX в. весьма велик был и ввоз готовых продуктов, изготовленных за рубежом. Ввозились бумага, абразивы, огнеупоры, электротехническая продукция и многое другое, для чего в больших количествах использовалось неметаллическое сырье. Некоторой иллюстрацией этого положения может служить приводимая ниже таблица (по И. И. Гинзбургу), из которой хорошо видно последовательное увеличение общего потребления в России серы и слюды при одновременном снижении собственной их добычи.

Слюда в России не добывалась, хотя и имелись для этого все возможности. Даже полевой шпат почти на 90% ввозился из-за рубежа.

Сходным было положение и в ряде других отраслей промышленности. Так, фарфоровые заводы начали свою работу после их постройки в середине XVIII в. целиком на отечественном сырье, но уже в конце XIX в. они работали только на ввозимом каолине.

Ввоз в Россию и собственная добыча некоторых неметаллов (в т)

Год	Сера		Слюда, ввоз *	Полевой шпат	
	ввоз	собственная добыча		ввоз	собственная добыча
1890	14 288	..	...	...	...
1900	22 090	2498	8,2	2	...
1910	25 860	5,7	63	...	...
1913	25 899	—	97	11 122	1500

* В 1912 г. ввоз слюды происходил в основном из Германии (83,2%), Голландии (7%), Великобритании (5,9%), частично из Бельгии, Франции и других стран.

Характерно, что даже строительные материалы в начале XX в. ввозились в Россию в довольно больших количествах, причем не только облицовочные материалы и скульптурные мрамора, которые доставлялись обычно из Италии, но и камень для мостовых. Имеются сведения, что камень для Петербурга привозился из Швеции, в Одессу для мощения дорог — из Аргентины, а черепица для крыш привозилась на юг России из Марселя (она так и называлась «марсельская черепица»).

Недопустимость такой зависимости страны от ввоза сырья и готового продукта выявилась уже в 1914 г., когда началась империалистическая война. Потребовалась срочная организация поисков собственных сырьевых ресурсов, в первую очередь различных неметаллов, отечественные месторождения которых были совершенно неизвестны. С этой целью в Академии наук была создана Комиссия по изучению естественных производительных сил России (КЕПС), ученым секретарем которой стал А. Е. Ферсман; деятельность его во многом обеспечила успех работы Комиссии.

После Великой Октябрьской революции проблема снабжения народного хозяйства собственным сырьем становится еще более актуальной. Сразу же после окончания гражданской войны организуются широкие поиски сырья по всей стране, продолжающиеся во все более и более возрастающих темпах до настоящего времени. В этой огромной работе А. Е. Ферсман принял самое энергичное участие.

В настоящее время Советский Союз обладает месторождениями всех видов сырья, необходимых для народного хозяйства. Однако интенсивность поисковых и разведочных работ не снижается, так как рост промышленности и ее техническое перевооружение требуют выявления новых более ценных разностей сырья и улучшения географического распределения его месторождений.

Переходим к характеристике работ А. Е. Ферсмана по отдельным видам неметаллического сырья.

Бентонитовые глины. Еще будучи студентом А. Е. Ферсман в 1905 г. опубликовал обзор минералов Крыма, находящихся в коллекциях Симферопольского музея, и среди них были указаны глины Курцовского месторождения, издавна известные местным жителям как прекрасное моющее средство. Впоследствии А. Е. Ферсман (1908 г.) провел изучение еще одного глинистого минерала — палыгорскита, впервые подтвердив его минеральную самостоятельность.

Следующая работа, посвященная этим минералам, имеет уже прямую практическую направленность. Здесь имеется в виду вышедшая впервые в 1915 г. сводка А. Е. Ферсмана «Русские месторождения сукновальных глин», где был суммирован весь имевшийся на день выхода, правда тогда еще очень небольшой фактический материал.

Не ограничиваясь сбором литературного и каменного музейного материала, А. Е. Ферсман начинает непосредственное полевое изучение сукновальных глин, привлекая к этой работе своих друзей и учеников, в частности А. А. Твалчрелидзе, что имело очень большое значение для развития советской бентонитовой промышленности. Сводка по русским сукновальным (монтмориллонитовым) глинам в значительно дополненном измененном виде публиковалась еще два раза — в 1916 и 1919 гг. Последняя публикация сводки сохранила свое значение до настоящего времени. Кроме непосредственного описания месторождений глин, в последней из сводок А. Е. Ферсман дает обзор использования этой глинистой породы, которое тогда было весьма незначительным во всем мире (добыча в 1911 г. в США достигала всего лишь 40 тыс. т), и предвидит его значительное расширение в будущем. Как мы теперь знаем, А. Е. Ферсман не ошибся и в этом отношении.

Если во время выхода первых работ А. Е. Ферсмана, как и в Древнем Риме, сукновальные глины использовались только для мытья и валяния шерсти¹, то во время первой мировой войны положение коренным образом изменилось; эти глины стали одним из важных полезных ископаемых. Произошло это вследствие того, что отчетливо выявилось огромное значение бензиновых моторов и как следствие этого началось усиленное развитие нефтяной промышленности. Потребовались специальные методы очистки бензина, и пригодными для них оказались эти же самые глины. Лучшими качествами для данной цели на первых порах обладали глины, добываемые на месторождении Аттапульго, во Флориде. Поэтому позднее все глины, используемые для очистки нефти, стали называть флоридиновыми.

В 1922—1924 гг. в Баку началось восстановление нефтяной промышленности; необходимо было разработать методы очистки советского бензина, без чего он не мог конкурировать с американским бензином на внешнем рынке. В первые годы очистка бакинского бензина велась с помощью американских — флоридских глин, которые приходилось ввозить в весьма значительных количествах. Тогда же А. А. Твалчрелидзе, пользуясь опытом исследований, начатых еще во время работ с А. Е. Ферсманом, предложил использовать в качестве отбеливающих материалов глины из месторождения Гумбри в Грузии. Глина эта успешно заменила импортную, и до сих пор Гумбри является основным месторождением отбеливающих глин в СССР.

Для проведения работ по изучению адсорбционных глин в Тбилиси под руководством А. А. Твалчрелидзе и С. С. Филатова был создан Кавказский филиал ВИМС, сейчас преобразованный в самостоятельный институт (КИМС), который продолжает быть ведущим исследовательским учреждением по изучению сорбционных глин, эту работу ведут ученики

¹ Отсюда латинское и русское название этих глин — фуллеровые или сукновальные земли (фуллон — сукновал), а также грузинское народное название — тавис-абани-мица (глина для мытья головы).

А. А. Твалчрелидзе — геолог Г. А. Мачабели и технолог М. С. Мерабишвили.

За прошедшие сорок лет профиль использования монтмориллонитовых глин еще раз резко изменился. Введение крекинга в нефтяное производство резко снизило использование отбеливающих глин, зато появились новые виды потребления сукновальных глин, основанные в первую очередь на их коллоидных свойствах. Наибольшей коллоидностью обладали щелочно-монтмориллонитовые глины окрестностей форта Бентон в США, откуда и пошло название «бентонитовые глины». В последнее время и сукновальные, и отбеливающие флоридиновые глины часто называют бентонитовыми.

Появление новых требований к глинам привело к необходимости более широких поисков монтмориллонитовых глин в Советском Союзе. Поиски эти интенсивно ведутся по всей территории, для чего созданы исследовательские ячейки, кроме Кавказа, в Казани, на Украине, в Казахстане и Узбекистане, в Новосибирске и Владивостоке, во всех этих поисках несмотря на то, что о свойствах глин сейчас известно значительно больше, чем во времена А. Е. Ферсмана, постоянно приходится возвращаться к исключительно полной и содержательной его сводке «Русские месторождения сукновальных глин». Вышеупомянутая глина из флоридского месторождения Аттапульго в сороковых годах детально изучалась новейшими методами, причем было установлено, что ее слагает своеобразный листовый глинистый минерал, который получил название аттапульгита. Очень скоро было выяснено, что американский аттапульгит и русский палыгорскит — это один и тот же минерал, и название палыгорскит имеет явный приоритет. В установлении этой идентичности большую роль сыграла старая работа (1908 г.) А. Е. Ферсмана по изучению группы палыгорскита.

Цеолиты, как и глины, входят в число самых ранних объектов изучения А. Е. Ферсмана. Еще в 1905 г. им уже были описаны отдельные крымские цеолиты; впоследствии он приступает к детальному изучению этой группы минералов, сначала приводя описание некоторых редких их форм. Так, гмелинит был описан им еще в студенческие годы (1906 г.). Позднее А. Е. Ферсман начал публиковать работы, которые объединил под общим названием «Материалы к исследованию цеолитов России» (1908, 1909, 1913, 1916 гг.). В итоге этих работ в 1916 г. был общий обзор цеолитов в России, который и до сих пор сохранил свою актуальность.

Хотя в те и последующие годы цеолиты не рассматривались как источник промышленного сырья и представляли лишь чисто научный интерес как своеобразное явление в мире минералов, Александр Евгеньевич не мог этим удовлетвориться; он публикует в журнале «Природа» (1912 г.) специальную заметку, в которой предсказывает большую практическую значимость цеолитов. В настоящее время прогноз его вполне оправдался. Цеолиты изготавливаются в больших количествах искусственно и служат весьма высококачественными адсорбентами и так называемыми молекулярными ситами. Они широко используются в химической промышленности для разделения продуктов синтеза из различных смесей, причем с их помощью иногда могут быть разделены соединения, имеющие одинаковый состав, но разную структуру. Крупным потребителем цеолитов является нефтяная промышленность, использующая их

для разделения нефтяных потоков. Широкие перспективы имеет использование дешевых цеолитов в массовых количествах для очистки сточных вод, для захоронения вредных компонентов промышленных отходов и для других подобных целей. Здесь применение естественных цеолитов очень целесообразно. Велись и довольно успешно исследования по разработке методов получения глинозема из цеолитов, основанных на легкой разлагаемости последних в кислотах. Однако разработка известных уже месторождений цеолитов для этой цели пока не может еще считаться рентабельной.

В настоящее время в СССР ведутся интенсивные поиски крупных месторождений пород с относительно высоким содержанием цеолитовых минералов. Выявлены отдельные пласты, в основном сложенные цеолитами (наиболее часто — цеолит клиноптилолитового типа), осадочные по своему генезису, т. е. такие, которые во время работы А. Е. Ферсмана совершенно не были известны. Однако материалы по цеолитам, приводимые им, настолько обстоятельно изучены и настолько содержательны, что не потеряли своего значения и в настоящее время.

Драгоценные камни. Классические труды А. Е. Ферсмана: «Драгоценные и цветные камни», более ранний — «Драгоценные и цветные камни России», а также изданные уже после смерти автора — «Очерки по истории камня», являются уникальными в мировой литературе по глубине изложения и широте охвата проблемы, и сейчас ни один автор, публикующий работы в области цветных и дра-



А. Е. ФЕРСМАН после возвращения из экспедиции на оз. Имандру, 1930 г.

гоценных камней, не может не пользоваться этими трудами как важнейшим справочником.

Интересоваться драгоценным камнем А. Е. Ферсман начал с самых первых дней своей исследовательской работы. Уже в 1912 г. он публикует свои очерки по уральским месторождениям драгоценных камней, к 1921 г. составляет весьма полный обзор месторождений драгоценных и поделочных камней этого района, а в 1925 г. выходит в свет его знаменитая работа по результатам изучения изумрудных месторождений Урала. Эта работа должна быть отмечена особо, так как в ней рассматриваются не только вопросы генезиса изумруда, но и проблема контактных взаимоотношений жил гранитных пегматитов и вмещающих ультрабазитов, равно как и вопросы генезиса реакционных оторочек, в том числе и генезиса амфиболовых пород. Напомним, что все практически важные месторождения антофиллит-асбеста и нефрита представляют собой именно такие амфиболовые оторочки.

Хотя сводки по драгоценному и цветному камню были написаны А. Е. Ферсманом через много лет после войны и революции, но пользовался он в них главным образом дореволюционным материалом; несмотря на это указанные сводки очень долго являлись последним словом науки. Причина этого в значительной мере заключается в том, что советская страна, будучи занята послереволюционным строительством, разрушительной войной с гитлеровскими захватчиками и послевоенным восстановлением народного хозяйства, не могла уделить должного внимания драгоценному камню несмотря на его большую ценность на мировом рынке. Только в последние годы начались планомерные поисковые работы на драгоценный и поделочный камень, причем получены значительные дополнения к материалам ферсмановских сводок, главным образом по поделочному камню. Из новых достижений в этой области надо упомянуть в первую очередь открытие месторождений алмазов — этого важнейшего драгоценного и технического камня, бирюзы, агатов (как для техники, так и для ювелирного дела), хризопраза в коре выветривания ультрабазитов, а также разведку камерных пегматитов Вольни с их топазом, открытие месторождений жадеита, нефрита, выявление новых участков распространения ляпис-лазури и родонита.

Все эти события позволяют нам в настоящее время несколько иначе оценивать ресурсы драгоценного и поделочного камня в Советском Союзе, но несмотря на это, каждый раз, когда приходится встречаться с поделочным и ювелирным камнем, необходимо вновь обращаться к сводкам А. Е. Ферсмана и начинать свои исследования с тщательного пересмотра всего приводимого в них огромного материала.

Пегматиты и пегматитовое минеральное сырье. Уже изучение уральских драгоценных камней, приуроченных к занорышам в пегматитовых жилах, заставило А. Е. Ферсмана рассмотреть весь пегматитовый процесс и связь его с общей схемой кристаллизации гранитной магмы в местах ее внедрения. В результате такого рассмотрения у него создано вполне отчетливое представление об общей закрытости процесса и об образовании пегматитовых тел в результате самостоятельной непрерывной эволюции обогащенного водой магматического расплава вне всякой связи с материнским магматическим очагом. Эти представления находились в резком противоречии со взглядами американских авторов,

предполагавших серию последовательных переработок застывшей магматической породы более поздним флюидом. Иначе говоря, этими авторами пегматитовая жила рассматривалась в непрерывной связи с материнским интрузивом. В Советском Союзе против представлений А. Е. Ферсмана очень резко высказался акад. А. И. Заварицкий. Возникла весьма интенсивная дискуссия, продолжающаяся в различных формах до настоящего времени. Однако сейчас взгляды А. Е. Ферсмана являются практически общепринятыми как в СССР, так и за рубежом, в частности, вышедшая в 1969 г. статья американских ученых Джанса и Борнхема о генезисе пегматитов в общем повторяет представления А. Е. Ферсмана, дополняя и подтверждая их данными новейшего физико-химического эксперимента.

Роль исследований А. Е. Ферсмана в учении о генезисе пегматитов и об условиях застывания магмы следовало бы посвятить специальную статью, здесь же нас особенно интересует проблема тех неметаллических полезных ископаемых, которые связаны с пегматитовым процессом. Сюда, в частности, относятся слюда и полевоы шпат — материалы исключительно важные для народного хозяйства.

История слюдяной промышленности крайне интересна. Напомним, что в XVII—XVIII вв. слюда была особенно ценным материалом, использовавшимся в окнах и фонарях для защиты от ветра. Однако редкость слюды и высокая стоимость делали возможным ее использование для «застекления» только окон дворцов и самых крупных церквей. Слюда в Западную Европу поступала из месторождений Сибири и Карелии, обычно через Москву (или Московию), что отражено в самом названии этого вида полезного ископаемого — мусковит. Развитие стекольного производства и применение в окнах стекла совершенно прекратило слюдяной промысел. Но в начале нынешнего столетия вновь возникла потребность в слюде, на этот раз — для электротехнической промышленности, где до сих пор слюда является совершенно незаменимым электроизоляционным материалом. Для промышленности капиталистического мира слюда поставляется из замечательных бихарских и раджастанских месторождений Индии.

В СССР только после революции был сделан упор на выявление собственных слюдяных месторождений, и в этой работе А. Е. Ферсман принял живейшее участие. По его инициативе для исследования карельских пегматитовых жил был направлен И. И. Гинзбург. Эти исследования, сопровождавшиеся архивными изысканиями, увенчались успехом: были найдены старые слюдяные ямы и открыты некоторые из разрабатываемых сейчас месторождений.

Одновременно были собраны сведения о старых слюдяных разработках Сибири; архивные данные о них приведены в специальной сводке А. Е. Ферсмана и нескольких статьях, помещенных им в журнале «Природа» (1915—1917 гг.). Эти указания послужили основанием к организации поисков слюды, которые, как известно, привели к открытию крупнейшего Мамского слюдоносного поля.

Помимо личных работ А. Е. Ферсмана, для развития слюдяной промышленности имели крупное значение организованные им исследования карельских пегматитов А. Н. Лабунцовым и поддержанные им исследования Н. В. Петровской и Альтгаузена, выполненные в начале 30-х годов на Маме. Результаты этих исследований не устарели, а описанные

впервые Н. В. Петровской гигантомигматиты являются и сейчас одним из важнейших типов слюдяных месторождений.

Организации добычных работ на слюду в Карелии сопутствовала организация добычи на этих рудниках керамического полевого шпата, крайне дефицитного не только в нашей стране. В развитии этой промышленности, кроме теоретических основ, которые давала ферсмановская теория пегматитообразования, большую роль сыграла и личная роль А. Е. Ферсмана, организовавшего три совещания КЕПС по полевому шпату. На этих совещаниях были определены технические требования к полевому шпату и поставлен очень четко и решительно вопрос об использовании графического пегматита в керамике. Успешное осуществление этих мероприятий способствовало значительному снижению остrotы проблемы керамического полевошпатового сырья.

Несмотря на то, что с начала освоения карельских пегматитов для добычи полевого шпата прошло уже более 50 лет, эти месторождения остаются в СССР основным источником полевошпатового сырья для керамики. В последние годы наметилась возможность получения непегматитового полевого шпата без помощи ручной отборки, однако пока после механического обогащения этот полевой шпат может быть использован только для нужд стекольной промышленности.

Проблема апатитов. Роль А. Е. Ферсмана в открытии и освоении апатитовых месторождений хибинских тундр общеизвестна. Укажем здесь только на два ее важнейших аспекта. Во-первых, до открытия хибинских месторождений апатит не рассматривался как существенный источник фосфора, и во всяком случае нигде в мире не было известно крупных апатитовых месторождений. Нужен был талант А. Е. Ферсмана для того, чтобы в первых найденных апатитовых валунах увидеть огромные перспективы снабжения страны фосфором, определяющим судьбу дальнейшего развития сельского хозяйства. Во-вторых, следует особо отметить, что А. Е. Ферсман с самого начала эксплуатации месторождения проектировал ее как комплексную, с использованием полностью компонентов апатито-нефелиновой породы. Для этого изучались все возможные пути применения попутных продуктов, например, известный сейчас кристаллограф академик Н. В. Белов выполнил тогда по заданию А. Е. Ферсмана одну из первых своих исследовательских работ, посвященную дублению кожи с помощью нефелина. Не все выполненные тогда исследования дали конкретные результаты, но некоторые принесли огромную пользу; так, уже вошло в практику использование нефелина в стекольной шихте и получение глинозема из нефелинового сырья. Следует, однако, отметить, что потребление хибинского апатита настолько велико, что использована может быть только часть нефелиновых отходов.

Открытие хибинских апатитовых месторождений позволило организовать производство в больших масштабах, необходимых народному хозяйству фосфорных удобрений и дало ценнейший экспортный продукт. Оно имело еще одно крайне важное следствие: апатит стал рассматриваться как важнейшее минеральное сырье, наиболее высококачественное и наиболее легко извлекаемое из руд. Это привело к тому, что сейчас и за рубежом, и в нашей стране уже известны рудные точки, где может быть организована экономически выгодная добыча апатитовых руд.

Проблемы серы. Серная промышленность в нашей стране организована довольно поздно, но истоки ее также надо искать в деятельности

А. Е. Ферсмана. Еще в 1917 г. им был дан обзор серной промышленности России и изучены крымские месторождения серы, не имевшие, впрочем, практического значения. Следующим этапом в развитии серной промышленности были знаменитые экспедиции А. Е. Ферсмана и Д. И. Щербакова в центр каракумской пустыни, на серные бугры. Хотя эти месторождения в те годы были крайне труднодоступны, тем не менее указанные экспедиции имели огромное значение уже потому, что к проблеме освоения серных месторождений было привлечено внимание исследователей, была организована добыча серы, были предложены (П. А. Волковым) первые, правда еще очень несовершенные автоклавы для экономически выгодной выплавки серы; это было большим шагом вперед, по сравнению с применявшейся в Италии методикой выплавки серы в кучах — «калькаронах», где терялась, сгорая, значительная ее часть. Опубликованная в 1927 г. под редакцией А. Е. Ферсмана сводка по месторождениям серы стала основным руководством к освоению этих месторождений.

Серный завод в Центральных Каракумах не стал крупным серодобывающим предприятием, но имел большое значение как начало серной промышленности. На основе опыта его освоения впоследствии развилась добыча серы на старых поволжских серных месторождениях, на месторождении Шорсу в Средней Азии, известном своими замечательными серными кристаллами, и особенно — на вновь открытом месторождении Гаурдак в Туркмении, которое сейчас является одним из наиболее крупных, и, наконец, уже в послевоенное время на серных залежах Прикарпатя, которые сейчас дают наибольшие количества серы для народного хозяйства.

Конечно, и Крымские месторождения, и Каракумские серные бугры по своим масштабам во многом уступают современным серным месторождениям-гигантам в Прикарпатье и Гаурдаке, но это были первые центры; многие закономерности, установленные А. Е. Ферсманом и Д. И. Щербаковым на этих месторождениях, имеют значение и для месторождений, разрабатываемых теперь.

Другие неметаллы. А. Е. Ферсман являлся или инициатором разработки всех перечисленных выше крупных проблем, или главным действующим лицом, приложившим талант исследователя к их решению. Кроме того, А. Е. Ферсман опубликовал большое число работ, так или иначе связанных с другими неметаллическими полезными ископаемыми. Среди них следует упомянуть серию работ, посвященных соляным месторождениям: обзор калиевых месторождений Эльзаса (1915 г.), изучение гипсо- и солеосаждения в Сакском озере (1919 г.), проблема Кара-Богаза (1931 г.). Некоторые наблюдения А. Е. Ферсмана над солеосаждением вошли в основной фонд изучения солей. Таковы, в частности, его представления о кристаллизации «иголок» гипса и «лодочек» соли, которые позволяют отличать в солях прямое и перевернутое залегание и выявлять характер метаморфизма.

В годы первых пятилеток огромное значение имели исследования, проводившиеся А. Е. Ферсманом по изучению природных абразивов. В условиях капиталистического окружения, когда в нашу страну из-за рубежа не продавали ни наждака, ни алмазов, вопросы организации производства абразивов в Советском Союзе буквально лимитировали развитие металлургии и машиностроения, и привлечение внимания к поис-

кам абразивных материалов, что делалось в ряде статей А. Е. Ферсмана (1935 г.), было крайне важно.

Следует отметить также многочисленные статьи А. Е. Ферсмана, посвященные алмазу как минералу, как драгоценному камню и как техническому продукту, написанные в 1911, 1912, 1914, 1915, 1924, 1925 гг.

Организационная деятельность А. Е. Ферсмана. Организационную роль А. Е. Ферсмана чрезвычайно трудно отделить от его научной работы. Как правило, занимаясь какой-либо проблемой, он группировал вокруг себя коллектив исследователей, иногда самого различного исследовательского профиля, и в результате проблема оказывалась решенной быстро и всесторонне. Обычно каждое такое исследовательское направление завершалось широким совещанием и публикацией специального сборника статей по проблеме, где чаще всего ведущей была статья самого А. Е. Ферсмана.

Уже в начале своей деятельности в Академии наук, в 1915 г. А. Е. Ферсман стал во главе созданной при его активном участии Комиссии по изучению естественных производительных сил России (КЕПС), роль которой в учете и освоении природных богатств страны исключительно велика. В первые годы работы КЕПС было начато издание многотомной серии «Естественные производительные силы России», в которой впервые приведен широкий обзор ресурсов страны. Издание это, которое возглавлял А. Е. Ферсман как секретарь КЕПС, было разбито на следующие шесть томов: I. Ветер как двигательная сила, II. Белый уголь, III. Артезианские воды, IV. Полезные ископаемые, V. Растительный мир и VI. Животный мир. Четвертый том разбивался на 45 выпусков, из которых три были посвящены каустобиолитам: ископаемым углям, нефти и озокериту, природным газам. В последнем выпуске значительное внимание уделялось источникам гелия, который тогда особенно интересовал специалистов как газ для воздушно-плавления. Из остальных 42 выпусков 20 освещают ресурсы металлов и 22 — неметаллических полезных ископаемых. Видимо, в этом распределении сказались и личные интересы А. Е. Ферсмана.

Параллельно с изданием справочника КЕПС при участии А. Е. Ферсмана начато было издание «Химико-технического справочника», вышедшего в 1923 г., в котором все статьи о минеральном сырье были написаны А. Е. Ферсманом и Д. И. Щербаковым.

В 1920 г. А. Е. Ферсман был назначен председателем Ученого совета Северной научно-промышленной экспедиции, результаты работы которой были исключительно велики, особенно в части освоения и открытия полезных ископаемых Кольского полуострова и Карелии. Эта экспедиция начала изучение Хибин, полевых шпатов и слюды Чупы и ряда других месторождений Севера.

Исследования многих специалистов, проводившиеся по планам КЕПСа, доставили весьма обильный и широкий материал, который не мог быть освещен в сборниках естественных производительных сил, поэтому уже в 1916 г. было начато параллельное издание серии «Материалы КЕПСа», которая выпускалась примерно до 1930 г. Всего в этой серии вышла 81 книга, из которых в каждой приводилось широкое освещение какого-либо одного вопроса. Надо отметить, что и в этом издании отразились личные интересы А. Е. Ферсмана: из 81 книги 43 посвящены геологии, а большая часть последних (35 книг) освещает проблемы неметаллических полезных ископаемых.

Некоторые из этих сводок сохранили свою актуальность до сих пор.

Уже в середине двадцатых годов А. Е. Ферсману стала ясна необходимость издания обобщающей сводной работы по неметаллическим полезным ископаемым. К ее написанию он привлек всех наиболее крупных специалистов того времени. В результате такая монографическая сводка была составлена в сжатые сроки и вышла в свет в 1926 г. Несмотря на относительную краткость (три тома общим объемом около 100 печатных листов), — это уникальный по полноте справочник, подобного которому нет и не было в мировой литературе. Статьи были написаны большим коллективом авторов, но весь сборник получился весьма компактным и однородным, что объясняется очень четкой схемой, по которой составлялись статьи и внимательной редакцией, проводившейся А. Е. Ферсманом. В каждой статье, посвященной отдельному полезному ископаемому, были две главные части — общая и специальная. В первой части освещались общие вопросы оценки каждого вида сырья, давалось описание важнейших мировых месторождений, мировой добычи, методов добычи и обогащения, оценки качества, путей использования и потребностей. В специальной части освещались вопросы о положении с данным сырьем в СССР. Рассматривались эксплуатируемые и перспективные месторождения Советского Союза, существующая промышленность, возможность экспорта. В заключении давались краткие справочные сведения по экономике сырья, таможенным тарифам, тарифам перевозок, главнейшим фирмам, выпускающим и потребляющим данный продукт, приводился список специалистов в СССР. Заканчивался каждый обзор списком литературы. Схема эта является весьма рациональной и до сих пор ее придерживаются все последующие подобные издания.

В 1938—1939 гг. под руководством А. Е. Ферсмана и при его непосредственном участии было предпринято издание новой — расширенной десяти томной сводки по неметаллам. К сожалению, война прервала это издание. Из 10 томов вышло только четыре (1, 2, 4 и 5), которые несмотря на известную неполноту являются ценнейшим материалом и до сих пор служат настоящим справочником для всех специалистов, изучающих неметаллические полезные ископаемые.

Заканчивая этот очерк, я не могу не вспомнить грозный 1942 год, когда по инициативе А. Е. Ферсмана в Свердловске и в Миассе было создано совещание специалистов, изучающих неметаллические полезные ископаемые. В задачу совещания входил пересмотр планов исследований с целью достижения наибольшей отдачи для нужд фронта. Совещание имело огромное значение и во многом способствовало познанию наших ресурсов и правильному направлению работ. Впечатляющим было заключительное слово А. Е. Ферсмана, в котором он обрисовал значение совещания, направление дальнейших работ и их значения для фронта, и кроме того, дал анализ военного положения нашей страны. Несмотря на крайне тяжелые военные условия лета 1942 года, когда враг рвался к Волге и на Кавказ, А. Е. Ферсман уже видел благоприятный перелом событий, растущую мощь нашей армии и предсказывал победу, не скрывая, однако, больших трудностей и в тылу и на фронте, и длительности военной борьбы.

Он призывал участников совещания умножить усилия для всемерного обеспечения фронта и тыла всеми видами неметаллических полезных ископаемых, необходимых для одержания победы.

Пироксено-магнетитовые кварциты и метаосадочные пироксениты Приазовья

Рассматривая вопросы геохимии железа и условия формирования железорудных месторождений А. Е. Ферсман [19] среди разнообразных генетических типов отмечал «метаморфическое превращение древних песков или железистых осадков в магнетитовые кварциты или гнейсы», причем «особый тип осадочных скоплений железа связан с магнетитовыми песками, особенно на морском побережье (Мариупольский район)»...

Эти магнетитовые пески на северном побережье Азовского моря были детально изучены П. Н. Чирвинским из района станицы Новониколаевской [21]; в них, кроме господствующего магнетита, оказались ильменит и титаномagnetит, а также ортит, ставролит, андалузит, силлиманит, разнообразные гранаты, слюды и др., т. е. весь комплекс минералов, унаследованный от частичного размыва и переотложения архейских кристаллических сланцев Приазовского массива и почти полного размыва, по-видимому, залежавших на них протерозойских пород. Последние в виде редких останцев (например, слюдистых андалузито-ставролитовых, слюдисто-графитистых сланцев осипенковской свиты) сохранились еще в тектонических депрессиях, во многом по своему составу и степени метаморфизации напоминая нижние толщи протерозойских криворожских железорудных отложений. Размыв происходил как в каменноугольное время, так и в мезозое-кайнозое. Еще в 1925 г. В. С. Попов установил широкое распространение обломков ставролита, андалузита, гранатов, слюд, железорудных минералов в карбоновых песчаниках Донбасса, а в северо-восточной части киммерийского Азово-Черноморского железорудного бассейна, в пределах Мариупольского района сейчас известна циркон-ильменитовая терригенно-минералогическая провинция [22]. В тяжелой фракции этих железорудных осадков резко преобладает ильменит при подчиненном содержании циркона и типичных кристаллически сланцевых минералов — альмандина, дистена, силлиманита, андалузита, рутила и др. Терригенный ильменит, как отмечают авторы, по своей макро- и микроскопической характеристике практически не отличим от ильменита, имеющегося в первичных каолинах коры выветривания на кристаллических породах восточной части Приазовского массива. Последние, очевидно, широко размывались в третичное время и, в частности, являются источником терригенного материала, отложившегося в Киммерийском море.

Магнетитовые пески, о которых писали А. Е. Ферсман и П. Н. Чирвинский, были по существу поисковым признаком на коренные магнетит- и ильменитсодержащие породы вблизи северного побережья Азовского моря. Эти рудоносные породы действительно были обнаружены (более чем через 30 лет) магнитометрическими, а затем и буровыми работами в районе широко теперь известных Мариупольских месторождений.

Рудные магнетитовые кварциты этого месторождения в Приазовье представляют собой своеобразный по составу и структурно-текстурным особенностям тип железной руды в докембрийских толщах Украины. Стратиграфически подчиненные метаосадочным толщам тетерево-бургской свиты [7], прерывисто прослеживаемой от бассейна р. Буга на западе до левого бережья р. Кальчик на востоке, рудные кварциты закономерно сочетаются в геологическом разрезе с пластами и пачками серобелых полевошпатовых кварцитов, высокоглиноземистых (силлиманит-кордиеритовых, местами с корундом) сланцев, согласно чередующихся (то с резкими, то с постепенными переходами) с графитовыми, графит-биотит-гранатовыми или графит-биотит-силлиманитовыми гнейсами; для графитсодержащих пород характерно почти постоянное присутствие, кроме биотита и граната, также ильменита, халькопирита и сульфидов железа [12].

При детальном изучении архейской рудоносной и рудовмещающей толщи центрального Приазовья устанавливается седиментационная цикличность и ритмичная слоистость с чередованием грубо- и крушозернистых осадочных пород (давших впоследствии метатравелиты, белые и серые полевошпатовые кварциты, гранато-биотитовые гнейсы) и тонкозернистых и пелитоморфных осадков, метаморфизованных в силлиманито-гранато-биотитовые и графито-силлиманито-биотитовые гнейсы, в широкосено-амфиболовые (часто с биотитом или гранатом) плагиоклазовые основные сланцы и гнейсы и в магнетито-пироксеновые кварциты [13, 11, 4]. Переход от терригенной пачки к железорудной и от последней к кроющей, существенно гнейсовой — постепенный, через зону переслаивания пород соседних пачек; между магнетит-широкосеновыми кварцитами местами расположены маломощные прослои серпентинизированных «метаультрабазитов», не выходящих обычно за пределы пироксено-магнетитовых кроющих и подстилающих пород и, возможно, представляющих собою в ряде случаев измененные парапироксениты; в средней части гнейсовой пачки часто встречаются сопряженные с графитом прослои эвлизитов (фаялит + эвлит + геденбергит с примесью граната, иногда кварца) [5, 15].

В Северной и Центральной частях Мариупольского рудного поля в настоящее время выделяются семь таких циклов осадконакопления. В конце почти каждого цикла отлагались карбонатные породы (мраморы и кальцифиры).

Эти глубокометаморфизованные (в гранулитовой фации) метаосадочные образования Центрального Приазовья перекрываются полимигматизированной гнейсовой толщей с мощностью до 4,5 км, относящейся к каратышской свите; по составу темноцветных компонентов и текстуре «просвечивающих» мигматизированных пород — это главным образом биотитовые, амфиболовые, амфибол-биотитовые, пироксеновые и гранатовые гнейсы, между которыми нередко наблюдаются реакционные отношения, направленные (ретроградно) в область амфиболитовой фации метаморфизма.

Среди мигматизированных пород широко развиты пластовые и линзовидные тела анатектических плагиогранитов и пегматитов, а сами гранитоидные инъекционные (часто разнонаправленные и пересекающиеся) слои состоят главным образом из кварц-плагиоклазового материала, местами с микроклином.

Архейский метаморфический (гнейсовый) комплекс Приазовья образует две свиты: темрюкскую и сачкинскую, разделяющиеся, в частности, по степени графито- и железонасыщения.

Важное значение в составе немигматизированных гнейсовых пород в районе Старо-Крымского графитового месторождения по р. Кальчик имеют пироксеновые (до 60% диопсид-авгита), двупироксеновые и пироксено-амфиболовые основные парагнейсы и параамфиболиты (до 70% роговой обманки) с основным плагиоклазом, нередко с примесью альмандина, графита или биотита [13]; а западнее в разрезе Мариупольского железорудного месторождения появляются (или там они сохранились от размыва) новые фации: устойчиво прослеживаются пироксено-магнетитовые и магнетито-пироксеновые кварциты, местами особенно вблизи зальбандов рудных пачек дающие согласные переслаивания и постепенные переходы в безрудные полосчатые кварцито-пироксенитовые породы с прослоями и линзами, почти миноминеральных парапироксенитов.

Пироксеносодержащие или богатые пироксеном (ромбическим или моноклинным, а также двупироксеновые) гнейсы и кварциты представляют собою, очевидно, характерную фацию для осадочно-метаморфических архейских толщ тетерево-бугской свиты на Украине: кроме Приазовья, они имеются в Приднестровье и на Побужье. В районе же Володарских магнитных аномалий (в 130 км к юго-западу от Киева) диопсид-гиперстен-лабрадоровые бескварцевые кристаллические сланцы залегают в виде согласных прослоев также среди железисто-кремнистых пород [23].

Рудные магнетитовые кварциты Мариупольских месторождений по своему составу довольно однообразны. Кроме кварца, они содержат пироксен — ромбический или моноклинный (иногда являются двупироксеновыми), гранат, амфиболы. Незначительное развитие в рудных кварцитах имеют темно-бурые и зеленовато-бурые слюды, в основном метасоматического характера; встречаются они в виде тонких оторочек вокруг зерен магнетита или образуют чешуйки в кварц-магнетитовой массе, главным образом вблизи контактов рудных кварцитов с инъекционными микроклин-плагиоклазовыми гранитами.

По текстурным признакам среди магнетитовых кварцитов можно выделить широко развитые на всех участках тонко- или грубополосчатые разновидности (с 20—25% магнетита), имеющие различный структурный рисунок, а также массивные сливные магнетитовые тела, с содержанием магнетита до 70—85%; они образуют согласные прослои мощностью 20—25 см, гнездообразные выделения или ветвящиеся прожилки с очень колеблющейся мощностью — обычно вблизи гранитных инъекций. Вблизи контактов последних с магнетитовыми кварцитами встречаются также эндоконтактные и экзоконтактные выделения почти миноминерального магнетита и собирательно перекристаллизованного сливного кварца, явно связанных с дифференциацией материала соседствующих магнетито-кварцитовых пластов. Частично резорбированные и перекристаллизованные ксенолиты рудного кварцита имеются местами и в самих гранитах. В состав массивных собирательно перекристаллизованных руд, кроме магнетита, входят (в %): моноклинный или ромбический пироксен 10—15, апатит 1—2, альбит 1—2, кварц до 1.

В магнетите из кернов некоторых таких перекристаллизованных руд, например на Северном и Демьяновском участках, установлено значительное содержание TiO_2 (до 5%), т. е. примерно в 10—15 раз более

высокое, чем в магнетитах из обычных магнетит-пироксеновых кварцитов, расположенных в удалении от гранитных инъекций и зон тектонического смятия (табл. 1).

Кроме титана, в массивных магнетитовых обособлениях Северного участка обнаружены (пропорционально увеличившейся почти втрое концентрации железа) повышенные содержания галлия (70—75 г/т сравнительно с 20—30 г/т в обычных полосчатых рудах), марганца (до 0,2%), хрома (120 г/т), кобальта (150 г/т), никеля (200 г/т), ванадия (230 г/т), скандия (35 г/т) и др.

Микроскопическое исследование полировок показало, что здесь присутствуют тончайшие вrostки ильменита, т. е. имел место последовательный распад твердого раствора первичного однофазового титаномагнетита на Fe_2TiO_4 , $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}\text{O}_4$, FeTiO_3 и FeAlO_4 (плеонаст); присутствие последнего улавливается и при расчетах химических анализов на составляющие компоненты. Стреловидные пластинки ильменита в магнетитовой массе имеют толщину 0,02 мм и длину до 1,5—2 мм; располагаются они по трем направлениям вдоль четко выраженной октаэдрической отдельности магнетита. Последний изотропен, его $R=23\%$, ильменит же ясно анизотропен с отчетливым двуотражением (в воздухе): $Rg=21\%$; $Rp=17\%$.

Очевидно, что высокое содержание TiO_2 в перекристаллизованных массивных магнетитовых участках отражает повышенное его количество в близлежащих магнетит-пироксеновых кварцитах. В связи с этим отметим, что местами наряду с зернами магнетита среди рудных минералов в кварцитах Мариупольских месторождений встречаются идиоморфные, чаще неправильные зерна титаномагнетита с микроструктурой распада твердых растворов: в магнетите — пластинчатые мелкие (0,01—0,07 × 0,001—0,007 мм) выделения ильменита и расположенные по его краям — мельчайшие (0,01—0,005 мм) уплотненные зернышки плеонаста [10]; это вполне согласуется с образованием рудных кварцитов в условиях гранулитовой фации (при $t > 750^\circ\text{C}$).

Однако в других случаях, например на участке Куксунгур, хотя местами и наблюдаются структуры распада (ильменит + магнетит), собирательная перекристаллизация магнетита в зонах гранитных внедрений не сопровождается концентрацией в сливных рудах титана, которого там гораздо меньше или очень мало (0,00n—0,0n%) и в самих неизмененных (полосчатых) пироксен-магнетитовых кварцитах.

Чем ближе к гранитным инъекциям и зонам тектонических нарушений находится полосчатая руда, тем меньше остается в ней темноцветных минералов и кварца, но одновременно увеличивается количество альбита. При этом кварциты постепенно теряют свою гнейсовидность, их породообразующие минералы укрупняются, далее пироксены и кварц приобретают бухтообразные, резорбированные формы или овально-округлые очертания и как бы цементируются магнетитом, что придает рудам черты сидеронитовой структуры.

При дальнейшем приближении к контакту магнетитовые зерна укрупняются и часто соединяются в сплошные цепочки или гломеробласты с неправильными ограничениями. Кварц обособливается в сплошные прослойки крупнозернистых агрегатов.

Непосредственный контакт гранитов с пироксен-магнетитовым кварцитом не резкий. Здесь нередко магнетит и пироксен захватываются в

Таблица 1

Химический состав (в вес. %) массивных магнетитов
из контактов железистых кварцитов гранитными инъекциями

Компоненты	Демьянов- ский, обр. Г-95	Северный, обр. Г-168	Куксунгур, обр. В-60
SiO ₂	1,53	0,52	1,04
TiO ₂	4,94	5,34	0,03
Al ₂ O ₃	0,80	2,59	Не обн.
Fe ₂ O ₃	62,78	60,22	68,83
Cr ₂ O ₃	0,10	—	Не обн.
V ₂ O ₃	0,19	—	»
FeO	29,87	30,96	29,46
MnO	0,004	0,07	Не обн.
MgO	0,10	Не обн.	»
CaO	Не обн.	»	0,65
Na ₂ O	—	—	Не обн.
K ₂ O	—	—	»
P ₂ O ₅	—	0,03	0,037
SO ₃	»	Не обн.	—
H ₂ O ⁺	»	»	—
С у м м а	100,31	99,76	100,05

Содержание минеральных компонентов (по расчету, в мол. %)

FeFe ₂ O ₄	81,0	81,2	97,8
FeTiO ₃	44,2	44,5	Нет
Fe ₂ O ₃	4,2	2,8	2,2
(Fe, Mg) (Cr, V, Al) ₂ O ₄	0,6	1,5	Нет
С у м м а	100,0	100,0	100,0

Пр и м е ч а н и е. Прочерк — компонент не определялся.

межзерновые пространства гранита, а крупные лейсты плагиоклаза имеют зазубренную линию контакта, внедряясь в крупнозернистый перекристаллизованный кварц кварцитов.

Магнетит в зоне контакта представлен крупными (до 1,0—3,0 мм) с изрезанными краями гломеробластами, в которых нередко можно наблюдать каплевидные выделения зонального альбита и кварца. Иногда такие причудливые зерна магнетита имеют непосредственный контакт с крупными кристаллами олигоклаза (№ 24—25), при этом вокруг магнетита наблюдаются альбитовые каемочки мощностью 0,1—0,2 мм. Местами (Северный участок и др.) богатые массивные руды и гранитоиды расчленены дайками лампрофиров и жилками почти мономинерального магнетита поздней генерации, связанного, очевидно, с теми же пироксен-магнетитовыми кварцитами.

Среди архейских метаосадочных слоисто-силикатных железных руд Алдана также встречаются почти мономинеральные магнетитовые сливные участки, нередко с сидеронитовой структурой: в цементирующей

магнетитовой массе заключены частично резорбированные зерна диопсида, форстерита, клиногумита, чешуйки флогопита, а иногда остаточные округлые зерна пирротина. Эта «железородная мобилизация» произошла в условиях высокого давления и трещиноватости при региональном метаморфизме; она получила дополнительный импульс и со стороны последующих инъекций лейкократовых гранитов [14].

На другом сибирском месторождении гранитные инъекции в контакте с железистыми кварцитами (17% Fe) вызвали мобилизацию и концентрацию магнетита (до 41% Fe) на отдельных участках, если между гранитами и кварцитами не было экранирующих прослоев слюдястых сланцев и гнейсов [9].

В непосредственной близости со сливным магнетитом на рудных участках (Северном, Демьяновском, Юрьевском, Куксунгур, Каменные Могилы) находятся массивные (без какой-либо слоистости) почти мономинеральные пироксеновые (салитовые, фассаитовые, гиперстеновые — соответственно составу рудных кварцитов) породы, нередко имеющие торцовую структуру, с незначительным (до 5%) содержанием в них магнетита и единичных зерен кварца, а также сливные мономинеральные кварцевые обособления типа силекситов. Таким образом, первичные метаосадочные рудные кварциты подверглись здесь своеобразной ультраметаморфической динамотермальной дифференциации с обособлением всех своих главных минеральных компонентов, из которых вблизи контакта меньше других сохраняется пироксен, местами замещаемый гастингситом и биотитом.

Силекситы внешне представляют собою монокристаллические агрегаты с размерами отдельных зерен 1,0—2,5 мм, имеющих в шлифах волнистое погасание. Почти в каждом зерне видна точечная микровкрапленность магнетита. Они образуют линзочки мощностью 1—5 см; их количество и размеры по мере приближения к гранитным инъекциям возрастают; в кернах ряда скважин на Юрьевском участке хорошо видны и более крупные выделения этого перекристаллизованного стеклянно-прозрачного, почти мономинерального кварца; он согласно проникает вдоль сланцеватости пород или по секущим трещинам, образуя жилы и выклинивающиеся внедрения типа «залитов». Очевидна генетическая связь этого кварца с магнетито-кварцитовыми пластами, по-видимому, подвергшимися селективному плавлению и интенсивному растворению SiO_2 , особенно щелочными растворами в зонах гранитных инъекций и высокого тектонического давления, с последующим переотложением и часто с инфильтрацией кремнезема в окружающие породы.

Подобные силекситовые (анатектические) образования были описаны А. А. Каденским [3] для кварцевых пород Анабарского щита, где мономинеральные кварцолиты в полевой обстановке напоминали кристаллизацию последних отжимков гранитной магмы; однако, приуроченность к определенным горизонтам, микровключения циркона, силлиманита и рутила определенно указывают на их первично-осадочную природу.

Грандиозные месторождения кварца, в формировании которых принимали участие, вероятно, не только гидротермальные, но и анатектические процессы, известны на Алдане [6].

На Урале, в восточной контактной зоне Уфалейского гранитного массива [1, 2], особенно в зонах тектонических нарушений, между докембрийскими магнетито-гематитовыми кварцитами и гранитами наблюдаются не только метасоматические взаимоотношения, но и постепенные пе-

Таблица 2

Состав пироксенов из магнетитовых кварцитов Приазовья

Оксиды	Фассаит, обр. С-15		Гиперстен, обр. С-10		Феррогиперстен, обр. Г-57	
	вес. %	мол. числа ×1000	вес. %	мол. числа ×1000	вес. %	мол. числа ×1000
SiO ₂	49,58	825	53,16	885	50,72	844
TiO ₂	0,30	4	0,16	2	Сл.	—
Al ₂ O ₃	5,27	57	0,85	8	1,96	19
Fe ₂ O ₃	2,11	14	2,47	15	2,32	15
FeO	10,79	165	24,27	338	34,20	476
MnO	0,10	1	0,36	5	0,20	3
MgO	11,56	286	16,82	417	9,61	238
CaO	19,24	342	0,90	16	0,72	13
BaO	—	—	—	—	Не обн.	—
Na ₂ O	0,28	5	0,28	5	0,51	8
K ₂ O	0,13	2	0,10	1	0,22	2
H ₂ O ⁺	0,71	39	0,65	35	Не обн.	—
H ₂ O ⁻	0,11	6	Не обн.	—	»	—
Сумма	100,18		100,02		100,46	

Расчет анализов пироксенов на составляющие «молекулы» (в мол.%)

R'R''Si ₂ O ₆	3	3	5
MgR ₂ Si ₂ O ₆	14	4	5,5
CaMgSi ₂ O ₆	50	4	3
CaFeSi ₂ O ₆	27	—	—
Mg ₂ Si ₂ O ₆	—	44	27
Fe ₂ Si ₂ O ₆	5	39	57
SiO ₂ (избыток)	1	6	2,5
Всего	100,0	100,0	100,0
f* _{общ}	40	47	68

$$f_{\text{общ}}^* = \frac{\text{FeO} + \text{MnO} + 2\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{FeO} + \text{MnO} + 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}} \cdot 100$$

реходы — от нормальных рудных кварцитов через разные стадии их метаморфической дифференциации к почти полному обособлению относительно крупных тел магнетита (с пластинками гематита и выделениями ильменита), темноцветных базифицированных прослоев, кварцевых и кварц-полевошпатовых слоев и согласных линзовидных участков.

Пироксены из магнетитовых кварцитов и обособлений в зоне их дифференциации на Демьяновском и Северном участках Центрального Приазовья относятся к моноклинным — Al-диопсиду (фассаиту) и салиту, соответственно: в ряде мест на Демьяновском и Юрьевском участках и

Таблица 3

Оптические свойства пироксенов из магнетитовых кварцитов Приазовья

Минерал и № образца	N_g ($\pm 0,002$)	N_m ($\pm 0,002$)	N_p ($\pm 0,002$)	cN_g	$2V$
Фассаит, С-15	1,704	1,682	1,673	42°	+65°
Салит, Г-168	1,720	1,698	1,689	44	+65
Гиперстен, С-10	1,728	1,720	1,713	0	-48
Феррогиперстен, Г-57	1,745	1,740	1,729	0	-64

в районе Каменные могилы — к гиперстену и феррогиперстену (табл. 2, 3). Структурные их формулы, рассчитанные на 6 кислородов, показывают, что, кроме обычных замещений $Fe^{2+}-Mg$, у фассаита выражено $Al_{VI}Al_{IV}-MgSi$.

В связи с вопросами титаноносности массивных и слоистых магнетитовых руд следует отметить, что на Северном и других участках, помимо метаосадочных, развиты породы типа ортоамфиболитов [17, 8, 20], образовавшиеся, по-видимому, за счет гранитизации и мигматизации древних основных вулканитов или плутоновулканических пород, обычно обогащенных титаномагнетитом.

Мы полагаем, что источником сноса обогащенного титаном железорудного материала, давшего впоследствии Ti -содержащий магнетит, а также кремнистых железисто-магнезиально-кальциевых компонентов для формирования магнезиально-железистых мергелей, а потом метаморфогенных пироксенов могли послужить древние породы габбро-гипербазитового состава и их коры выветривания, аналогичные породам конкско-верховцевской серии, богатой основными вулканитами на соседнем Белозерском месторождении.

Особый интерес представляют метаосадочные пироксениты, тесно связанные постепенными переходами и многократным переслаиванием с безрудными и магнетитовыми кварцитами, а местами с амфиболовыми, биотитовыми и биотит-графитовыми парагнейсами, т. е. входящие в ритмично-слоистые серии.

В скв. 7 Ново-Украинского месторождения (Каменные могилы) на глубине 69—101 м мощная пачка пироксен-магнетитовых кварцитов многократно переслаивается с почти согласными телами розового гранита, который не вызывает на контактах каких-либо заметных изменений в рудных слоях. Однако внутри последних имеются прослой и линзовидные (мощностью до 10—20 см) участки с крупными, собирательно перекристаллизованными агрегатами ромбического (частично баститизированного) пироксена. Размеры его кристаллов с типичной спайностью достигают 3—4 см, а вблизи находятся выделения стекляннo-блестящего линзовидного кварца и неправильные по форме гнездышки из сростков кварца и магнетита.

В той же скважине на глубине 227—233 м в биотитовых гнейсах, инфицированных лейкократовым гранитом, хорошо видны метаморфически дифференцированные сливные участки кварца с редкими чешуями

слюды и мономинеральные линзовидно-струйчатые выделения биотита с редкими зернами кварца.

Здесь же, между пачками пироксен-биотитового гнейса (сверху и снизу) расположена почти мономинеральная пироксеновая порода мощностью около 25 см, средне- и крупнозернистая, обогащенная по направлению к обоим контактам биотитом и кварцем.

Ромбический пироксен составляет 80—85% объема породы, кварца 10—15%, биотита и магнетита по 1—3%. Лейсты пироксена до 3—4 см в длину, в проходящем свете бледно-зеленые, без ясного плеохроизма; N_g $1,690 \pm 0,002$, N_p $1,680 \pm 0,002$, $N_g - N_p = 0,010$, $2V - 74^\circ$, $cN_g = 0 - 7^\circ$, но у некоторых тонкоспайных мелких зерен достигает 30° , т. е. имеется примесь моноклинной модификации. Судя по светопреломлению, гиперстен относится к маложелезистой разновидности ($FeSiO_3 \geq 30\%$).

В скв. 5 на Каменных Могилах, в интервале 60—90 м, хорошо видны в кернах согласные и постепенные переходы от пироксен-магнетитовых кварцитов к тонкому и грубому переслаиванию безрудного кварцита и пироксенита с мощностью гиперстеновых слоев от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров.

В связи с изложенным выше отметим, что Ю. Ир. Половинкиной [10] были описаны крупнозернистые гиперстениты из керна скважин на участках Каменные Могилы, Куксунгур и Кюрсак-Могила с почти мономинеральными обособлениями крупнозернистого магнетита и кварца; при этом с приближением к гранитным инъекциям окварцевание усиливается, а кварц и другие породообразующие минералы заметно укрупняются. Пластообразные, согласно залегающие в мигматитах тела, сложенные гиперстенитами с небольшой примесью граната, магнетита и зеленой слюды, везде находятся в ассоциации с гранит-пегматоидными телами переменной мощности.

Породообразующий феррогиперстен имеет здесь характерный плеохроизм (в зеленых и розовых тонах), а $N_g = 1,752 \pm 0,002$ и $N_p = 1,734 \pm 0,002$, $2V = -52^\circ$ свидетельствуют о его высокой железиности ($c \approx 70\%$ $FeSiO_3$).

По мнению Ю. Ир. Половинкиной, гиперстениты — интрузивные образования ранних геосинклинальных этапов формирования нижнепротерозойского подвижного пояса, а процесс гранитизации, связанный с красными гранитами днепровско-токовского комплекса, привел к замещению гиперстена куммингтонитом, гранатом и биотитом, к окислению железа с образованием магнетита и к обособлению кварца. Полосчатый же характер пироксеновых магнетитовых кварцитов, развитых в районах Каменные Могилы и Куксунгур, обусловлен не ритмической седиментацией первичных осадков, а является результатом метасоматической зональности.

Мы полагаем, что произведенные нами исследования и наблюдения, результаты которых приведены выше, позволяют заключить, что как в Мангушском, так и в Каменно-Могильском районах имеют место одни и те же (сопряженные с инъекциями гранитоидов) процессы метаморфического и ультраметаморфического преобразования метаосадочных магнетит-пироксеновых кварцитов, которым местами сопутствуют и формационно с ними связаны метаосадочные кварцит-пироксенитовые полосчатые пачки и почти мономинеральные пластовые пироксениты (диопсидиты, фассаититы, гиперстениты). Эти парапироксениты генетически подобны осадочно-метаморфическим геденбергит-эвлит-фаялитовым породам

(эвлизитам), которые в архейской графитоносной и рудоносной толще Приазовья, Приднепровья и Побужья прослеживаются как маркирующие горизонты на многие километры: и те, и другие наследственно отражают состав и физико-химическую обстановку накопления исходных сильно магнезиальных мергелистых и железисто-кремнистых осадков, обогащенных органическим веществом [13, 15].

Литература

1. *Вертушков Г. Н.* Гранитизация железистых кварцитов Восточной контактной зоны Уфалейского гранитного массива на Урале.— Изв. высших учебных заведений. Геол. и разведка, 1958, № 2.
2. *Вертушков Г. Н., Соколов Ю. А., Якиши В. И.* Метаморфизм железотитановых месторождений Уфалейской группы.— Записки Всес. мин. об-ва, 1966, ч. 95, № 1.
3. *Каденский А. А.* Геология и петрология южной части Анабарского щита.— Труды Геол. музея АН СССР, вып. VI, 1961.
4. *Каныгин Л. И., Зацуха И. С.* О ритмичности гнейсовых образований Юрьевского участка Мариупольского рудного поля.— Артемовск, 1970.
5. *Каныгин Л. И.* О формационной принадлежности Мариупольского железорудного месторождения.— Геол. ж., 1973, № 2. Киев.
6. *Лазько Е. М.* Хрусталеносные кварцевые жилы и их генезис. Изд. Львовск. ун-та, 1957.
7. *Луцицкий В. И.* Вопросы стратиграфии и тектоники Украинской кристаллической полосы.— Бюлл. МОИП, отд. геол., 1930, т. 8.
8. *Мельник Ю. П.* Ильменит из гранитизированных железистых пород Криворожского района.— Записки Всес. мин. об-ва, 1960, ч. 89, вып. 3, серия 2.
9. *Петров П. А.* К вопросу о влиянии гранитных инъекций на увеличение содержания железа в рудных телах.— Труды СНИИГИМС, 1968, вып. 74.
10. *Половинкина Ю. Ир.* О гиперстенитах Корсак-Могилы и Каменной Могилы в Западном Приазовье.— Труды ВСЕГЕИ, 1962, 73.
11. *Полуновский Р. М.* Характеристика разреза гнейсовой серии Центрального Приазовья и вопросы ее стратификации.— Докл. АН СССР, 1969, 187, № 6.
12. *Сердюченко Д. П.* Генетические отношения графита Старо-Крымского месторождения в связи с общей проблемой графитообразования на Украине.— Изв. Донск. Политехн. ин-та, 1930, 14.
13. *Сердюченко Д. П.* Старокрымский графитоносный район. (Труды ВИМС). М., 1935.
14. *Сердюченко Д. П.* Происхождение архейских железных руд Южной Якутии.— Изв. АН СССР, серия геол., 1959, № 8.
15. *Сердюченко Д. П.* Геологические и минералого-химические особенности эвлизитов и других метаосадочных оливинсодержащих пород.— В сб. «Литология и осадочная геология докембрия». М., 1973.
16. *Сушицкая Н. Я., Лебедева Ю. С.* Некоторые данные о титаномагнетитах из мариупольских железистых кварцитов.— В сб. «Вещественный состав осадочных руд и вопросы их обогащения». Киев. Изд-во «Наукова думка», 1971.
17. *Усенко И. С.* О ранних этапах формирования Украинского кристаллического массива.— Докл. АН СССР, 1954, 95, № 5.
18. *Ферсман А. Е.* Геохимические параметры железа.— Успехи химии, 1935, 4, вып. 5, с. 731—755.
19. *Ферсман А. Е.* Геохимия, т. IV, Гос. изд-во техн. и хим. лит., 1939.
20. *Ходюш Л. Я., Коваленко И. Г.* Вещественный состав легкообогатимых железных руд Мариупольского железорудного месторождения (на примере Северного участка).— В сб. «Геология и рудоносность юга Украины», вып. 2. Днепропетровск, 1969.
21. *Чирвинский П. П.* Петрографическое исследование темных песков с Северного побережья Азовского моря.— Записки Мин. об-ва, 1925, ч. 54, вып. 1, с. 159—172.
22. *Юрк Ю. Ю., Лебедев Ю. С., Кириченко О. Н.* Об акцессорном ильмените из киммерийских железистых песчаников и коры выветривания кристаллических пород докембрия Восточного Приазовья.— В сб. «Геология и вещественный состав руд из месторождений Украины». М., 1971.
23. *Ярошук М. А.* Пироксен-плаггиоклазовые кристаллические сланцы района Володарских магнитных аномалий.— Геол. ж., 1968, 28, вып. 5.

О техническом прогрессе в комплексной переработке апатито-нефелиновых руд Кольского полуострова¹

Результаты поисков и освоения апатито-нефелиновых руд Кольского полуострова представляют собой выдающееся достижение отечественной науки и техники и свидетельствуют об огромных преимуществах социалистического строя в решении крупных проблем общегосударственного значения. В сложных природных условиях Заполярья создан и успешно функционирует комбинат «Апатит», являющийся гордостью советской промышленности. Он оснащен передовой техникой, позволяющей осуществлять добычу апатито-нефелиновых руд в крупных масштабах и с относительно небольшими затратами. В состав комбината входят также апатито-нефелиновые обогатительные фабрики.

Хибинский апатитовый концентрат явился основой создания отечественной фосфатно-туковой промышленности и представляет собой лучшее в мире сырье для фосфорных удобрений.

Крупным достижением советской науки и техники является организация производства и комплексной переработки хибинского нефелинового концентрата. Многолетний опыт работы Волховского алюминиевого завода и Пикалевского глиноземного комбината убедительно свидетельствуют о том, что нефелиновый концентрат — наиболее эффективное сырье для получения глинозема, тяжелой соды (наиболее дорогой кальцинированной соды), поташа и высококачественного портландцемента. Попутно извлекается редкий металл — галлий.

Еще в 1941 г. А. Е. Ферсман показал направления, по которым следует вести исследовательские работы по освоению богатств Кольского полуострова². За прошедший с тех пор период многое уже исследовано, многое претворено в жизнь, но еще больше осталось нерешенных проблем. Несомненно, это уникальное, единственное в мире месторождение требует к себе еще большего внимания как в отношении усиления научно-исследовательских работ, так и в деле осуществления практических решений.

Добываемые в настоящее время только богатые фосфором апатито-нефелиновые руды не могут обеспечить возросшую потребность страны в фосфорном сырье. Необходимо в самый короткий срок перестроить добычу руды. Если сейчас бортовое содержание P_2O_5 в руде утверждено в размере 8 и 6% для рудников и открытых работ, то его следует снизить до 2%. Подсчеты показывают, что вовлечение в добычу бедных руд приведет к увеличению валовой добычи руды на 57%, выпуска апатитового концентрата на 30% и нефелинового концентрата на 74%. Одно

¹ Статья печатается в порядке обсуждения.— *Прим. ред.*

² *Ферсман А. Е.* Полезные ископаемые Кольского полуострова. Современное состояние. Анализ. Прогноз. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1941, 345 стр.

это мероприятие продлит срок деятельности комбината по добыче фосфорного сырья не менее чем на 15—20 лет при крупномасштабном выпуске апатитового концентрата. Для его осуществления необходимо увеличение дополнительных средств на капитальное строительство рудников и обогатительных фабрик примерно на 60%. Себестоимость апатитового концентрата также увеличится примерно на 60%. Однако и в этом случае приведенные затраты на 1 т апатитового концентрата будут почти вдвое меньше, чем при получении концентрата в новых районах.

В настоящее время нефелиновый концентрат выпускается в небольших количествах (1,5 млн. т в год) из хвостов после выделения апатитового концентрата и им обеспечивается Волховский алюминиевый завод и Пикалевский глиноземный комбинат.

Однако в будущем (конечные расчеты ведутся на 1990 г.), при создании крупных комбинатов по переработке нефелиновых концентратов и увеличении спроса нельзя будет ограничиться производством этих концентратов только из хвостов после выделения апатитового концентрата. Новым источником их получения явится вскрыша при добыче апатито-нефелиновых руд. Если в хвостах содержится 12—14% Al_2O_3 , то во вскрыше оно достигает 21%, и после обогащения этого сырья получается стандартный нефелиновый концентрат.

Если запасы сырья Хибинского массива могут обеспечить выпуск апатитового концентрата всего лишь в течение 40—50 лет, то получение нефелинового концентрата при самом крупномасштабном его потреблении обеспечивается исходным сырьем на несколько сот лет.

При комплексном обогащении апатито-нефелиновых руд, помимо апатитового и нефелинового концентратов, могут быть выделены еще три концентрата: титаномагнетитовый, сфеновый и эгириновый. Общий объем выпуска этих концентратов составит 6—8% от суммы производства апатитового и нефелинового концентратов.

Переработка титаномагнетитов различных месторождений, близких по своему химическому составу к хибинским, по так называемому двухстадийному методу с получением чугуна и титановых шлаков для последующего производства титановой губки и пигментной двуокиси титана разработана институтом имени А. А. Байкова АН СССР и испытана в промышленном масштабе на Кузнецком металлургическом заводе и Сибэлектростали в Красноярске. Организация выпуска титаномагнетитов из хибинских апатито-нефелиновых руд может покрыть значительную часть потребности народного хозяйства в титановых шлаках.

Технология переработки сфенового и эгиринового концентратов изучается в настоящее время в разных институтах страны, и есть основания считать, что будет найден путь, обеспечивающий экономическую выгоду вовлечения этих новых видов сырья в производство.

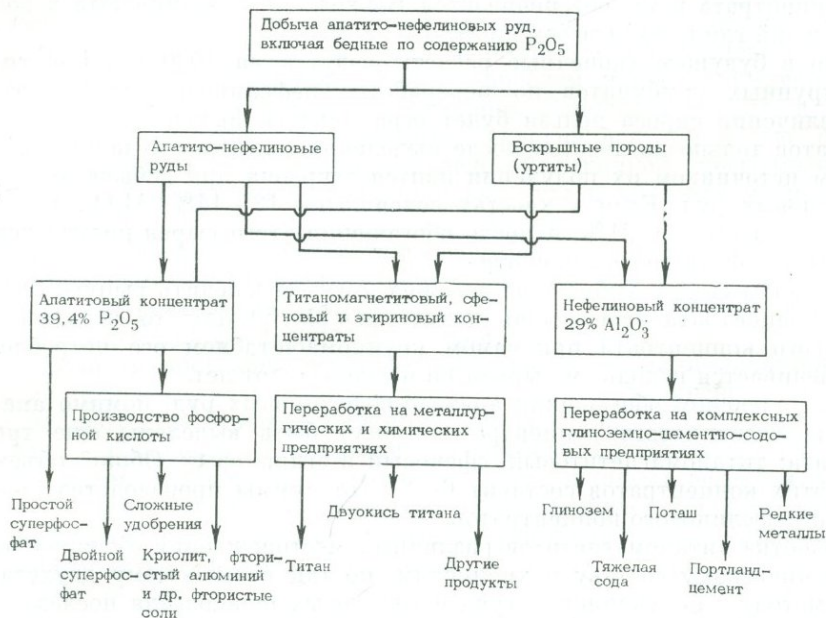
На фиг. 1 дана предполагаемая схема комплексного освоения апатито-нефелиновых руд Кольского полуострова. В настоящее время комбинат «Апатит» совместно с институтом Механобр и другими институтами ведут обширные научно-исследовательские и промышленные работы по усовершенствованию технологии обогащения разных концентратов и повышению извлечения соответствующих минералов в концентраты.

Накопленный большой опыт по переработке апатитового и нефелинового концентратов на фосфорные туки, глинозем, соду, поташ, портландцемент и фтористые соли, а также растущая потребность в этих

продуктах заставляют совершенно по-иному рассматривать в перспективе развитие рудной базы (включая обогатительные фабрики) и создание крупных комбинатов по переработке хибинских концентратов, не имеющих аналогов в мировой практике.

Как известно, апатитовый концентрат разлагается серной кислотой по следующей реакции: $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3 + 5\text{H}_2\text{SO}_4 = 3\text{H}_3\text{PO}_4 + 5\text{CaSO}_4 + \text{HF}$.

В апатитовом концентрате находится 52% CaO, 39,4% P_2O_5 и 3% F. В настоящее время он перерабатывается не комплексно. После обработки серной кислотой для получения фосфорной кислоты получаемый сернокислый кальций в больших количествах идет в отвал, загорающая



Ф и г. 1. Предполагаемая схема комплексного освоения апатито-нефелиновых руд Кольского полуострова

территории предприятий. В этом отходе, называемом фосфогипсом, даже после тщательной отмывки остается некоторое количество серной и фосфорной кислот. Кроме того, при процессе получения двухводного фосфогипса процент извлечения фтора из апатитового концентрата намного ниже, чем при получении фосфогипса по полугидратному методу.

Между тем еще в 1952 г. на Волховском алюминиевом заводе были проведены в промышленном масштабе опыты по разложению фосфогипса на известь и сернистый газ. Содержание SO_2 в газе составляло до 7%, что обеспечивало нормальный технологический процесс получения серной кислоты в количествах, достаточных для разложения новых партий апатитового концентрата при условии восполнения потерь около 10% из обычного традиционного серного сырья или из природного ангидрита. Таким образом, основная масса серной кислоты, полученная путем разложения фосфогипса, по существу является оборотной, и на ее приготовление не

затрачивается дефицитная элементарная сера. Например, для разложения 20 млн. т апатитового концентрата потребуется около 20 млн. т серной кислоты, в том числе из фосфогипса — 18 млн. т. Для производства такого же количества серной кислоты требуется 5,5 млн. т элементарной серы.

Получаемая после разложения фосфогипса известь по размерам и форме напоминает грецкие орехи. Примеси, содержащиеся в апатитовом концентрате (Al_2O_3 , Fe_2O_3 и др.), переходят в известь, которая по своим качествам превосходит известняк (или мел), необходимый для разложения нефелинового концентрата. Таким образом решается задача полного комплексного использования всех составляющих апатитового концентрата: фосфорной кислоты для получения фосфорсодержащих туков, фтора — для различных фторосоединений, в том числе криолита и фтористого алюминия, без которых нельзя получать алюминий, и извести — для полной или частичной замены известняка при комплексной переработке нефелинового концентрата.

Еще в 1958—1960 гг. на Волховском алюминиевом заводе были проведены опыты в лабораторном и полупромышленном масштабе по переработке апатитового концентрата по полугидратному методу. На основе этих работ был запроектирован большой цех фосфорной кислоты и двойного суперфосфата. Однако впоследствии он был перепроектирован на дигидратный способ. В настоящее время этот цех должен быть реконструирован на полугидратный процесс, обеспечивающий увеличение извлечения фтора до 70—75%.

Если для внутреннего рынка будет выделяться 20 млн. т апатитового концентрата в год, то может быть обеспечен выпуск фтористых солей в пересчете на фтор в размере 420—450 тыс. т в год. Этого количества должно хватить для всех отраслей народного хозяйства, включая алюминиевую, а также на экспорт. Цена криолита и фтористого алюминия за рубежом примерно на 20% ниже стоимости металлического алюминия.

Все возрастающая потребность народного хозяйства в алюминии диктует строительство алюминиевых и глиноземных заводов большой мощности. В связи с тем, что энергетические ресурсы СССР в основном сосредоточены в восточных районах страны и ввиду большой энергоемкости производства алюминия, достигающего расхода 16—17 тыс. кВтч/т, строительство этих заводов намечается на востоке. Глинозем для производства алюминия выгодно привозить из любых районов страны, где он может быть дешево получен.

Нефелиновый концентрат на 90% состоит из нефелина. Разложение его осуществляется путем спекания с известняком (или известью) при температуре спекания около 1300°. Реакция разложения нефелина может быть выражена уравнением: $(\text{Na}, \text{K})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + 4\text{CaCO}_3 = 2(\text{Na}, \text{K}) \cdot \text{AlO}_2 + 2(2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2) + 4\text{CO}_2$.

Полученный спек выщелачивается оборотными содовыми растворами, в результате чего двухкальциевый силикат отделяется от раствора натриевого и калиевого алюмината. Двухкальциевый силикат является полуфабрикатом для получения цементного клинкера, а частично, будучи высушен, он поступает в мельницы для размолва с клинкером для выпуска высокосортного портландцемента.

Алюминаты натрия и калия разлагаются отходящими обжиговыми газами по следующему уравнению: $2(\text{Na}, \text{K})\text{AlO}_2 + \text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O} = 2\text{Al}(\text{OH})_3 + (\text{Na}, \text{K})_2\text{CO}_3$.

Гидрат окиси алюминия отделяется от раствора соды и поташа и поступает на прокалку при температуре $1100-1200^{\circ}$: $2\text{Al}(\text{OH})_3 = \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$.

Готовый глинозем отправляется на алюминиевые заводы для электролитического разложения и получения металлического алюминия. Смесь соды и поташа разделяется политермическим способом на тяжелую кальцинированную соду и поташ. В случае необходимости на месте можно получать также каустическую соду и едкий кали.

Экономические подсчеты показывают, что при комплексной переработке нефелинов на глинозем, соду, поташ и портландцемент получаемые продукты дешевле по сравнению с продуктами, получаемыми на специализированных заводах, по крайней мере в полтора раза. Настолько же меньше требуемые капитальные вложения. Широкое внедрение нефелинового сырья в промышленность обеспечивает на сотни лет сырьевую базу алюминиевой промышленности. Отпадает необходимость затраты огромных средств на получение глинозема из низкосортных отечественных бокситов.

Поиски высокосортных бокситов можно будет производить в размерах, обеспечивающих только действующие глиноземные заводы. Химическая промышленность вынуждена создавать новые мощности производства кальцинированной соды по устаревшему способу Сольве с образованием огромного количества хлоридных отходов (около $10 \text{ м}^3/\text{т}$ соды), загрязняющих почву и реки. Народное хозяйство испытывает серьезные трудности с организацией производства бесхлорных калийных удобрений. Создание промышленности поташа требует меньших средств, чем создание производства сульфата калия; поташ более дешев (в пересчете на K_2O) и как удобрение выше по качеству. Потребность в поташе сельского хозяйства СССР и других стран-членов СЭВ превышает 7 млн. т в год. Более 1 млн. т в год поташа требуется для производства оптического, электровакуумного и художественного стекла, химической промышленности и противоморозной добавки. Технический прогресс в цементной промышленности тесно связан с возможностью выпуска больших количеств портландцемента высокого качества на базе нефелинового шлама.

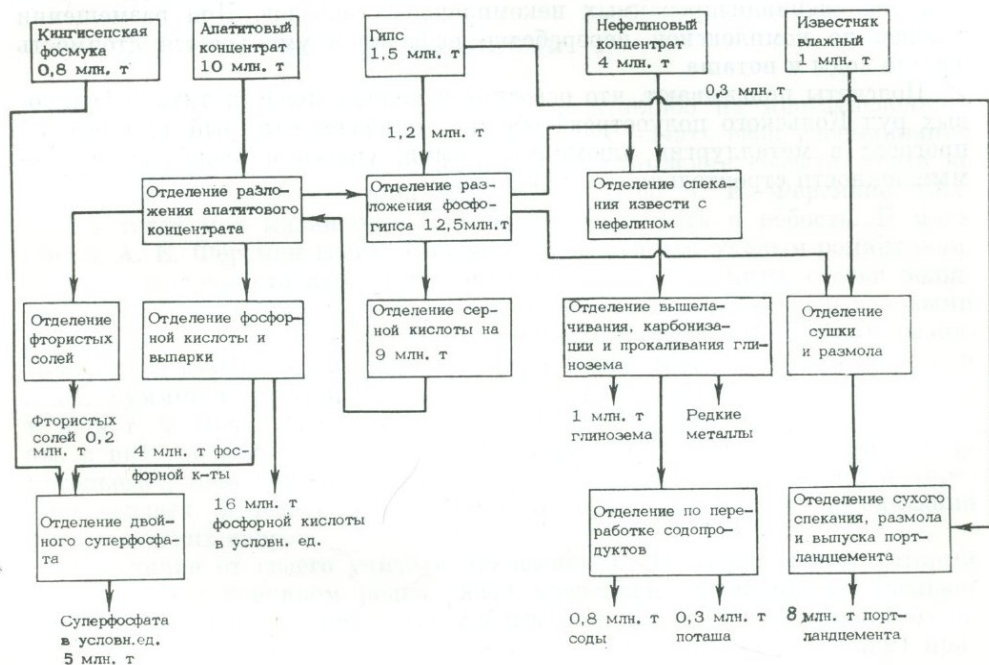
Уже сейчас можно предсказать, что несмотря на бурное развитие производства апатитового концентрата, производство нефелинового концентрата в несколько раз должно его опередить. Строительство комбинатов по переработке нефелинов будет сравнимо со строительством гигантов черной металлургии. Этому также будет способствовать технический прогресс, связанный с возможностью сухого спекания нефелиновой шихты с известняком (или известью) для получения глиноземного спека и сухого спекания нефелинового шлама с известняком для получения цементного клинкера. По подсчетам одна глиноземная печь-линия обеспечит выпуск 250—300 тыс. т глинозема и одна цементная печь-линия обеспечит выпуск около 3 млн. т портландцемента из нефелинового шлама.

На фиг. 2 дана принципиальная схема комплексной переработки 10 млн. т апатитовых и 4 млн. т нефелиновых концентратов на фосфорную кислоту, двойной суперфосфат, фтористые соли, глинозем, соду, поташ, портландцемент и редкие металлы. Переработка апатитового концентрата здесь корреспондирует с производством 1 млн. т глинозема из нефелинового концентрата. Однако комбинаты должны быть рассчитаны на производство 2,0—2,5 млн. т глинозема, 20 млн. т портландцемента,

1,8 млн. т соды и 0,9 млн. т поташа в год. Если эти мощности будут приняты на комбинатах, перерабатывающих апатитовый концентрат, избыточная часть глинозема будет получена по существующей схеме с применением известняка.

Следует считать ошибочным строительство относительно небольших заводов по переработке апатитового концентрата серной кислотой, где весь фосфогипс выбрасывается, так как на таких предприятиях не может быть организована переработка нефелинов в малых масштабах.

На первый взгляд, создание больших комбинатов, о которых говорилось выше, может показаться гигантоманией. Однако строительство может



Ф и г. 2. Принципиальная схема комплексной переработки апатитовых и нефелиновых концентратов

происходить очередями. Опыт строительства комбинатов черной металлургии еще большей мощности полностью себя оправдал. Так, осуществляет строительство Магнитогорского, Череповецкого, Новолипецкого, Западно-Сибирского и других металлургических комбинатов. Вряд ли кто-либо предложил бы сейчас вместо Новолипецкого или Череповецкого комбинатов построить по 12 карликовых металлургических заводов.

Не менее важен вопрос транспорта. Если перевозка таких дорогих продуктов, как глинозем и поташ, выдерживает стоимость фрахта, то как сложится положение с перевозками цемента и соды? Прежде чем ответить на этот вопрос, следует учесть, что строительство таких комбинатов следует производить в районах с большими запасами карбонатного сырья, так как его расход в 2,5 раза превышает расход нефелино-

вого концентрата. Кроме того, желательно, чтобы указанные районы были потребителями большого количества цемента. Анализ показал, что целесообразно строить два-три комбината на Волге, имеющей протяженность 3600 км. Навигацию на ней намечается удлинить до 9 месяцев путем применения ледокольного флота и при организации перегрузки цемента на железные дороги на короткие расстояния; благодаря дешевому тарифу перевозка по воде (она почти в три раза дешевле железнодорожного фрахта) вообще является целесообразной. При строительстве комбинатов с перевозкой цемента только по железной дороге стоимость фрахта увеличится в среднем на 40%, однако в целом стоимость цемента у потребителя будет дешевле по приведенным затратам, чем в случае строительства специализированных некомплексных заводов. При размещении заводов по комплексной переработке нефелинов уменьшится стоимость фрахта соды и поташа.

Подсчеты показывают, что освоение в полной мере апатито-нефелиновых руд Кольского полуострова обещает наиболее быстрый технический прогресс в металлургии алюминия, химии, сельском хозяйстве и промышленности строительных материалов.

Современники об А. Е. Ферсмани

Академик

Н. В. БЕЛОВ

Дорогой друг и наставник

Дорогой Александр Евгеньевич. Вряд ли кто-либо из многочисленного окружения академика А. Е. Ферсмана может начать свои воспоминания о нем иными словами. Меня нередко мучат угрызения совести, что я не участвовал в первом сборнике воспоминаний об А. Е. Ферсмани. Сказалась тогда моя малая еще в то время опытность и робость. В моих глазах А. Е. Ферсман всегда был ярко выраженным ученым-романтиком, но мне казалось, что в сборнике, посвященном его памяти, статьи должны быть сугубо классическими со скучными петрохимическими валовыми анализами, с таблицами угасаний и погасаний, с бесчисленными разновидностями амфиболов и хлоритов, с похожими друг на друга, как капли воды, куммингтонитами, рибеккитами, арфведсонитами, тремолитами и т. д. и т. п. Почти все 30 статей сборника были весьма просты и сходны, в них говорилось о том, какой хороший человек был Александр Евгеньевич, наш общий учитель и друг. Но именно не добряк, а хороший человек. Хорошее отношение к людям было методом воспитания ферсмановских кадров.

В отличие от своего учителя академика В. И. Вернадского, который в разговоре с учеником редко давал последнему возможность сколько-нибудь подробно изложить свое собственное мнение, Александр Евгеньевич старался убедить, доказать ученику, что именно ему (ученику) принадлежит львиная доля в предложенном исследовании, за учеником основная идея, в которой академику одному не разобраться было. Если же действительно что-либо получалось, то ученик удостоивался самой большой похвалы и представлялся в очень высокие инстанции. Именно таким образом я вместе с Александром Евгеньевичем побывал у Серго Орджоникидзе и у Председателя Совнаркома Карело-Финской Республики. И такое отношение к начинающим заниматься наукой действовало весьма положительно. Я, во всяком случае, с уверенностью могу сказать, что если чего-либо достиг в науке, то сделал меня ученым дорогой, хороший Александр Евгеньевич.

В его поле зрения я попал достаточно поздно. Мне уже было 36 лет, когда один из самых преданных А. Е. Ферсману сотрудников, химик Н. И. Влодавец, посоветовал мне испытать свои силы в журнале «Природа», созданном и редактируемым А. Е. Ферсманом.

В 20-х годах в Советской школе естественных наук было мало специалистов, владеющих иностранными языками. Мои в основном научные

обзоры или навеянные ими более самостоятельные очерки были весьма хорошо приняты и редакцией, и читателями. Через год я оказался в журнале «Природа» одним из основных поставщиков литературного материала, но самое главное, А. Е. Ферсман стал считать меня своим, и когда в 1930 г. был образован Государственный Комитет по химизации, а его Уполномоченным по Ленинграду назначен А. Е. Ферсман, он в организованную им по линии Комитета группу из академических сотрудников включил и меня. Химикам нашей группы, была поручена проблема нефелина, огромные отходы которого скоплялись на Хибинской обогатительной фабрике.

Сначала я стал вступик перед темой, но вскоре попытался пустить нефелиновые растворы как типично коллоидные в кожевенное сырье, поскольку тогда у меня были самые тесные связи с химической лабораторией обувного гиганта «Скорород». Момент для внедрения нефелина в легкую промышленность оказался удачным, поскольку трудности восстановления сельского хозяйства при одновременном отказе от заграничных покупок чрезвычайно осложнили снабжение кожевенных заводов растительными дубителями. Из нефелина совместно с также быстро желатилирующими солями железа получили подошву, может быть, недостаточно плотную, но весьма носкую. Александр Евгеньевич поспешил представить мою об этом статью в «Известия АН», и дело пошло. Одновременно нефелин устремился в текстиль, бумагу, железнодорожные шпалы.

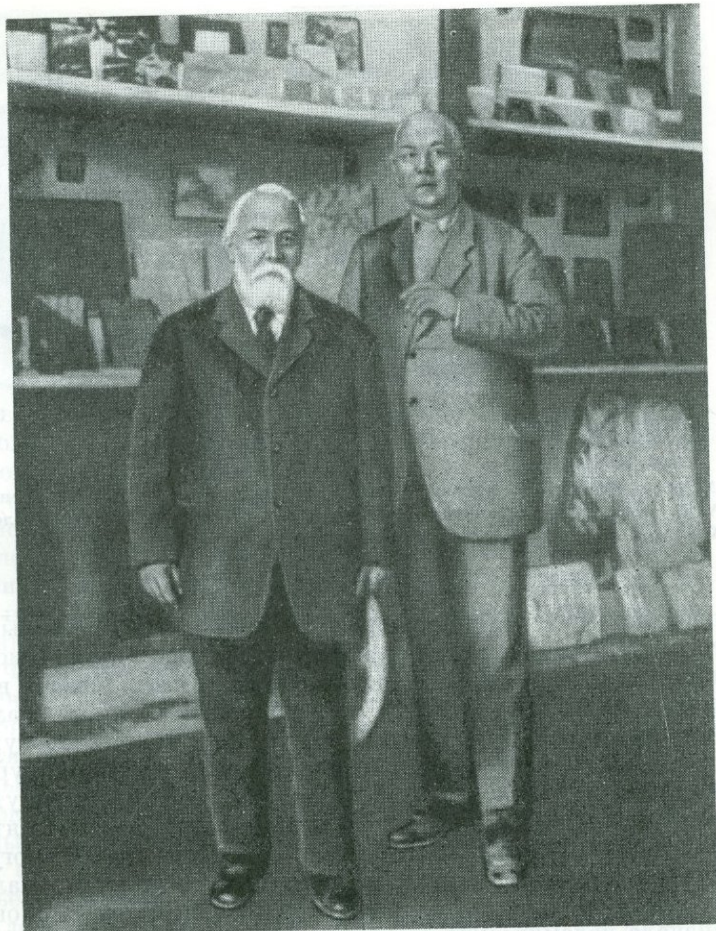
В 1932 г. А. Е. Ферсман и Л. С. Берг были вынуждены покинуть «Природу». Напечатанный мой очерк по сейчас исключительно модной теме о «раздвигающейся вселенной» был охарактеризован как «просвещенная поповщина». Зеленая обложка журнала с одинокой березкой сменилась на сугубо индустриальную с фабричной трубой. Редакция журнала распалась, и я тоже вынужден был перестать в нем сотрудничать.

Станным, казалось бы, образом, но именно после этих событий, я оказался в штатном составе Академии наук во вновь организованном Ломоносовском институте, в его геохимическом отделе с новой хибинской темой по основному хибинскому продукту — апатиту.

Всего лишь через пару месяцев после моего окончательного закрепления в Академии всех нас, как громом, поразило постановление о переводе Академии в Москву. Несмотря на мою еще «академическую» молодость в списке переводимых был и я, по мне казалось невозможным расстаться с Ленинградом, где я всегда жил. Твердо решив не переезжать в Москву, я упорствовал на протяжении почти двух лет.

Но обстоятельства сложились так, что в 1934 г. мне все же пришлось переехать в Москву, где под непосредственным воздействием А. Е. Ферсмана и по его инициативе начался новый этап моей жизни.

Геохимия второй четверти нашего столетия создавалась совместно А. Е. Ферсманом и В. М. Гольдшмидтом. Восемь томов «Геохимических исследований» Гольдшмидта содержали огромное количество новых кристаллохимических данных, которые были часто полностью непонятны геологам-минералагам. Более или менее систематическое изложение этой новой науки норвежским профессором О. Гасселем появилось на немецком языке в том же 1934 г. и сразу было переведено на английский. Срочно необходим был русский перевод, но никто из старых и молодых сотрудников Ломоносовского института за это не брался, и А. Е. Ферсман предложил мне, весьма настойчиво, взяться за это дело: «Придется



А. П. КАРПИНСКИЙ и А. Е. ФЕРСМАН
в Минералогическом музее АН СССР, 1927 г.

тебе», — были его слова. Я с энтузиазмом принялся за перевод, работу, которая определила всю мою последующую научную деятельность.

В русском переводе число страниц в два раза превышало их число в немецком оригинале, а количество рисунков было больше в 40 раз. Иногда в послевоенные годы мне казалось, что я краснею, вспоминая посвящение мое в кристаллохимию. Но недавно, работая над новой статьей по сульфидам, я неожиданно нашел очень много полезного материала в своем переводе кристаллохимии О. Гасселя с датой выхода 1936 г.

Непосредственно вслед за О. Гасселем под редакцией А. Е. Ферсмана был выпущен великом составленный мною III том «Основных идей геохимии» с двумя весьма основательными, в частности по числу страниц, «Структурами силикатов» (Брэгга и Шибольда). И силикаты с тех пор остаются главной темой моих работ и исследований моих учеников. Через



Медаль Волластона — высшая геологическая награда, присужденная академику А. Е. Ферсману Лондонским Геологическим Обществом к дню 60-летия в 1943 г. Хранится в Государственном Историческом музее в Москве

пару лет мое геолого-минералогическое образование было признано. Как сотруднику А. Е. Ферсмана мне уже в 1936 г. была присвоена ученая степень кандидата геолого-минералогических наук. И когда возник вопрос о переводе «Магмы» Ниггли, за который также никто не брался, то из уст другого академика, Д. С. Белянкина, услышал я ту же фразу: «Придется Вам».

В 1938 г. мне пришлось возглавить рентгеноструктурную лабораторию в созданном А. Е. Ферсманом Ломоносовском институте минералогии и геохимии, из которого в то время выделилась самостоятельная лаборатория кристаллографии (с 1944 г. Институт кристаллографии), в состав которой вошла и лаборатория рентгеноструктурного анализа. Я немедленно взялся за работу, направляя А. Е. Ферсману в «Доклады АН СССР» вначале полемические статьи по апатиту, а затем в 1942 г. были опубликованы две мои (совместно с учениками) силикатные расшифровки медного диоптаза и Na—Ti-рамзаита. В первом было открыто шестерное кремнекислородное кольцо, дотоле установлено лишь в берилле-изумруде. Одновременно был разъяснен парадокс с критерием Чермака по силикатному радикалу в этом минерале: все же диоптаз оказался метасиликатом, а не орто-, как того требовало чрезвычайно прямолинейное приложение указанного критерия. На примере рамзаита была продемонстрирована, вытекавшая из принципов В. И. Вернадского, возможность вхождения цепочечного радикала не только в метасиликаты, но и в формальный ортосиликат с отношением $O : Si = 4,5$.

20 мая 1945 г. Александр Евгеньевич скончался. По стечению обстоятельств я узнал об этом, сидя за его письменным столом, в его кресле, в ленинградской его квартире. И я всегда буду помнить, что был и остаюсь перед великим геохимиком и моим гидом в этой науке в громадном долгу.

Одним из любимых А. Е. Ферсманом хибинских минералов был эвдианит — «лопарская кровь». Он попал в нашу лабораторию еще в 1936 г., и для его расшифровки понадобилось ни много ни мало — 35 лет. А сколь-

ко еще таких неразгаданных вопросов остается в природных силикатах и синтетических (стекле — цементе). И каждую расшифровку, каждую новую идею мне хочется посвятить дорогому Александру Евгеньевичу.

Академик

Д. С. БЕЛЯНКИН

Корифей минералогии

Александр Евгеньевич последние годы часто и подолгу болел, и несмотря на то, что мы постоянно тревожились о его здоровье, — смерть его все же явилась совершенной для нас неожиданностью, так полон энергии и жизни все время был он при всех его физических страданиях. Отныне мы будем говорить о нем как о покойном академике А. Е. Ферсмани. И это опять-таки так мало вяжется с привычным нам его обликом. Он всегда был живым и подвижным, как ртуть, вечно кипящий, бушующий, неутомимый и пламенный борец на бескрайне широком фронте нашей науки, культуры и техники.

В лице А. Е. Ферсмана мы потеряли крупнейшего и разностороннего ученого, особенно много сделавшего в различных областях научного естествознания. Конечно, он был прежде всего минералогом. В самом деле — бросьте хотя бы самый беглый взгляд на известную библиографию многочисленных его научных трудов. Непрерывно мелькают в ней названия минералов и минеральных месторождений, заголовки актуальнейших современных минералогических проблем. В составленном теми же библиографами списке отдельных минералов, упоминаемых в трудах Александра Евгеньевича, насчитываем мы свыше 1500 названий. Характерен отзыв об Александре Евгеньевиче как о минералогике академика А. П. Карпинского: «Ведь это же «бог минералогии»» — неоднократно слышали мы из уст его такую крылатую фразу.

Александр Евгеньевич любил минералы, умел как никто детально и красочно описывать их. Но еще больше любил он жизнь во всех ее проявлениях, в том числе и в самих процессах, казалось бы мертвой минеральной природы.

Этим чувством проникнуты его пегматиты, геохимия, цеолиты, цвета минералов и пр.

Как первоклассный ученый с многочисленнейшими достижениями в областях не только минералогии, но также химии, физики и других сопредельных наук А. Е. Ферсман пользовался всеобщим уважением не только в нашей стране, но и за рубежом. Не меньшую любовь и не меньшее признание снискал он себе в широчайших кругах нашего народа как пламеннейший пропагандист и искуснейший популяризатор научных идей и научного знания в формах, доступных самому неподготовленному человеку.

Александр Евгеньевич умер, но память о нем будет вечно жива в умах и сердцах всех соотечественников этого великого человека.



Комиссия по научному и художественному изучению Алмазного фонда СССР под руководством А. Е. Фермана в Московской Оружейной палате, апрель 1922 г.

Академик АН АзербССР

М. А. КАШКАЙ

С чувством преклонения и благодарности

Первое мое знакомство с Александром Евгеньевичем Ферманом состоялось в Ленинграде в 1930 г. после поступления в аспирантуру Института петрографии АН СССР.

Будучи одним из создателей геохимии как ветви геолого-минералогических наук академик А. Е. Ферман был, как известно, не только широко известным ученым, но и непревзойденным оратором. Многим, кто слушал его лекции и доклады, в том числе и мне, он привил интерес и любовь к геохимии.

В начале 30-х годов Александр Евгеньевич завершал свою фундаментальную четырехтомную «Геохимию». Перед сдачей в печать основное содержание этого труда он изложил сотрудникам — геохимикам, минералогам и петрографам Академии наук СССР в пятидесяти лекциях. Мне посчастливилось быть в числе слушателей этих замечательных лекций, проходивших в переполненной аудитории Минералогического музея

им. А. П. Карпинского. Слушали А. Е. Ферсмана с величайшим вниманием. Основываясь на фактах, накопленных геолого-минералогическими науками, на законах химии, физики, физико-химии и других точных наук, он с математической точностью обосновывал закономерности распределения и поведения химических элементов, а также размещения месторождений полезных ископаемых в земной коре. С особым увлечением говорил он о геохимии космоса, сравнительных геохимических признаках космических тел и нашей планеты. Свои идеи обосновывал главным образом данными химических анализов известных тогда метеоритов — единственных небесных тел, попадающих на Землю, а также результатами спектрального анализа состава Солнца, Луны, Марса, Венеры и др. А. Е. Ферсман — один из основоположников космохимии, получившей в последние годы, когда советские и американские космические корабли доставили пробы лунного грунта, беспрецедентное развитие.

Несмотря на то, что геохимия как самостоятельная научная дисциплина зародилась еще в начале нашего века, все же еще в 30-х годах между учеными продолжался спор о том, следует ли выделять геохимию и тем, будто бы отрывать ее от геолого-минералогических наук. Говорили, что геохимия это «грамотная петрохимия», что в ее основе лежит физическая химия и т. п. Этот спор принял такие масштабы, что Александру Евгеньевичу пришлось организовать в конференцзале Академии наук СССР в Ленинграде специальное заседание, где он с глубоким знанием сушности вопроса выступал в защиту геохимии и обосновывал ее как самостоятельную отрасль геолого-минералогических наук. Его поддержали Д. И. Щербаков и другие. Этот день, на мой взгляд, был историческим и поворотным в судьбе отечественной геохимии и по сути с этого времени геохимия утвердилась как наука.

Опубликование четырех томов «Геохимии» А. Е. Ферсмана, как и более ранее издание «Очерки геохимии» В. И. Вернадского, сыграло огромную роль в развитии геохимии и подготовке специалистов-геохимиков, которые ныне, во главе с академиком А. П. Виноградовым, высоко и последовательно поднимают престиж геохимии как достижения русской науки.

Глобальные геохимические и минералогические интересы А. Е. Ферсмана коснулись частично и Азербайджана. Им была напечатана статья о немалите в Шушинском районе Азербайджана, и в связи с этим он проявлял интерес к геохимии и минералогии изучаемых мною ультраосновных пород, простирающихся в пределах Азербайджана более 260 км. Среди этих пород мне удалось обнаружить полудрагоценный минерал-демантоит и всесторонне исследовать его под руководством А. Е. Ферсмана, по представлению которого моя статья была напечатана в Докладах АН СССР. Под влиянием прочитанных замечательных книг А. Е. Ферсмана о драгоценных камнях мы с сотрудниками выпустили на азербайджанском языке книгу «Драгоценные и полудрагоценные цветные камни».

А. Е. Ферсман живо интересовался геохимией термальных вод Истису, и по его совету в свою книгу, опубликованную в 1939 г., я включил соответствующий раздел.

Вооружившись геохимическими идеями Александра Евгеньевича, я имел возможность изучить закономерности распределения элементов и размещения полезных ископаемых на Малом и Большом Кавказе. Результаты геохимических и минералогических исследований в Азербайд-

жанской ССР опубликованы в моей работе «Очерки геохимии в Азербайджане» и в других статьях, а также в работах моих коллег в Институте геологии и Институте неорганической и физической химии АН Азербайджанской ССР. Ныне под моим руководством коллектив этих институтов завершил большую работу по геохимии и минералогии крупнейшего в Союзе медно- и полиметаллического месторождения на Южном склоне Большого Кавказа. Александр Евгеньевич учил, что «исследования надо вести комплексно и искать полезные ископаемые первым делом там, где они нужны».

С чувством преклонения и благодарности пишу я свои воспоминания о дорогом Александре Евгеньевиче — незабываемом учителе, благородном человеке, маститом ученом.

Академик

А. В. НИКОЛАЕВ

Светлый образ

Впервые с Александром Евгеньевичем Ферсманом я встретился в Ленинграде в редакции сборника «Нерудные ископаемые» (1925—1926 гг.). Ввел меня туда, тогда еще молодого специалиста, Д. И. Щербаков, у которого я учился в свое время кристаллографии и минералогии.

А. Е. Ферсман сумел собрать большой коллектив специалистов разного профиля, и практически за два года удалось издать четыре тома указанного сборника, содержащих более 65 статей, составленных по единому плану, объемом более 2200 страниц. Не малую роль в этом сыграло и то, что Александр Евгеньевич удачно выбирал авторов, большинство из которых уже были или вскоре стали крупными учеными (В. Г. Хлопин, А. В. Шубников, П. П. Будников, П. П. Лукьянов, И. И. Гинзбург, Е. С. Бурксер, И. Е. Старик и другие). Мне думается, что сборники «Нерудные ископаемые» многие годы с честью выполняли и роль справочника по важному разделу отечественных сырьевых богатств и хорошо отражали состояние наших знаний на конец 20-х годов. И в наши дни некоторые из статей сохраняют свою актуальность, например, статья А. В. Шубникова по квалифицированному использованию кристаллов и минералов.

Я увлекался в то время работами Лосева и вообще кристаллами для радио и, получив предложение, с удовольствием написал статью на эту тему. Участвуя в написании еще нескольких обзоров, я только после замечаний Александра Евгеньевича начал понимать, как их нужно было писать, ибо критика стиля была беспощадной, но не обидной, а поучительной.

Видимо, я все же подавал надежды, поскольку участвовал в редакционной работе до конца издания.

Затем в 1931 г. В. И. Вернадский, А. Е. Ферсман и Н. С. Курнаков рекомендовали меня начальником большой комплексной Кулундской экспедиции АН СССР, в общем руководстве которой Александр Евгень-



А. Е. ФЕРМАН.
1940 г.

евич и Николай Семенович принимали ближайшее участие. И хотя не все их рекомендации удалось реализовать (например, широкое использование аэрофотосъемки), все же химики, микробиологи, геоморфологи, почвоведы, гидрологи, топографы и другие специалисты дали такой обширный и важный материал, что проектирование и далее строительство крупного сульфатного Кучуского комбината прошло успешно. Он действует до сих пор по схеме, разработанной экспедицией. Значительными оказались и научные результаты, например, построение о речном сульфатном накоплении.

Мне вспоминаются многие заседания в Минералогическом музее, где докладывались и обсуждались выбранные и представленные (обычно

В. И. Крыжановским) минералы для обозрения. Следует отметить большую концентрированность изложения и дискуссии, которые отражали удивительное умение Александра Евгеньевича вести заседания.

Александр Евгеньевич умел зажигать и направлять исследователей при разработке, казалось бы, хорошо известных положений. Как-то раз возник вопрос о специфике миграции соединений натрия и калия. Александра Евгеньевича обычные точки зрения не устраивали, и он неожиданно заявил, что поручает разработку этого вопроса мне. Честно говоря, я никогда не занимался данной темой, но когда начал собирать материал, то обнаружил, что ион калия должен диффузионно рассеиваться на фоне большого содержания ионов натрия, поэтому его повышенное содержание в водах, например по сравнению с морской нормой, может свидетельствовать о размывке калийной залежи. Отсюда, в частности, можно вывести обоснование замечательного предсказания Н. С. Курнакова о вероятном наличии калия в районе Соликамска.

По диффузионному механизму миграции литий на фоне большого содержания ионов натрия должен, напротив, накапливаться, что подтверждается повышенным содержанием этого редкого элемента во многих соляных озерах. Этот механизм удалось распространить на миграцию ионов брома, иода, бора и т. д.

Последнее, что у меня сохранилось в памяти об А. Е. относится к 1945 году. Одновременно с Александром Евгеньевичем я отдыхал тогда в санатории «Узкое». Его всячески оберегали, но все же я смог поговорить с ним; Александр Евгеньевич был, как всегда, весел и остроумен, хотя уже был тяжело болен.

Светлый образ этого выдающегося, полного энергии и замыслов ученого навсегда остался у меня в памяти.

Академик АН УССР
А. С. ПОВАРЕННЫХ

Мудрый наставник

Впервые я узнал об Александре Евгеньевиче Ферсмана, прочитав его книгу «Занимательная минералогия», которую в 1929 г. принес к нам в дом друг моего отца, профессор С. А. Ковалевский. Я тогда учился в 5 классе Ташкентской средней школы, был страстно влюблен в химию и готовился стать химиком.

«Занимательная минералогия» А. Е. Ферсмана произвела на меня огромное впечатление и посеяла серьезные сомнения в правильности выбора будущей специальности. Желая шире познакомиться с минералогией, я купил в букинистическом магазине «Минералогия» П. А. Земятченского и «Учебник минералогии» Г. Г. Лебедева. Однако эти старые довольно объемистые и сухие книги, насыщенные неизвестным мне фактическим материалом, несколько охладили мою первоначальную минералогическую «страсть», зажженную книгой А. Е. Ферсмана. Но летом того же года мы всей семьей выехали на дачу, в горный кишлак Бричмуллу,

в 90 км от Ташкента, откуда я вместе со старшими совершал походы на древние полиметаллические выработки по р. Коксу, на месторождение Аурахмат, побывал на скарнах Малого Чимгана и в других местах.

По возвращении домой я снова и снова перечитывал свою любимую «Занимательную минералогию». Очень захотелось увидеть автора этой книги, представлявшегося мне самым интересным и необычным человеком.

Скоре такой случай представился. Осенью 1931 г. А. Е. Ферман вместе с Д. И. Щербаковым оказались в Ташкенте, проездом в Каракумы. Д. И. Щербаков помог нам с отцом встретиться с Александром Евгеньевичем в гостинице. Я тогда только что поступил в Среднеазиатский геолого-разведочный техникум и все еще сомневался в правильности принятого решения. Короткий разговор с Александром Евгеньевичем в шутовом, но убедительном тоне рассеял все мои сомнения. Меня поразили энтузиазм и экспрессия, когда он говорил, касаясь любимой темы, будь пред ним юноша или взрослый человек, выбирая для каждого лишь более подходящие слова. Когда я робко, слегка заикаясь, сказал ему, что очень люблю химию и хотел бы быть химиком, он весело, но слегка повелительно произнес: «Очень хорошо... будьте геохимиком, будете изучать химию Земли, что сейчас очень важно. Самое главное — любить свое дело, искать новое, неизвестное, постоянно учиться и двигаться вперед». Казалось бы, обычные слова наставлений взрослых младшему поколению, но, сказанные в итоге беседы, и не правоучительно, а вдохновенно, в момент, когда внимание слушателя напряжено до предела (а я боялся упустить хоть одно слово), сыграли в моей жизни решающую роль. С этого дня я уже был окончательно покорен Александром Евгеньевичем, минералогией, геохимией и поставил себе цель — узнать об этих науках все, что только возможно.

Весной 1932 г. А. Е. Ферман снова был в Ташкенте, где перед отъездом в Карамазар сделал увлекательный доклад перед широкой общественностью города о перспективах минерально-сырьевой базы Средней Азии. После доклада многие молодые геологи, в том числе и я, обратились поближе к Александру Евгеньевичу и засыпали его вопросами, на которые он давал быстрые, очень остроумные и порой неожиданные ответы. На основе своего огромного личного опыта и знания зарубежной литературы он раскрыл перед нами вероятные рудные перспективы Средней Азии, приводя эффектные исторические примеры и высказывая логически убедительные прогнозы. Он вселил в нас уверенность, что многое здесь будет найдено, хотя, возможно, и не в очень крупных масштабах. При этом утверждал, что для успеха дела надо только точно знать что, а значит, и где искать. Александр Евгеньевич узнал меня среди окружающих и поинтересовался, как идет учеба, освоение минералогии и геохимии.

С этого года в Средней Азии широко разворачиваются поисково-съёмочные и разведочные работы, особенно на руды редких и рассеянных элементов — мышьяка, молибдена, вольфрама, кобальта, олова и др. В Ташкенте организуется трест «Союзредметгеоразведка», и я, студент, попал коллектором в ревизионную поисково-съёмочную партию, работающую в Западном Тянь-Шане (бассейны рек Угам и Пскем). Здесь мы обследовали несколько древних полиметаллических месторождений и нашли ряд совсем новых, правда, небольшого масштаба, а также обнаружи-

ли контактово-метаморфические месторождения горного хрусталя, жилы барита, флюорита и исландского шпата. Все это нас окрыляло, вселяя надежду, и мы часто во время полевых работ вспоминали пророческие слова Александра Евгеньевича.

В начале следующего года нашей партии было предложено продолжить исследования в этом районе, захватив бассейны рек Майдантал и Ойгаинг, с дополнительным условием — изучить пегматиты (Шамтерек, Турпакбель), известные по образцам еще в прошлом столетии Д. Л. Иванову и И. В. Мушкетову.

Тут мне как коллектору-минералогу партии пришлось засесть всерьез за «Пегматиты» А. Е. Ферсмана.

К началу полевого сезона эту книгу я знал почти наизусть, знал все выделенные Александром Евгеньевичем главные типы пегматитов, характерные для каждого из них парагенезисы минералов, состав и типоморфные признаки главных минеральных видов и т. д. Я успел также по имеющимся в Ташкенте музейным образцам научиться определять макроскопически редкие или так называемые черные минералы.

Полевые работы летом 1933 г. прошли успешно. Мы собрали очень интересный материал по пегматитам Майдантальского гранитного массива, включающим или представленным мларолитовым типом, и так называемым керамическим пегматитам, а также исследовали занорыши Шамтерека с дымчатым кварцем и аметистом.

По возвращении с полевых работ в Ташкент, глубокой осенью я вновь увидел А. Е. Ферсмана. Он был болен и лежал в номере гостиницы. Когда ему стало лучше, он беседовал с геологами. Пришли к нему и мы с друзьями дымчатого кварца, с образцами интересных, а отчасти еще и неизвестных нам минералов. Меня поразило тогда с какой легкостью и уверенностью Александр Евгеньевич определял на глаз многие наши ортиты, эпидот-ортиты, иттротитаниты и другие «черные» минералы.

Я внимательно следил за ним и видел, что он удовлетворен результатами наших работ и пожелал всем нам детально и всесторонне изучить материал в камеральный период.

В Ленинграде, зимой 1934 г. я снова встретился с А. Е. Ферсманом и рассказал, что мы заканчиваем обработку материалов по пегматитам и что генетическая их картина мне представляется совершенно ясной. Он взглянул на меня, слегка прищурив один глаз, и сказал: «Ну, если Вам, молодой человек, все совершенно ясно, то Вы — законченный ученый, а я, Вы знаете, кое в чем еще сомневаюсь». Я стоял перед ним красный, неловко переступая с ноги на ногу, и молчал, отчетливо сознавая, что допустил бестактность. Видя мое смущение, он успокоительно похлопал меня по спине, добавив в заключение: «Никогда не спешите с выводами, особенно с окончательными, в которых все ясно и дальше, выходит, уже не надо работать, по существу-то здесь часто работа только и начинается».

В 1940 г. вышло третье издание первого тома «Пегматитов», в котором были отмечены и наши скромные работы по пегматитам р. Майдантал.

Больше мне с Александром Евгеньевичем повидаться не пришлось, но я неустанно продолжал изучать его работы. Даже на протяжении всей Великой Отечественной войны я возил с собой 4-й том «Геохимии» А. Е. Ферсмана, заглядывая в него, когда позволяли обстоятельства.

Александр Евгеньевич не был моим преподавателем-педагогом, но он был мудрым наставником в начале моего жизненного пути и фактически моим учителем, так как на его трудах я воспитывался с молодых лет. С тех пор прошли десятилетия, но и поныне светлый образ Александра Евгеньевича стоит передо мной — образ доброжелательного, энергичного, разностороннего ученого-энтузиаста. Многие с тех пор изменилось в науке, но ряд ведущих теоретических проблем, волновавших Александра Евгеньевича, особенно вопросы нахождения связи свойств минералов с их атомным строением не забыты, а развиваются успешно дальше. Некоторые из них стали основными направлениями моей научной работы на долгие годы... А ведь началось все это с детского увлечения под воздействием могучего обаяния его неповторимой личности.

Академик

А. В. СИДОРЕНКО

Исследования А. Е. Ферсмана в Туркмении и их значение¹

Многогранная деятельность выдающегося русского ученого — академика Александра Евгеньевича Ферсмана не получила еще достаточного освещения, ибо слишком велики были его научные интересы, а его многочисленные экскурсии охватывают значительные территории Советского Союза с самыми различными геологическими, геохимическими и физико-географическими условиями. В журнальных статьях даны только общие стороны его деятельности, так как невозможно вместить весь размах ее в несколько печатных страниц. Ближайший сотрудник Александра Евгеньевича и спутник по экспедициям в Среднюю Азию Д. И. Щербаков описал путешествия Ферсмана в Среднюю Азию, но в краткой статье не могла быть развернута характеристика многочисленных научных и хозяйственных проблем, поставленных Александром Евгеньевичем в связи с его исследованиями в Туркмении.

Мы задались целью показать роль А. Е. Ферсмана как исследователя Туркмении и в изучении минералогии, геохимии, географии и полезных ископаемых республики. Это тем более необходимо, что Александр Евгеньевич оказал большое влияние на развитие научной и хозяйственной жизни орошения на Западном и Келифском Узбоях, низовьях Амударьи, или Туркмении.

До Октябрьской революции о геологии и географии Туркмении известно было очень мало. Имелись только работы, освещающие отдельные участки территории республики. Они были связаны или с проблемами орошения на Западном и Келифском Узбоях, низовьях Амударьи, или со строительством Закаспийской железной дороги, водоснабжением ее,

¹ По тексту статьи, напечатанной в Известиях Туркменского филиала АН СССР, № 1 за 1950 г.

борьбой с песчаными заносами железнодорожного полотна. Существовали краткие описания нефтеносных структур в Прикаспийском районе, отрывочные наблюдения над месторождениями серы в Каракумах, рекогносцировки почвы на юге Туркмении. Были геологические исследования отдельных частей Копетдага. Таким образом, все сведения о Туркмении касались главным образом ее южной части. Значительная часть республики — пустыня Каракумы — оставалась «белым пятном». Почти отсутствовали сведения о минералогии и геохимии края. При такой крайней скудости знаний о республике начались исследования А. Е. Ферсмана в Туркмении.

Туркмения, которую А. Е. Ферсман считал «одной из замечательных частей нашего Союза» [27, стр. 7], привлекала его как страна пустынь со своеобразным комплексом геохимических процессов, заинтересовавших ученого уже после первого знакомства со Средней Азией в 1924 г. Весной 1925 г. Александр Евгеньевич посещает Репетекскую песчано-пустынную станцию, но болезнь прерывает его дальнейшее знакомство с пустыней. Осенью он вновь стремится проникнуть в пустыню и совершает совместно с Д. И. Щербаковым путешествие в Каракумы, к загадочным Серным буграм. Путешествие было вызвано необходимостью углубить понимание геохимических процессов пустыни, необходимое для правильного анализа миграции рудных элементов в коре выветривания. Одновременно с этим Александра Евгеньевича интересовали серные месторождения в Центральных Каракумах.

Это было смелое и рискованное путешествие: в Туркмении совсем недавно установилась Советская власть. «Советское влияние почти не проникало в пески, на северо-востоке, около Сарыкамышской впадины, властвуют банды Джунаид-Хана, снабжаемые оружием и руководимые шпионами английского империализма. В Ашхабаде мало кто знал о песках; они казались неведомыми и таинственными; «идти, говорят, можно, но вернуться ли мы живыми — это вопрос», — писал Александр Евгеньевич [15, стр. 12]. С небольшим верблюжьим караваном путешественники вышли в октябре 1925 г. со станции Геок-Тепе (40 км западнее Ашхабада) и через 12 дней достигли сперва бугра Чиммерли, а вскоре колодцев Шиих, с самым большим серным бугром Дарваза. Через 23 дня экспедиция благополучно возвратилась в культурную зону.

В 1929 г. проездом из Баку в Ашхабад Александр Евгеньевич вместе с Д. И. Щербаковым посещает остров Челекен, где осматривает месторождение озокерита, а также отложения редких сульфатов в термальных источниках (11), осматривает каменоломни гипса у Красноводска, в которых его привлекают высокосортные гипсы, пригодные как для строительных, так и для декоративных целей и гигантские гипсовые розы [12, 13]. Из Ашхабада с группой туркменских работников он организует пересечение Каракумов на автомашинах по маршруту: Ашхабад—Иербент—Серные бугры—Ташауз. Это было первое успешное пересечение пустыни автотранспортом [17]. Александр Евгеньевич вновь осматривает месторождение серы, составляет мероприятия по более рациональной работе серного завода и по дальнейшему расширению его [18], намечает программу изучения источников водоснабжения завода [22]. От Ташауза до Чарджоу Александр Евгеньевич летит на самолете, производя очень интересные аэровизуальные наблюдения, фотографируя пески и долину Амударьи [14]. По пути из Чарджоу в Ашхабад он посещает Репе-

текскую песчано-пустынную станцию в юго-восточных Каракумах, его внимание привлекают процессы огипсования песков (репетекские гипсы). По окончании экспедиции Александр Евгеньевич публикует сборник очерков «В песках Кара-Кумов» [15], являющийся непревзойденным образцом популярной географической литературы, сочетающим глубину мысли с ясностью и занимательностью изложения.

В январе 1930 г. А. Е. Ферсман вновь в Туркмении. Выехав на автомашине со станции Кизыл-Арват, он посещает «один из интереснейших районов Туркмении» [25, стр. 195]. Западный Копетдаг и знакомится с месторождениями барита и только что открытыми, крупнейшими месторождениями витерита.

В 1933 г. Александр Евгеньевич, возвращаясь из Таджикистана, заезжает на Гаурдакское серное месторождение. Это была его последняя поездка в Туркмению, после которой он тяжело заболел и надолго прекратил поездки в Среднюю Азию.

За время путешествий в Туркмении Александром Евгеньевичем было пройдено около 500 км на верблюдах, 800 км на автомашинах, из них свыше 500 км без дорог, по труднопроходимым Каракумам. Богатые впечатлениями путешествия Александра Евгеньевича по Туркмении возбудили новые идеи и научные проблемы, дали материал для написания свыше 300 научных статей, заметок и популярных очерков, так или иначе связанных с Туркменией. Ниже мы приводим библиографию ряда работ А. Е. Ферсмана, так как во многих, даже популярных статьях часто содержатся новые, оригинальные научные идеи, еще недостаточно освоенные исследователями. Хорошо зная Туркмению и Среднюю Азию, Александр Евгеньевич был редактором ряда изданий, посвященных этим областям.

Александр Евгеньевич горячо любил Туркмению, живо интересовался развитием хозяйства и науки в ней, часто называл ее замечательным краем и не случайно, покидая Туркмению после третьей каракумской экспедиции, писал: «Мне трудно без раздолья Каракумов, душно и пусто вокруг» [3, стр. 4].

Знакомство Александра Евгеньевича с Туркменией, начатое в конце восстановительного периода и продолжавшееся в годы первой пятилетки, совпало с коренной перестройкой всего хозяйственного уклада страны, с бурным развитием промышленности, с поисками для нее отечественного сырья. Это ставило новые задачи перед исследователями и было той благоприятной почвой, на которой в полной мере развернулись исследования А. Е. Ферсмана и получили осуществление его предложения.

По возвращении из Каракумов в 1925 г. Александр Евгеньевич делает доклады Правительству Туркменской ССР и Академии наук СССР об итогах экспедиции и поднимает вопрос об организации добычи серы в Центральных Каракумах. Блестящие доклады, замечательные научные и популярные статьи о Каракумах возбудили в научных и хозяйственных кругах интерес к этой малоизученной стране. Совместно с Д. И. Щербаковым Александр Евгеньевич намечает программу исследования пустыни Каракумы и пути освоения серных месторождений. Осуществление ее возлагается на Вторую Каракумскую экспедицию (1926—1927 гг.) под руководством Д. И. Щербакова. Благодаря организаторским способностям Александра Евгеньевича и его помощника Д. И. Щербакова, о котором

Ферман писал: «мужественный и опытный организатор, идейный вдохновитель и реальный деятель трудного дела» [15, стр. 4], началось всестороннее изучение пустыни Каракумы. Проводится опытная плавка серы и создается первый опытный серный завод (П. А. Волков, А. Ф. Соседко). С целью создания топографической основы выполняются триангуляция Серных бугров и астрономические наблюдения (Я. И. Беляев). Начинаются метеорологические (С. Ю. Геллер), гидрологические и гидрогеологические исследования в пустыне. Ведутся геоморфологические исследования (Б. А. Федорович). Проводятся минералогические изыскания (А. Ф. Соседко). Геологический комитет ведет разведку серы (А. В. Давнов). Создание в центре пустыни серного завода, являющегося промышленным, культурным и административным пунктом, способствовало дальнейшему исследованию и освоению Каракумов. Можно без сомнения сказать, что работы А. Е. Фермана и Д. И. Щербакова положили начало планомерному комплексному познанию одной из величайших пустынь мира, благодаря чему из всех пустынь Каракумы наиболее изучены.

В Туркмении Александр Евгеньевич живо интересовался не только геохимией и минералогией пустыни, горными богатствами края, но и его экономической географией, бытом населения и т. п. Поэтому итоги исследований Александра Евгеньевича можно рассматривать в трех направлениях: 1) проблемы геохимии и минералогии пустыни; 2) проблема использования минеральных богатств Туркмении; 3) проблема географического изучения страны.

Проблемы геохимии и минералогии пустыни

Своеобразие геохимических процессов в климатических условиях пустыни впервые рассматривается Александром Евгеньевичем в 1924 г., после его первой поездки в Среднюю Азию [1]. Он устанавливает, что геохимию пустыни определяет аридный климат в условиях бессточных областей, предсказывает значительную роль в минералообразовании в пустыне псевдогидротермальных растворов или «гипергенных терм», которые могут образовываться благодаря значительному нагреванию почвы в летний период.

Полнее Александр Евгеньевич познает пустыню во время путешествия в Каракумы. Знакомство его с своеобразным комплексом минералов на Серных буграх, в том числе, с открытой им свободной серной кислотой, дало возможность Александру Евгеньевичу нарисовать стройную картину миграции серы, кремнезема и других элементов в условиях пустыни. Учет своеобразия геохимии пустыни позволил установить осадочный генезис месторождений серы, оценить их промышленное значение и наметить программу исследования.

После путешествия в Каракумы Александр Евгеньевич приступил к широким геохимическим обобщениям и поднял во всей широте вопрос о геохимии пустыни как «интереснейшей и вместе с тем еще не решенной геохимической проблеме» [4, стр. 16]. Он смелыми мазками рисует сходство геохимических процессов в полярных пустынях и пустынях

тропических и субтропических широт; находит общие черты там, где, казалось бы, ничего общего нет; дает геохимическое определение термина пустыня: «Геохимически пустыня представляет собою область восходящих растворов без почвенного гумусового покрова из механически накопленных частиц, дифференцированных силою ветра, с общим преобладанием химически наиболее стойких систем с местными скоплениями подвижных неустойчивых химических группировок».

В другой, более поздней работе Александр Евгеньевич наметил «один из характернейших признаков пустынной геохимии — дифференциацию легко и трудно растворимых веществ и самостоятельные пути миграции тех и других» [31, стр. 26].

На материалах своих путешествий в Среднюю Азию, главным образом в пустыни Туркмении, а также на основании геохимического анализа, геологической, минералогической и почвенной литературы А. Е. Ферсман дал следующую характеристику основных черт геохимии пустынной области:

1. Пространственное разобщение легко и трудно растворимых веществ.
2. Отсутствие стока и связанное с этим накопление и периодическое перемещение легко растворимых соединений.
3. Накопление электролитов на поверхности и коагуляция ими гидрозолей.
4. Отсутствие гуминовых кислот.
5. Щелочный характер почвенных растворов.
6. Псевдотермальный характер поверхностных растворов.
7. Движение растворов к поверхности и вызванное этим образование кор и эффлоресценций (выцветы. — А. С.).
8. Растворяющая и гидролизующая деятельность воды при высокой температуре» [31, стр. 26—27].

В ряде других статей и популярных очерков содержатся высказанные попутно геохимические идеи о дифференциации солей в пустыне ветром, о влиянии растительности на миграцию солей. Интересны идеи о геохимической связи подземных вод и нефти на о-ве Челекен¹. Некоторые из них получили дальнейшее развитие. В работах почвоведов И. П. Герасимова и М. М. Шуковича содержатся интересные сведения о распределении солей в почвах и растительности пустынь. В. Н. Тагеева проводила исследования парагенезиса нефтяных вод и нефти на о-ве Челекен¹.

Значительно позже Александр Евгеньевич, характеризуя геохимию полярных областей, вновь возвращается к геохимии пустыни: он устанавливает сходство в геохимических судьбах легко растворимых солей в субтропических пустынях и в полярных областях в связи с периодической сухостью климата [35].

Такой постоянный и длительный интерес к вопросам геохимии пустыни объясняется практическим значением этой проблемы. Александр Евгеньевич видел, что правильно понять условия миграции элементов на месторождениях полезных ископаемых, находящихся в зоне пустыни, и правильно оценить промышленное значение их можно, только изучив законы миграции элементов в пустыне, что и было блестяще сделано им при обследовании Серных бугров.

¹ В настоящее время Челекен стал полуостровом.

К сожалению, эти интереснейшие представления Александра Евгеньевича о геохимических процессах в пустынях не получили еще достаточно полного развития и последующего исследования. Только частично некоторые вопросы пустынной геохимии затрагиваются почвоведом. Время и дальнейшие исследования покажут насколько правильны геохимические построения А. Е. Фермана.

Очень интересны минералогические наблюдения Александра Евгеньевича на Серных буграх. Им впервые описана серная кислота как природное минеральное тело, образующееся при выветривании серы и существующее в свободном состоянии благодаря значительной сухости климата [5, 6]. Свободно существующую серную кислоту можно считать минералом, характерным для окисления серы в условиях пустыни. Нашими исследованиями эти предположения Александра Евгеньевича были подтверждены, и на всех месторождениях серы в Туркмении мы констатировали присутствие этого минерала. На Серных буграх Александром Евгеньевичем исследованы кремниевые образования [5, 7]. Он сравнивает кремни Серных бугров с кремнями и опалами в пустынях Северной Африки, в Центральной Австралии и других местах и приходит к выводу о возможности широкого окремнения в пустыне Каракумы. Последующими исследованиями эта точка зрения не подтвердилась. Окремнение оказалось характерным только для Серных бугров и является частным случаем миграции кремнезема в Каракумах. На многих других серных месторождениях Туркмении и на всей остальной значительной площади Каракумов процессы окремнения отсутствуют.

Под руководством Александра Евгеньевича проводились минералогические, химические и петрографические исследования минеральных образований на Серных буграх (Н. И. Влодавец). Изучены мыльный камень, кварцевые пески, опаловидные стяжения. Эти минералогические исследования, если не считать небольшой статьи В. В. Докучаева о репетекских гипсах, были первыми крупными минералогическими исследованиями в Туркмении. За ними последовали весьма интересные работы А. Ф. Соседко над целестинами в Каракумах, изучение тенардита, мирабилита, минералогические описания сульфатов на о-ве Челекен, изучение баритов и витеритов Копетдага и т. п.

Подводя итог сказанному, нужно отметить, что Александр Евгеньевич положил начало изучению минералогии пустыни, что он первый во всей широте поднял вопрос о своеобразии химических процессов в пустыне, нарисовал общую картину геохимии ее, установил типы процессов, характерные для климатических условий пустынь, и возбудил интерес к этой ждущей своего исследователя интереснейшей области, имеющей большое теоретическое и практическое значение. В настоящее время изучение минералогии и геохимии пустыни Каракумы, в развитие идей Александра Евгеньевича, ведется в Геологическом институте Туркменского филиала АН СССР.

Проблемы изучения и освоения минерального сырья

Как у истинного ученого, глубокие теоретические построения А. Е. Ферсмана были вызваны практическими запросами бурно развивающейся социалистической промышленности, желанием дать народному хозяйству собственное сырье. В Туркмении Александр Евгеньевич живо интересовался минеральными богатствами края и путями их использования. Исходя из общих геохимических построений, он правильно оценил «исключительно всесоюзное значение Туркмении как поставщика неметаллических ископаемых».

Как уже отмечено выше, изучение месторождений серы в Центральных Каракумах, создание и успешное развитие серного завода, обеспечение отечественной промышленности собственной серой в значительной степени обязано исследованиям и инициативе А. Е. Ферсмана. Серный завод был первым горнорудным предприятием в Туркмении, возникшим в годы первой пятилетки и дававшим высококачественную продукцию. До настоящего времени серные рудники и заводы в Каракумах успешно работают и являются передовыми предприятиями республики, неоднократно выходящими победителями во всесоюзном социалистическом соревновании.

Существенное влияние оказал также А. Е. Ферсман на развитие озокеритовой промышленности на о-ве Челекен. Посетив остров по приглашению Правительства ТССР в 1929 г., Александр Евгеньевич составил записку [14, 16] о необходимости разработки озокерита для удовлетворения нужд нашей страны и для экспорта, предлагая начать промышленную разработку месторождений с применением новой, более совершенной технологии, поставить разведочные работы и широкие геохимические исследования. В том же году по поручению Академии наук СССР А. Ф. Соседко проводит рекогносцировочные геологоразведочные работы на озокерит [23, 24], а Н. К. Тагеева начинает геохимические исследования парагенезиса нефти, озокерита и нефтяных вод, которые определили все ее последующие научные интересы [23].

Особенно полно глубина геохимических предвидений Александра Евгеньевича проявилась при характеристике путей развития горнодобывающей промышленности в республике. В 1932 г. совместно с Д. И. Щербаковым, Александр Евгеньевич писал, что в Туркмении должны развиваться два крупных горнопромышленных узла — на востоке и западе республики: «...Гаурдакский с добычей серы, серного цвета, калийных солей, хлористого натрия, серной кислоты...»

Карабугаз-нефтедакский на основе глауберовой соли, кварцевых песков с использованием не только всего нефтяного хозяйства, но и месторождений западных отрогов Копетдага — барита, витерита...» (33, стр. 67).

Александр Евгеньевич первым предсказал крупнейшие мировые запасы только что открытого, еще неразведенного Гаурдакского месторождения серы и поднял вопрос о комплексном использовании его. Он писал: «близость мощных соляных штоков... залежей сильвинита, близость к Амударье и железнодорожной линии при хороших подъездных путях заставляют ставить вопрос о создании специального Гаурдакского комбината» [33, стр. 65]. При последующих геологоразведочных работах были уста-

новлены (А. В. Данов, В. П. Мирошниченко) крупнейшие запасы серы. Позже это серное месторождение было подвергнуто геохимическому изучению А. В. Дановым.

В наши дни прогноз Александра Евгеньевича сбывается: уже ведется разработка высококачественных глин, работает опытный рудник и завод, добывающие и перерабатывающие гаурдакскую серу. Законом о пятилетнем плане восстановления и развития народного хозяйства здесь предусмотрено создание химической промышленности по производству серы, серной кислоты и суперфосфата. Значение района еще более возрастает в связи с открытием крупнейших запасов калийных солей, разведанных Туркменским геологическим управлением.

Основными ведущими полезными ископаемыми, определяющими промышленный характер Западного Туркменистана Александр Евгеньевич считал нефть и соли Кара-Богаз-Гола. Последние успешно разрабатывались в течение ряда лет и давали мирабилит для нашей промышленности. Сейчас в связи с падением уровня Каспия добыча мирабилита затруднена; изыскиваются более рациональные методы добычи его в Кара-Богаз-Голе (акад. Г. Г. Уразов и сотрудники ИОНХ АН СССР), а также исследуются новые, возможно, более удобные места на побережье Каспия для организации искусственной садки солей (С. Ю. Геллер).

Александр Евгеньевич одним из первых оценил «большие перспективы для Туркмении [33, стр. 58] нефтяных месторождений Небит-Дага, тогда еще малоизвестного, только что начинавшего разведываться нового нефтеносного района. И здесь Александр Евгеньевич ратовал за комплексное использование богатств района. Он не раз обращал внимание на использование баритов Копетдага в нефтяной промышленности, при этом отмечал ценность крупнейших, «первоклассных» месторождений витерита в Западном Копетдаге [25, 26]. Месторождения разрабатываются рядом рудников. Минералого-геохимическая характеристика жильных месторождений Копетдага в развитие идей А. Е. Ферсмана была дана автором статьи в 1944—45 гг.

В годы войны, нефтяная и горнодобывающая промышленность Западного Туркменистана далеко шагнула вперед. Разведками треста «Туркменнефть» и геофизическими работами (Ю. И. Годин) нефтеносные площади увеличены в несколько раз. Успешно разбуриваются новые нефтеносные структуры.

Пятилетним планом предусмотрено значительное увеличение добычи нефти и выход Туркмении в число основных нефтедобывающих республик Союза — нефтяники Туркменистана успешно справляются с этой задачей. Здесь же развиваются и другие отрасли горнодобывающей промышленности.

Оправдался прогноз Александра Евгеньевича о развитии озокеритовой промышленности на о-ве Челекен. Здесь установлены крупнейшие запасы этого редкого полезного ископаемого, создана горнодобывающая и перерабатывающая промышленность, являющаяся в настоящее время основным поставщиком церезина народному хозяйству.

За годы первых пятилеток преобразилось лицо Туркмении: на западе и востоке выросли и успешно развиваются новые, крупные горнопромышленные предприятия. Время и потребность народного хозяйства подтвердили всю справедливость теоретических предвидений Александра Евгеньевича.

Освоение природных богатств Туркмении в связи со спецификой страны невозможно без разрешения водной проблемы, этого своеобразного полезного ископаемого. А. Е. Ферсман не раз подчеркивал, что в Туркмении запасы влаги значительны, нужно правильное использование их [24, стр. 43]. Наиболее важным в хозяйственном освоении Каракумов он считал вопрос о водном хозяйстве песков [10, стр. 227]. Остановливаясь на происхождении подземных вод Каракумов, источники которых он видел в инфильтрации вод Амударьи, подземном стоке с Копетдага, инфильтрации вод за счет водосборов на бессточных впадинах и в искусственном формировании горизонтов подземных вод [10, стр. 229—230]. Александр Евгеньевич и Д. И. Щербаков на научной основе знакомят гидрогеологов с своеобразной народной гидротехникой в Каракумах, заключающейся в том, что с такыров собираются дождевые воды и отводятся в колодцы (куи) или дождевые ямы (каки), благодаря чему создается искусственный водоносный горизонт. При этом выдвигалась проблема использования стока с такыров со стационарными метеорологическими и гидрогеологическими наблюдениями.

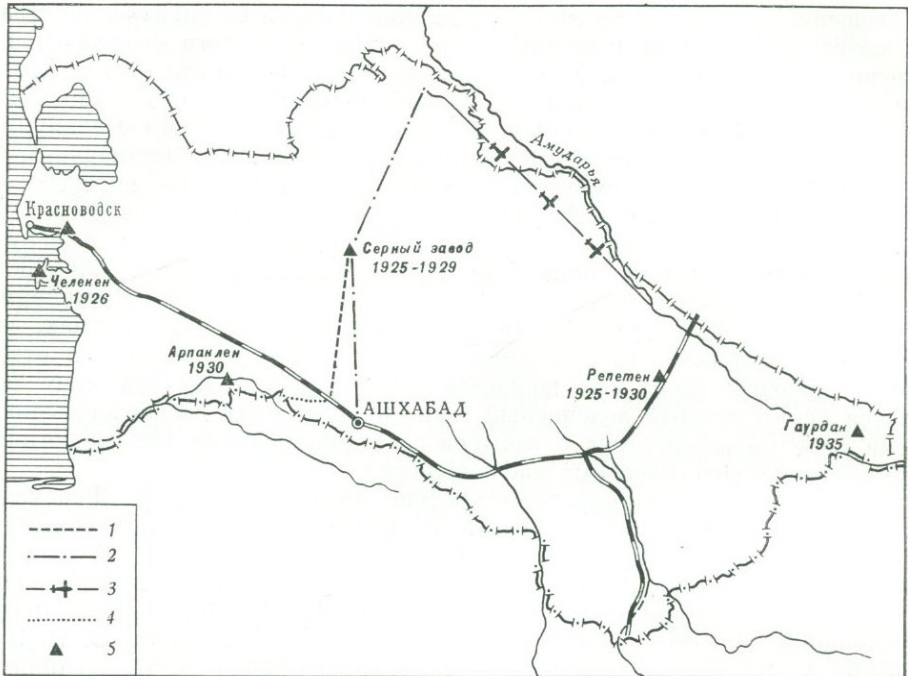
Гидрологические и гидрогеологические наблюдения А. Е. Ферсмана возбудили интерес к этим проблемам и положили начало исследованию водных ресурсов пустыни. В 1926 г. С. Ю. Геллер организует в Центральных Каракумах стационарные метеорологические наблюдения. Собираются сведения о колодцах (Ш. С. Макеев, Э. М. Мурзаев). Начинаются планомерные гидрогеологические исследования (С. Ю. Геллер, В. Н. Куниц, Д. А. Козловский), завершившиеся монографией В. Н. Кунина о подземных водах в Каракумах. В последние годы исследование стока с такыров изучалось в Туркменском филиале АН СССР (В. В. Богданов).

Проблемы географии Туркмении

Александр Евгеньевич предстает не только как геохимик и минералог, но и как географ, оказавший огромное влияние, значение которого трудно переоценить, на географическое изучение Туркмении.

Для географии значение Первой каракумской экспедиции А. Е. Ферсмана в 1925 г. не только в том, что в результате ее мы ознакомились с тогда еще малоизвестными Каракумами, не только в исправлении географической карты, а главным образом в том, что она положила начало комплексному систематическому географическому исследованию пустыни. Александр Евгеньевич совместно с Д. И. Щербаковым составляет подробную программу научных исследований Каракумов, предусматривающую картографические, метеорологические и другие работы. Над осуществлением этой программы трудился большой коллектив научных работников Академии наук. Их самоотверженному, а подчас и рискованному (особенно в период борьбы с басмачеством) труду мы обязаны теперь современному знанию пустыни.

Не меньшее методическое значение для познания пустынь вообще имеет экспедиция А. Е. Ферсмана, показавшая, что пустыни в буквальном смысле этого слова нет, что «пустыня Кара-Кумы не бесплодная безлюдная пустыня, с которой ничего не может сделать трудящийся человек — нет, это еще не осознанное богатство туркменской природы, использовать которое можно и нужно» [15, стр. 27]. «Экспедиция Ферс-



Маршруты Каракумских экспедиций, 1925—1930 гг.

1 — первая экспедиция, 1925 г.; 2 — третья экспедиция на автомашинах, 1929 г.; 3 — аэропланный перелет, 1929 г.; 4 — поездка в Западный Копет-Даг, 1930 г.; 5 — пункты проведения геологических наблюдений

мана показала, что Кара-Кумы издревле заселенная местность, покрытая кустарниковой и травянистой растительностью с очень своеобразными физико-географическими чертами» (Д. И. Щербаков). Характерно, что сам Александр Евгеньевич никогда не описывал «ужасов» пустыни, обычно преувеличенных некоторыми исследователями и журналистами. Подход к пустыне как к своеобразному физико-географическому району сказался и при оценке экономической рентабельности организуемого серного завода, который строился на местном топливе, местном строительном материале и местной рабочей силой.

Велико географическое значение пересечения Каракумов на автомашинах, показавшее возможность применять транспорт для экспедиционных и транспортных целей в пустыне, а также и геоморфологические наблюдения с самолета [14]. Это были первые аэровизуальные исследования в Каракумах. Александр Евгеньевич обратил внимание на меридиональную полосчатость песков, на окаймление подвижными песками такыров и колодцев. Интересны его наблюдения над цветом песков, получившие дальнейшее развитие в работах автора этих строк и позволяющие отличать золотые пески от исходных аллювиальных песков Каракумов, а также наблюдения с самолета над выносом ветром солей с солончаков, развитые затем Б. А. Федоровичем в гипотезу шарово-дефляцион-

ного происхождения бессточных впадин. В этих же наблюдениях заложена идея о дифференциации вещества в пустыне эоловым путем.

Аэровизуальные наблюдения при перелетах Ташауз — Чарджоу и ему подобных показали огромные возможности географических исследований с воздуха, и, вероятно, под влиянием этого Александр Евгеньевич стал инициатором внедрения самолета в геологические и географические исследования. Продолжительное время он и был председателем комиссии по аэрометодам АН СССР. Александр Евгеньевич выступает как новатор в использовании в географических исследованиях новой техники, открывающей новые возможности для наблюдений (организация автопробега через Каракумы и применение самолета).

Деятельность А. Е. Фермана в Туркмении будет освещена не полно, если не отметить, что Александр Евгеньевич был организатором научных исследований и общественным деятелем. Из трех Каракумских экспедиций двумя руководил он лично. Через различные учреждения Академии наук (СОПС, КЭИ, ОКИСАР) он продолжительное время осуществлял идейное руководство исследованиями в Каракумах. К нему неоднократно обращались за помощью и советом правительственные организации республики и многие из исследователей, изучавших Туркмению. Поэтому научные и практические труды Александра Евгеньевича в Туркмении были высоко оценены туркменским народом: он был членом ЦИК Туркменской ССР.



А. Е. ФЕРСМАН в Средней Азии

Многосторонняя научная и общественная деятельность А. Е. Ферсмана оказала большое влияние на геолого-географическое познание Туркмении. Им впервые были сформулированы общие закономерности геохимии пустыни, дано геохимическое определение термина «пустыня» и поднят вопрос об этой еще малоизученной области естествознания. Александр Евгеньевич дал блестящий прогноз развития горнорудной промышленности Туркмении. С его именем связано разрешение серной проблемы в Туркмении и обеспечение отечественной химической промышленности собственной серой. Заслуга Александра Евгеньевича также и в том, что он первый в нашей географической литературе показал, что пустыня — своеобразная физико-географическая область с определенным хозяйством и бытовым укладом, обладающая определенными богатствами, которые должны быть вовлечены в сферу развивающегося социалистического хозяйства.

Литература

1. Ферсман А. Е. О характере гипергенных процессов в местностях с пустынным климатом.— Докл. АН СССР, серия А, 1924, июль — сентябрь.
2. Ферсман А. Е. В пустынях Туркмении.— «Огонек», 1926, № 24.
3. Ферсман А. Е. В песках Кара-Кумов.— «Туркменская Искра», 1926, № 73, 74, 77, 78.
4. Ферсман А. Е. Современные пустыни.— Природа, 1926, № 5—6.
5. Ферсман А. Е. Геохимические проблемы серных бугров в пустыне Кара-Кумы.— В сб. «Серная проблема Туркменистана», Л., 1926. (Мат. ОКИСАР, серия Туркм Вып. 1); в кн. «Сера». Л., КЕПС, 1926, с. 113—146 (Мат. КЕПС, вып. 59).
6. Ферсман А. Е., Володавец Н. И. О процессах окремнения в Среднеазиатской пустыне Кара-Кумы.— Докл. АН СССР, серия А, 1926, № 8.
7. Ферсман А. Е., Володавец Н. И. О свободной серной кислоте как минеральном виде.— Докл. АН СССР, серия А, 1926, № 8.
8. Ферсман А. Е., Щербаков Д. И. Колодцы в песках Кара-Кумов.— Изв. Гос. гидр. ин-та, 1927, № 17.
9. Результаты работ Каракумской серной экспедиции АН СССР.— Осведом. бюлл. КЭИ, 1927, № 15, 28—29.
10. Ферсман А. Е., Щербаков Д. И. Научно-исследовательские работы в Центральных Кара-Кумах в целях содействия организации водного хозяйства в скотоводческих районах. (Записка, представленная в Совнарком ТССР).— В сб. «Серная проблема в Туркмении».— Материалы ОКИСАР, 1928, вып. 17.
11. Ферсман А. Е. На острове Челекен.— Природа, 1929, № 7—8; Туркменоведение, 1929, № 6—7.
12. Ферсман А. Е. Месторождение гипса около Красноводска. Осведом. бюлл. КЭИ, 1929, № 15.
13. Ферсман А. Е. Гипсовая гора гигантских размеров.— Природа, 1929, № 7—8.
14. Ферсман А. Е. Аэропланый перелет Ташауз-Чарджуй.— Осведом. бюлл., 1929, № 14—15.
15. Ферсман А. Е. В песках Кара-Кумов. (Изд. П. П. Сойкин) Л., 1929.
16. Озокеритовые разработки на острове Челекен.— Осведом. бюлл. КЭИ, 1929, № 15 (77).
17. Автопробег Ашхабад — Хива — Чарджоу.— Осведом. бюлл. КЭИ, 1929, № 15 (76).
18. Ферсман А. Е. К вопросу организации научно-исследовательских работ в Кара-Кумах.— Осведом. бюлл. КЭИ, 1929, № 16 (77).
19. Радиосвязь Серного завода с Ашхабадом. Осведом. бюлл. КЭИ, 1929, № 16 (17).
20. Рекогносцировочная геоморфологическая поездка.— Осведом. бюлл. КЭИ, 1929, № 16 (17).
21. Каракумский гидрогеологический отряд.— Осведом. бюлл. КЭИ, 1929, № 17 (78).
22. Гидрогеологические исследования для водоснабжения серного завода в Кара-Кумах.— Осведом. бюлл. КЭИ, 1929, № 18 (79).
23. Исследование озокеритовых месторождений на острове Челекене.— Осведом. бюлл. КЭИ, 1929, № 18 (79).
24. Геолого-топографические работы.— Осведом. бюлл. КЭИ, 1929, № 24 (84).
25. Ферсман А. Е. Из поездки в Туркмению.— Природа, 1930, № 2.

26. *Ферсман А. Е.* Горная Туркмения (впечатления поездки в Каракалинский район).— Туркменоведение, 1930, № 2—3.
27. *Ферсман А. Е.* Научная база хозяйственного строительства ТССР (Из доклада акад. А. Е. Ферсмана Совнаркому ТССР).— Туркменоведение, 1930, № 4—5.
28. *Ферсман А. Е.* Химизация Туркмении.— Ж. Химия и хоз., 1930, № 3.
29. *Ферсман А. Е.* Выпятить проблему газа.— В сб. «Карабугазская проблема». М., 1931.
30. *Ферсман А. Е.* Карабугаз и проблема химизации недр Азии.— В сб. «Карабугазская проблема». М., 1931.
31. *Ферсман А. Е.* Геохимические проблемы Союза. Очерк 1. Основные черты геохимии Союза.— Труды СОПС, серия пол. ископ., 1931, вып. 2.
32. *Ферсман А. Е.* Геохимическая роль серы.— В сб. «Вопросы серной промышленности СССР». Л., 1932.
33. *Ферсман А. Е., Щербаков Д. И.* Ископаемые богатства Средней Азии.— Тадж. компл. эксп., 1932, 1933.
34. *Ферсман А. Е.* Проблемы минерального сырья и химизации Средней Азии. (Тадж.-Памир. экспед. АН СССР).— В сб. «Минеральные богатства Средней Азии». Л., 1935.
35. *Ферсман А. Е.* Геохимия и минералогия полярных областей.— Докл. АН СССР, 1933, 19, № 8.
36. *Здравомыслов Б. К.* Александр Евгеньевич Ферсман (Библиографический сборник составил Б. К. Здравомыслов). Изд-во АН СССР., 1940.
37. *Щербаков Д. И.* Путешествия А. Е. Ферсмана в Среднюю Азию.— Записки Мин. об-ва, серия 2, 1946, ч. 75, вып. 1.

Д. Л. АРМАНД

Воспоминания военных лет

Познакомился я с Александром Евгеньевичем в начале Великой Отечественной войны. Незадолго до этого, по окончании университета, начал работать в Институте географии АН СССР.

Однажды меня вызвал директор Института и сообщил, что моей работой заинтересовался А. Е. Ферсман в связи с организацией Комиссии по геолого-географическому обслуживанию Красной Армии. «Если вы не против,— сказал академик А. А. Григорьев,— я откомандирую вас в распоряжение этой Комиссии». Я согласился и пошел в соседнее здание, где помещались Институт геологических наук и Отделение геолого-географических наук АН СССР. А. Е. Ферсман был тогда академиком-секретарем Отделения и принял меня в своем кабинете. Я немного трусил, но вид добродушного человека, встретившего меня так, словно давно знал, был для меня полной неожиданностью.

— Вот что, дорогой мой. Переделайте ваш план и пишите географию с военным уклоном. Нам очень важно знать территорию противников. А чисто физическую часть допишете потом.

— Александр Евгеньевич, актуально ли это? Гитлеровцы и их союзники уже на Днестре. Мы так быстро отступаем, что непохоже, будто мы окажемся на территории противника.

— Обязательно окажемся. Раньше или позже — это другое дело. Но надо быть готовыми к победе.

Он тут же перешел к обсуждению плана работы, привлечению сотрудников, срокам выполнения. Обсуждение велось компетентно и деловито.

Началась напряженная работа. А. Е. Ферсман по временам собирал Комиссию, чтобы обсудить результаты или поставить новые задачи. Комиссия занималась широким кругом вопросов: обеспечение фронта и тыла полезными ископаемыми, проходимость территорий для машин и артиллерии, разработка путей лэнд-лиза, вопросы маскировки и аэросъемки, поиски пещер для подземных заводов и т. д. Александр Евгеньевич во все вникал, во всем подробно разбирался.

В то трудное время в Институте приходилось не только работать, но и проводить ночи на крышах, занимаясь тушением зажигалок. Бриться я не успевал и приходил к А. Е. Ферсману обросший, как дикобраз. А он всегда был бодр, оживлен и чисто выбрит, хотя говорили, что он сильно болен. Ссылаться на занятость в оправдание нарушений сроков не было возможности — Александр Евгеньевич и себе не давал поблажек. Он просматривал бумаги даже во время обеда, подолгу засиживался ночью за работой и однажды просившему у него аудиенции, сказал: «В четверг у меня будет время вас принять. Приходите в 7 часов утра на Сретенский бульвар. Проводите меня до аэродрома, по дороге и поговорим». В самолет он всегда брал с собой работу, считая что там для этого отличные условия.

В конце 1941 г. Комиссию перевели в Свердловск. Мне лично пришлось задержаться в Москве, но когда позднее я приехал в Свердловск, то оказалось, что Александр Евгеньевич уже позаботился об устройстве моей семьи.

Ферсманы жили в Свердловске на улице Луначарского, в квартире на третьем этаже. В подвале того же дома находился «перевалочный» пункт, где неделями, а то и месяцами жили различные сотрудники Комиссии, а также приезжие геологи и их семьи, до того, как их удавалось пристроить на постоянное место жительства. Среди них были В. П. Зенкович, семья пропавшего без вести на фронте Л. А. Кулика, Е. Л. Кринов, Б. А. Петрушевский. Многие спали на полу, готовили тут же на керосинках и примусах. Работали и днем, и ночью, а по временам то того, то другого сотрудника вызывали наверх для деловых разговоров. Здесь всех гостеприимно потчевали чаем (Александр Евгеньевич был большим любителем его) и ситным хлебом, иногда конфетами.

Вечерами в подвале развлекались, как могли. Большой артист и комик Б. А. Петрушевский, пародировал знакомых. Особенно удачно в его исполнении получался А. Е. Ферсман. Он подвизывал подушку на живот и изображал, как Ферсман вечно спешит, торопится, как он прибегает с мороза, потирая руки, повторяя по привычке слова: «Катришь, Катришь, чаю, чаю, живей, живей!» Все дружно смеялись и хлопали; очень уж выходило похоже. Однажды в разгар представления мы услышали какие-то странные звуки. В дверях стоял сам Александр Евгеньевич и, схватившись за бока, хохотал до упаду. Петрушевский страшно смутился, а Александр Евгеньевич стал просить: «Продолжайте, продолжайте, у вас так замечательно получается! И как это вы все подметили?»

Через неделю я с семьей переехал в Миасс. А летом сюда приехали Александр Евгеньевич и академик П. И. Степанов. Мы устроили гостям «банкет». Вытащили на опушку стол, поставили букет полевых цветов. Меню состояло из крапивного супа, сырой моркови, репы и морковного чая (это был одновременно и праздник первого урожая). Александр Евгеньевич был очень весел, всего отведал, восторгался экзотической

обстановкой, хвалил угощение. Я первый раз видел его неторопящимся. Он поделился воспоминаниями и между прочим рассказал, как впервые с большим риском поднимался на Ильменские горы, как опасались за его жизнь. Способность ходить по горам у Александра Евгеньевича была феноменальная.

Кончалась война. Я вернулся в Москву. Книга, над которой я начал работать в 1941 г., успела выйти в свет. Она была отправлена в действующую армию и оказалась там не бесполезной, а я лишний раз подивился проницательности Александра Евгеньевича.

К. Л. БАБАЕВ

Пути развития производительных сил Средней Азии в трудах академика А. Е. Ферсмана

Александр Евгеньевич Ферсман — один из крупнейших исследователей земных недр, оставивший огромное творческое наследие. Его отличали яркий талант, пытливый ум, удивительная работоспособность и страстность, с которой он отдавался любимому делу, исключительная разносторонность интересов; он был знатоком минеральных ресурсов страны, неутомимым организатором, блестящим пропагандистом и популяризатором науки.

Многие идеи Александра Евгеньевича не потеряли актуальность до наших дней и будут еще долго занимать мысли ученых, развиваться и совершенствоваться в связи с общим движением науки.

А. Е. Ферсман является одним из основоположников новых прогрессивных направлений в геологической науке — геохимии и генетической минералогии, имеющих глубокое теоретическое и прикладное значение.

В трудах академика А. Е. Ферсмана большое значение придается проблемам развития производительных сил Советского Союза, его отдельных географо-экономических районов, рациональному и комплексному использованию богатств недр на благо нашей социалистической Родины. Вся его беспокойная кипучая деятельность энтузиаста озарялась любовью к Родине. Всемерно развивая большую геологическую науку, он стремился всеми силами принести реальную пользу своему народу, своей стране, создавая устойчивую минерально-сырьевую базу промышленности.

Особенно хотелось бы остановиться на двух проблемах научно-прикладного значения, которым Александр Евгеньевич придавал важное значение: 1) химизация страны и 2) металлогения, прогнозирование месторождений полезных ископаемых.

Проблему химизации он считал одной из важнейших задач в развитии производительных сил страны, отмечая при этом, что речь должна идти о химизации, которая внедряется во многие отрасли хозяйства, проникает во все виды производства, охватывает технологические и промышленные процессы, заставляет химически мыслить, химически пред-

ставлять себе дальнейшее развитие производительных сил¹. Он писал, что наступающий век человечества является веком химии, химического преобразования природы и ее сил, глубокого использования и превращения бесполезных и малополезных веществ земли и отходов производства в высоко практические ценности: глина и песок, солома и кожура, бедные бурые угли и тина болот — вот раздолье для творческой мысли новой химии.

Александр Евгеньевич еще в 1920 г. отмечал, что широкая химизация производства для комплексного использования природных богатств коренным образом меняет облик страны. Он указывал правильные пути рационального применения химизации, заключающейся в создании крупных производств, с учетом всех возможностей отдельных регионов и перспективной оценки их по ведущим видам природных ресурсов. Кроме того, настаивал на необходимости согласованного и взаимно увязанного развития ряда отраслей химической промышленности путем создания комбинированных заводов, перерабатывающих большой комплекс продуктов и связанных с ними разных видов сырья.

Таким образом, А. Е. Ферсман, выдающийся теоретик-минералог и геохимик, свои глубокие теоретические исследования умело сочетал с прикладными задачами и дал многочисленные образцы приложения теории к практике.

В своих трудах, посвященных проблемам минерального сырья и химизации, он писал, что промышленное освоение и индустриализация отдельных районов страны, например Средней Азии, сводятся к ряду широких проблем технической реконструкции; одной из самых главных является химизация. Идея химизации обуславливает вторую идею громадного значения — идею комбинированного хозяйства, которое не обрывается путем арифметического сложения, а является сложнейшим комплексом технологических процессов, включая полную утилизацию всех производственных отходов. В качестве примера А. Е. Ферсман обращал внимание на утилизацию отходов обогатительной фабрики Алмалыка. Он писал, что эти отходы являются ценнейшим сырьем, основой для решения ряда сложных технических проблем. Они должны широко использоваться, ибо только в этом случае комбинированные процессы сомкнутся внутри себя и не будет никаких отходов и отвалов «пустых» пород.

С сожалением мы должны констатировать, что эти замечательные идеи и рекомендации по сей день еще не претворены в жизнь. Так, например, развивая прогрессивные идеи А. Е. Ферсмана, мы провели специальные исследования хвостов Алмалыкской обогатительной фабрики и установили, что эти отходы являются прекрасными удобрениями для полей хлопчатника, бахчевых культур, овощей, кукурузы, люцерны и т. д. При этом урожайность хлопчатника повышается на 2—3 ц с гектара, картофеля, томатов и других культур — на 30—40% и т. д. Несмотря на наши настойчивые рекомендации в течение десяти лет ни одна организация не проявила заинтересованности в использовании нового дарового удобрения, запасы которого в настоящее время достигают 35—40 млн. т, а ежегодный прирост их составляет почти 4—5 млн. т.

¹ А. Ф. Ферсман. «Проблемы минерального сырья и химизация Средней Азии». — В кн. «Минеральные богатства Средней Азии». Л., ОНТИХимтеорет., 1935, с. 1—10.

В то же время в периоды зимних паводков большое количество хвостов смывается и рассеивается по долине, теряется безвозвратно.

Итогом богатейшего опыта и всесторонне разработанной теории металлогении и прогнозирования месторождений полезных ископаемых является утверждение Александра Евгеньевича, что вся поисковая работа в неведомых и девственных областях должна перестраиваться по новому основному принципу: найти можно только то, что ищешь, а искать нужно в данном районе только то, что при данном сочетании геологических и физико-химических условий может и должно в данном районе находиться. Только такой прогноз, который толкает мысль в определенном направлении, который заостряет глаз на поиски определенного объекта, а не вообще «чего-нибудь полезного», приводит к реальным результатам.

Таким образом, для поисков месторождений особое значение приобретает металлогенический анализ, основанный на законах распределения веществ и на выводах физической химии, с учетом геохимических возможностей определенных территорий.

Вопросам поисков полезных ископаемых А. Е. Ферман уделял большое внимание, постоянно подчеркивая, что они должны вестись на широкой научной геохимической основе. Особенно полное выражение эти мысли нашли в книге «Геохимические и минералогические методы поисков полезных ископаемых», вышедшей в 1940 г. и являющейся первой сводкой богатого фактического материала передовой научной мысли и тех многочисленных практических и научных наблюдений, которые были сделаны исследователем за 30 с лишним лет экспедиционных работ в разных районах нашей страны.

В этой книге А. Е. Ферман выступает не только как теоретик-геохимик и минералог, но и как опытейший практический исследователь, который стремится передать свой богатый опыт, свои знания геологам-поисковикам, перед которыми поставлены грандиозные задачи — найти и поставить на службу социалистической Родине неисчислимые богатства, тающиеся в ее недрах.

Районирование территорий является исходным и важнейшим этапом всех региональных исследований — общегеологических, тектонических, геофизических, геохимических и особенно металлогенических. Во всех случаях этот принцип имеет основополагающее значение. В этом важнейшем направлении А. Е. Ферману также принадлежит главенствующая роль.

Он как дальновидный и широкомыслящий исследователь на основе геохимических особенностей территории впервые выделил Монголо-Охотский металлический пояс и этим более обоснованно, чем кто-либо другой, показал большое научное значение металлогенических исследований и связанное с ним районирование.

В своих многочисленных трудах А. Е. Ферман обосновал огромные перспективы рудоносности Средней Азии и разработал основные направления развития горнорудной промышленности в этом районе. Им впервые были раскрыты закономерности и геохимические законы распределения рудной минерализации в пространстве и времени в пределах отдельных районов складчатых сооружений Средней Азии, прежде всего в Чаткальской и Кураминской структурно-формационных зонах. Он первый высказал идею о стыке двух больших геохимических систем — Ура-

ла и Тянь-Шаня. По мнению А. Е. Ферсмана, Средняя Азия представляет собой стык двух геологических систем — Уралид и Кавказид. Первая система — Уралиды — Уральская цепь, тянущаяся от северных островов Ледовитого океана до пустыни Гоби. Эта цепь есть первая основная система, из которой складывается Средняя Азия; эта цепь Уралид не кончается на Южном Урале, она расширяется под Казахской степью, заходит на запад к Аральскому морю, достигает Амударьи и затем Тянь-Шаня.

На эти взгляды А. Е. Ферсмана я хочу обратить особое внимание ввиду того, что проблема геолого-структурной связи Урала с Тянь-Шанем изучается в последние годы достаточно активно, особенно в Средней Азии и Казахстане многими исследователями-металлогенистами, геофизиками и др. Но не во всех случаях идея об Уралидах, высказанная А. Е. Ферсманом, учитывается, ее обходят молчанием.

Развивая свои идеи о связи Урала с Тянь-Шанем, А. Е. Ферсман писал, что после последних экспедиций в Среднюю Азию выяснилось, что здесь мы встречаем те же глубокие зоны, что и на Урале.

Отряды СОПС АН СССР, организованные в предыдущие годы по рекомендации и под руководством А. Е. Ферсмана, начали проводить планомерные и целенаправленные исследования Средней Азии. В результате были открыты многочисленные месторождения полезных ископаемых, в том числе месторождения редких металлов, урана, бирюзы и самое главное — золота, на базе которых впоследствии была создана золотодобывающая промышленность.

Заслуги А. Е. Ферсмана в оценке перспективы рудоносности Средней Азии огромны. Еще в 20-х и начале 30-х годов он смело выдвигал Среднюю Азию как перспективный геолого-экономический регион для создания крупной горнодобывающей промышленности на основе принципа широкой химизации всех видов производства.

Мы попытались самыми краткими штрихами обрисовать образ крупнейшего ученого и практика нашей эпохи А. Е. Ферсмана, коснувшись лишь двух его идей, высказанных в отдельных работах, и, конечно, осветили лишь небольшую часть научного наследства, которое он оставил после себя.

Всю свою яркую и кипучую жизнь А. Е. Ферсман отдал служению науке и Родине. Его научное наследие еще долгие годы будет определять направление наших научных исследований и вызывать к жизни новые мысли и новые творческие силы.

В. А. ВАСНЕЦОВ

Богатства недр земных были богатством его души

Александра Евгеньевича Ферсмана я знал как неутомимого путешественника — исследователя Урала, Хибин, Каракумов. Я много слышал о нем как о замечательном минералогe и не только ученом, но и поэте, видевшем в чудесных сверкающих кристаллах цветы недр земли. Как руководитель научной деятельности Ильменского государственного заповедника я хорошо знал о той инициативе и огромной настойчивости, которые он проявил при создании первого в нашей стране заповедника минералов. Но мне никогда не приходилось встречаться с Александром Евгеньевичем, знал я его только по опубликованным фотографиям. Не удивительно, что с большим интересом я ждал личной встречи с ним. Шел трудный 1943 год, когда к нам, в Ильменский заповедник, приехал А. Е. Ферсман.

Я отправился на станцию Миасс встречать Александра Евгеньевича и сразу узнал его по портретам, но, должен признаться, фигура его показалась мне очень массивной, не свойственной путешественнику.

Отрекомендовавшись, я извинился за скромность средств передвижения — это был тарантас, наполненный сеном, ибо ничего другого тогда у нас не было. Но А. Е. Ферсман весело сказал, что именно в таком тарантасе он начал свои исследования Южного Урала, и вся эта обстановка напомнила ему годы молодости.

Ступив на подножку, отчего тарантас резко скренился на сторону, он с неожиданной легкостью вскочил в него и с удовольствием уселся на сене. Путь от станции до усадьбы был близок, и мы успели только перекинуться несколькими фразами.

Желая доставить Александру Евгеньевичу приятное, мы поселили его в том старом доме и в той же комнате, где он жил в те годы, когда заповедник только организовывался.

Немного отдохнув с дороги, Александр Евгеньевич вечером в маленьком клубе заповедника, куда собрались все сотрудники, сделал доклад. Трудно было назвать докладом это живое увлекательное повествование. Рассказывал он о прошлом Ильменских гор, о замечательном разнообразии их минералогических богатств, о хищнических разработках прошлых старателей, о той огромной и настойчивой работе, которая была проделана для превращения Ильмен в заповедник — естественный минералогический музей в природе. Затем он рассказал о своих работах в Хибинах и под конец об о-ве Мадагаскар.

Мы были готовы слушать его без конца, но время было позднее, и пришлось разойтись. Утром нам предстояла поездка по копиям заповедника и на Няшевский кордон, расположенный на берегу живописного озера Большое Миассово, где Александру Евгеньевичу обязательно хотелось побывать.

Наутро я подъехал к крыльцу дома, где он жил. А. Е. Ферсман был уже готов к отъезду, быстро вышел, очень оживленный, видно, его радовала предстоящая поездка по знакомым местам.

Напутствуемые множеством наставлений ехать, как можно осторожнее, мы тронулись в путь.

Сначала А. Е. Ферсман попросил заехать на амазонитовую копь, с нею были связаны какие-то особо дорогие для него воспоминания. С этой пегматитовой жилы, где происходила одновременная кристаллизация полевого шпата и дымчатого кварца, образуя своеобразную структуру, в изломе похожую на какие-то древние иероглифы, начал Александр Евгеньевич свое повествование о пегматитах Ильменских гор. Рассказывал он о процессах образования жил, о последовательности рождения кристаллов различных минералов, о возникновении контактной зоны, о возникновении редких элементов из недр Земли. Рассказывал с такой простотой, ясностью и убедительностью, что казалось будто миллионы лет тому назад он сам был очевидцем всех этих процессов минералообразования.

Дальше мы проехали на копь, где в расчищенной стенке торчали крупные шестигранные кристаллы зеленоватого берилла и прозрачных голубых, как морская вода, аквамарин. Потом мы выбрались на Миассовскую дорогу, пролежавшую по восточному склону Ильменского хребта.

У роговообманковой копи Александр Евгеньевич вдруг остановился. Копь эта очень эффектная, но в данном случае не минералы привлекли его внимание. По середине копи, прямо на гладкой поверхности выступа этой породы, крепко охватив ее своими корнями, стояла стройная сосна. Мгновенно соскочив с тарантаса, А. Е. Ферсман подбежал к копи и, указывая на сосну, воскликнул: «Смотрите, как она выросла, я помню ее совсем еще маленькой, начавшей расти из трещинки, куда попало семечко. Тогда я был уверен, что она погибнет на голом камне, а оказывается, прижилась и теперь всем на удивление стоит стройная сосна».

По-видимому, дерево это пробудило в нем воспоминания. Сев в тарантас, он задумался, потом с какой-то особой задумчивостью стал рассказывать о своих давнишних поездках в Ильменских горах.

На склоне хребта, в стороне от дороги находилось еще несколько небольших копей, а биотитовая копь была почти в полукилометре.

Ехал я очень медленно и не только из осторожности и плохой дороги, а просто хотелось подольше побыть с А. Е. Ферсманом и послушать его рассказы. А он, позабыв все строгие наставления, часто высказывал из тарантаса и, не обращая внимания на корни, камни и полусгнившие поваленные деревья, устремлялся к тому, что его интересовало. Подвижность и легкость, с которой он поднимался на гору, к биотитовой копи, совсем не вязалась с его грузной фигурой. Его дух, его энергия были в нем совсем еще молодыми.

День стоял чудесный, солнечный, смолистый лесной воздух был напоен ароматом нагретой сосновой хвои. Александр Евгеньевич находился в прекрасном настроении. Обстановка навеяла воспоминания, и он об очень многом мне рассказывал. С частыми остановками ехали мы до Няшевского кордона часа четыре, и за это время о горных породах Ильменского хребта, о происхождении пегматитовых жил, о процессах минералообразования я узнал от моего седека, пожалуй, гораздо больше, чем за всю мою предшествовавшую жизнь. А главное, А. Е. Ферсман рассказывал так образно и ярко, что сложные процессы и явления в его изложении становились простыми и понятными.

В повествованиях Александра Евгеньевича выявлялась необычайная широта его знаний. Чувствовалось, что минералогия не только его про-

фессия; минералы были его увлечением, сущностью его жизни. Богатства педр земных были богатством его души, и свои знания о них он щедро расточал всем, кто разделял его увлечения.

Расспрашивал А. Е. Ферсман и о моей деятельности и интересах. Я рассказывал ему о плаваниях на Северном Ледовитом океане, о походах к Земле Франца Иосифа, Гренландии, о красотах Шпицбергена и Новой Земли — полярных островов, где я бывал неоднократно. Слушал он меня с большим вниманием, но я старался быть кратким, мне больше хотелось слушать его, — это было не только интересно, но и обогащало мои представления об Ильменах.

Вернулись мы на центральную усадьбу заповедника уже совсем темно, и, прощаясь с Александром Евгеньевичем на крыльце его дома, мне казалось, что знакомы мы с ним очень давно, настолько велико было его обаяние, общительность и какая-то особая доброжелательность.

Вскоре после нашей поездки Александр Евгеньевич уехал из заповедника и больше мы с ним не встречались.

Прошло всего лишь несколько лет, и будучи уже директором Ильменского заповедника, мне пришлось устанавливать на здании музея мемориальную доску в память об академике Александре Евгеньевиче Ферсмана, одном из основоположников Ильменского заповедника, отдавшем так много сил изучению минералов Южного Урала.

До сих пор в моей памяти он остается таким же стремительным и оживленным, каким я его видел во время нашей совместной поездки на Няшевский кордон летом 1943 года.

В. И. ЕВСТИФЕЕВ

Простой и чуткий

В июле 1935 г. по заданию Серго Орджоникидзе была организована Южно-Уральская экспедиция, в состав которой вошли научные сотрудники и студенты Свердловского горного института (С. С. Славинский, Д. В. Корнаков, В. И. Евстифеев и др.). Целью ее было выяснить вольфрамоносные площади Южного Урала.

Ранее организованная Южно-Уральская комплексная экспедиция АН СССР во главе с академиком А. Е. Ферсманом проводила изучение природных ресурсов Среднего и Южного Урала. В число задач, поставленных перед этой экспедицией, входила оценка выявленных участков вольфрамового и шеелитового оруденений.

А. Е. Ферсман часто бывал на Урале, приезжал в Свердловск и Челябинск, выступал с популярными лекциями о полезных ископаемых Урала. Он был активным организатором Ильменского заповедника — этого уникального собрания минералов нашей страны. Приезжая, он всегда пополнял коллекцию музея интересными образцами минералов.

Беседы с Александром Евгеньевичем были всегда очень интересны. Он охотно делился своими знаниями, разъяснял студентам особенности происхождения минералов, всегда был чутким и отзывчивым.

Велика была наша радость, когда нам сообщили о приезде А. Е. Ферсмана. Два дня он провел с участниками нашей экспедиции. Ходил с

нами по месторождениям, помогал находить характерные образцы горных пород и минералов, рассказывал историю их образования и давал пояснения о применении полезных ископаемых в различных отраслях народного хозяйства.

Другая встреча с Александром Евгеньевичем произошла в 1942 г., когда часть Академии наук СССР была эвакуирована из Москвы в Свердловск. Я работал в это время в Орской геологоразведочной партии, которая вела разведочные работы в Оренбургской области. Мы нуждались в консультации по разведке Ишкинского рудопроявления и обратились за помощью к А. Е. Ферсману. Несмотря на занятость, он охотно уделил нам время и дал весьма ценные советы и рекомендации.

Больше увидеть Александра Евгеньевича мне не пришлось, но я и мои товарищи по Горному институту и работе часто и тепло вспоминаем Александра Евгеньевича.

Сила обаяния Александра Евгеньевича была такова — один раз поговоришь с ним, а преисполнишься добрыми чувствами на всю жизнь.

М. А. КАРАСИК

Образ, овеванный ореолом

Овеванный романтическим ореолом образ академика А. Е. Ферсмана впервые запечатлелся в моей памяти где-то на грани 20—30-х годов, возникая то из сказочной «Занимательной минералогии», то из первого скромного издания «Пегматитов», то из увлекательных рассказов профессора Л. Л. Иванова о годах совместной с А. Е. Ферсманом работы в начале века на кафедре минералогии Московского университета под руководством любимого учителя В. И. Вернадского. Восхищение у нас, студентов, вызывали и демонстрировавшиеся на семинарах в Днепропетровском горном институте блестящие зарисовки кристаллов алмаза, сделанные А. Е. Ферсманом.

С именами В. И. Вернадского и А. Е. Ферсмана связывались в сознании и минералогия, и зарождавшаяся тогда геохимия. Они были значимыми и гениальными нашими наставниками.

Хибины. Монче-Тундра. Каракумы. Мурзинка и Слюдянка. Ильмены. Легендарные горы Кавказа и Крыма ... Еще о многих других интереснейших уголках нашей Родины мы впервые узнавали из трудов А. Е. Ферсмана, из его блестящих очерков в газетах и журналах. И если после окончания института многие из нас считали себя счастливыми, направляясь по путевкам Наркомата тяжелой промышленности в далекие районы Сибири, Урала, Северного Кавказа и Средней Азии, то в этом сказывалось неповторимое воздействие на людей самых разнообразных профессий и возрастов таланта А. Е. Ферсмана.

Вспоминаются золотые рудники и прииски в Забайкалье 30-х годов. Одно за другим появляются первые издания томов «Геохимии» А. Е. Ферсмана. Мы, молодые геологи, увлеченно обсуждаем их содержание. Геохимические методы в то время еще мало применялись в наших работах.

Занятые повседневно разведкой и рудничной геологией, совсем не подготовленные к восприятию, а тем более к практическому использованию все более развивавшихся геохимических идей, мы были удручены и недовольны собой. И вместе с тем мы заражались созидательным оптимизмом А. Е. Ферсмана, интуитивно понимая, что в геологическую науку приходит что-то большое, от чего зависят наши успехи в недалеком будущем.

Непосредственно соприкосновение с трудами А. Е. Ферсмана у меня связано с началом претворения в жизнь возникшей проблемы организации добычи кобальта в нашей стране. Этому помогла встреча в 1938 г. с Д. И. Щербаковым в Закавказье. От Дмитрия Ивановича, давшего мне ценные консультации по геолого-разведочным работам на Дашкесане, я узнал, что Александр Евгеньевич работает сейчас над геохимией кобальта и живо интересуется вопросами изучения его месторождений. О большом значении, которое придавал А. Е. Ферсман в то время кобальту, можно судить по его письму В. И. Вернадскому в июле 1938 г. из Кисловодска, в котором он сообщал, что после окончания «Пегматитов» примется за обработку кобальтового доклада (речь шла о докладе на конференции по кобальту). Таково было правило подвижнической жизни ученого — не проходить мимо сколько-нибудь важных для страны проблем. Вдохновителем данной проблемы явился товарищ С. Орджоникидзе. В частности, по его приказу в задачи созданного предприятия «Дашкесанкобальт» входили разведка и подсчет запасов кобальтовых руд, введение в строй действующих рудника на Северном месторождении и опытно-промышленной обогатительной фабрики. Эти задачи были успешно выполнены, и уже во второй половине 1938 г. фабрика выдавала кобальтовый концентрат, из которого на одном из металлургических заводов вскоре был получен первый советский кобальт. В этом немалая заслуга А. Е. Ферсмана и его ближайшего ученика Д. И. Щербакова. В опубликованной в 1939 г. статье «Геохимия кобальта» (Изв. АН СССР, серия геол., № 3) Александр Евгеньевич наметил пути поисков и освоения кобальта, на примере его геохимических свойств сделал некоторые общие выводы о путях использования некоторых других элементов и их сочетаний в будущем.

С большим волнением вспоминается необычайная душевная щедрость Александра Евгеньевича; он, ученый с мировым именем, передал мне, начинающему аспиранту, рукопись своей статьи по кобальту задолго до ее опубликования.

Наиболее яркие мои воспоминания об Александре Евгеньевиче связаны с его блестящими по глубине мысли и образности изложения выступлениями в марте 1941 г. на Советании в Киеве по геохимии редких и цветных металлов Украины. Незабываемым по своему глубокому содержанию и особой страстности изложения был его доклад, посвященный проблемам геохимии и полезных ископаемых докембрийских шитов. В памяти сохранились полные оптимизма вдохновенные слова А. Е. Ферсмана о том, что Украинский кристаллический щит с покрывающими его толщами таят в себе неисчерпаемые возможности в отношении концентраций ниобия и тантала, никеля и кобальта, алюминия, золота и ряда других элементов.

Александр Евгеньевич подчеркивал вероятность локализации месторождений редких и цветных металлов именно на платформах и образно

призывал украинских геологов спускаться «с гор на равнины». Он указывал, что в древних щитах необходимо проводить большие работы для выявления новых рудных узлов и промышленных комплексов. Эта гениальная мысль, прозвучавшая в устах вдохновенного трибуна, нашла широкий отклик среди участников Совещания и была развита в опубликованной уже после Великой Отечественной войны в известной книге А. Е. Ферсмана в соавторстве с Б. И. Коганом¹.

На Совещании, как и во многих своих трудах, А. Е. Ферсман с большой настойчивостью защищал положение об органической увязке геохимических, технологических и экономических проблем при изучении и освоении отдельных рудных районов и видов минерального сырья.

В бережно хранимом Екатериной Матвеевной Ферсман архиве Александра Евгеньевича находится копия принятой Совещанием резолюции по алюминию, в которой дается оценка возможных видов сырья, путей их технологического освоения и кооперирования алюминиевой промышленности УССР с различными отраслями химического производства. Об интересе А. Е. Ферсмана к этой проблеме свидетельствует его личная пометка на упомянутой копии документа: «В прогнозы. Постановление Совещания в Киеве по редким и цветным металлам. Март 1941 г.».

Поражала какая-то самозабвенная увлеченность Александра Евгеньевича всеми рассматривавшимися на Совещании вопросами. Он успевал и внимательно слушать докладчиков, и тщательно изучать демонстрировавшиеся образцы минералов и руд, и одновременно в подходящий момент бросить реплику, относящуюся к предлагаемому названию нового минерала или характеристике его свойств. И в перерывах между заседаниями Александр Евгеньевич, окруженный участниками Совещания, внимательно рассматривал то самый интересный образчик из рудопроявления, то набросок геохимической диаграммы, давал советы, кое-кого добродушно пожурировал. Многих из присутствующих он знал лично, называл по имени; ведь не прошло еще и двух лет с тех пор, как здесь же в Киеве под руководством А. Е. Ферсмана проходило Совещание по пегматитам.

Вспоминая обо всем этом теперь, кажется, что важнейшие дела Совещания с участием Александра Евгеньевича решались не столько на официальных заседаниях, сколько в перерывах между ними, в кулуарах, где с особой выразительностью вырисовывались благородство и человеческая простота замечательного ученого.

Здесь же на Совещании Александр Евгеньевич не забыл сказать мне, что переданные ему через Д. И. Щербакова материалы по Дашкесану он еще не успел просмотреть. И можно понять мое удивление и радость, когда через несколько дней я получил из Москвы письмо Александра Евгеньевича, в котором он одобрил мои геохимические построения по Дашкесану, предлагал прислать ему статью для «Докладов Академии» и план монографии по кобальту. А уже в конце мая 1941 г. А. Е. Ферсман прислал мне серьезнейшие, с особой чуткостью преподанные замечания по данному вопросу. Казалось, не было никакого расстояния между всемирно известным ученым и неизвестным, только начинающим автором. Со мной как бы советовались: «Может быть.... Следовало

¹ Ферсман А. Е., Коган Б. И. Минеральное сырье зарубежных стран. Изд-во АН СССР, 1947, 567 стр.

бы более детально осветить... Попробуйте переработать в этом духе...» и в конце письма: «Затем... мы с Вами подробнее спишемся и паладим осуществление этого интересного дела».

Волнующей, надолго оставившей след в моей жизни, была встреча с А. Е. Ферсманом в Свердловске.

Февраль 1942 года. Небольшая временная квартира Ферсманов в центре города представляла собой в то время своеобразный оперативный штаб по делам обеспечения фронта стратегическим сырьем. Этим делам Александр Евгеньевич отдавал все свое время, совершая многочисленные поездки по Уралу и другим районам страны. О характере творческой и практической работы А. Е. Ферсмана в это тяжелое для Родины время можно судить по воспоминаниям академика А. В. Шубникова, сообщавшего, что он был вызван к Александру Евгеньевичу по повестке военной организации и явившись поздно ночью тут же получил поручение организовать производство необходимых Красной Армии пьезокварцевых пластинок.

По свидетельству многих, подобный стиль работы был присущ А. Е. Ферсману и в мирные годы.

В такой обстановке состоялась моя вторая встреча с Александром Евгеньевичем. Узнав, что Отделом кадров инженерных войск Красной Армии я направлен на Урал для работы по специальности в системе Наркомцветмета, Александр Евгеньевич одобрил мое назначение в одну из геолого-разведочных партий на Среднем Урале, призванную бесперебойно обеспечивать кобальт-никелевыми рудами высокого качества расширяющийся металлургический завод. Он считал, что ознакомление с классическими месторождениями коры выветривания на Урале будет полезным для продолжения моей научной работы. Но основной упор Александр Евгеньевич делал на то, что кобальт и никель крайне необходимы оборонной промышленности.

Огромной и необходимой была всесторонняя кипучая деятельность А. Е. Ферсмана в годы Великой Отечественной войны. Приняв самое активное участие в организации помощи науки фронту, он показал нам достойный пример в деле обороны Родины. Непрерывное беспокойство Александра Евгеньевича за ее судьбы — яркая черта его жизнеутверждающего таланта со дней молодости. Еще в 1915 г. А. Е. Ферсман в боевой обстановке выполнял задания командования Юго-Западного фронта. Оттуда он и писал своему учителю В. И. Вернадскому: «... считаю положение слишком серьезным, чтобы думать о чем-либо другом, чем о задачах момента...»

Своей неустанной, необъятной по многообразию и масштабу научной, общественной и государственной деятельности А. Е. Ферсман предстает перед нами как патриот, много сделавший для победы Родины над фашизмом.

Сражающимся воином навсегда запечатлелся в моей памяти светлый образ человека большой души — академика Александра Евгеньевича Ферсмана в грозные дни февраля 1942 года.

М. В. КЛАССЕН-НЕКЛЮДОВА

Воспоминания военного времени

Познакомилась я с Александром Евгеньевичем и Екатериной Матвеевной Ферманами в Крыму, в Гаспре в 1937 г. Отдыхал Александр Евгеньевич очень деятельно. Ежедневно приносил с прогулки «интересные камни». Екатерина Матвеевна позднее рассказывала со смехом, что «интересных камней» набрался большой чемодан, и в Москве на вокзале посылщик сказал: «Ну и чемодан, точно камней наложили».

1941 год. Война. Академию наук срочно эвакуировали в Казань, но в Москве оставались небольшие коллективы. Здание Института геологических наук на Старомонетном, где помещалась лаборатория кристаллографии, руководимая А. В. Шубниковым, опустело и не отапливалось. Однако в первых двух этажах теплилась жизнь. Разрозненные группы сотрудников продолжали работать, несли охрану, дежурили на крышах.

Внезапно в здании Института началось оживление. В Москву из Казани прилетел Александр Евгеньевич Ферман и в тот же день появился в Институте, стал обходить уцелевшие группы, знакомясь с их деятельностью и выясняя их трудности. Пришел он и к нам.

Н. В. Белов в этот день отсутствовал, так как ночами держал вахту на крыше Института. Докладывать о нашей деятельности пришлось Е. Е. Флинту и мне.

Е. Е. Флинт начал с того, что вести работу в полузамороженном здании Института трудно, и просил Александра Евгеньевича помочь ему с семьей эвакуироваться на Урал, в деревню Филатовку, где под руководством А. В. Шубникова работала часть коллектива нашей лаборатории. Александр Евгеньевич обещал помочь и предложил собирать вещи. И быстро повернувшись ко мне, спросил, как обстоят дела. Я рассказала о деятельности нашей группы, как мы пытались помогать Красному Кресту — при деятельном участии Н. В. Белова и привлеченного им химика К. Д. Щербаковой организовали в здании Института небольшую лабораторию по производству белого стрептоцида. Однако работу пришлось прекратить, так как в Москве иссяк запас необходимой хлорсульфоновой кислоты. «А что делает Витовский, великий алхимик?» — спросил Александр Евгеньевич. Я отвечала, что Б. В. Витовский совместно с А. С. Шейном организовали в обычной квартире, в доме на Полянке настоящий завод для синтеза кристаллов сегнетовой соли и изготавливают для Красной Армии акустические элементы. Б. В. Витовский и Г. Ф. Добрянский разработали методику и создали установку для скоростного выращивания кристаллов из водных растворов, и растут огромные однородные кристаллы. А. С. Шейн организовал механический цех, наладил обработку кристаллов и выпуск разнообразных приборов, в частности для звукоразведки и связи. «Обязательно пойду посмотрю, что создал великий маг Витовский».

По мере того, как я рассказывала о нашей работе, лицо Александра Евгеньевича оживлялось, в глазах забегали задорные огоньки: «А сама что делаешь?» Тогда я рассказала об идее создания высокопрочных, легких материалов из пластмасс, армированных высокопрочными (тонкими) стеклянными волокнами. Сказала о том, что докладная записка о необ-

ходимости уже сейчас начать эти работы, а также обоснование этих исследований составлены член-корреспондентом Академии архитектуры А. К. Буровым, архитектором Б. П. Михайловым и мной. Такие материалы нужны сейчас авиации и потребуются при восстановительном строительстве. Экспериментальная база в здании Института геологии имеется, так как зал испытательных машин, принадлежащий лаборатории профессора Б. В. Залесского, не эвакуирован. Б. В. Залесский дал согласие участвовать в этих работах. А. А. Леонтьева уже обучает нас изготовлять на самодельной установке стеклянные волокна. Александру Евгеньевичу все рассказанное мною, по-видимому, понравилось. Он назначил меня уполномоченным представителем по группе кристаллографии вместо отъезжающего Е. Е. Флинта и сказал: «Завтра я улетаю в Ленинград, чтобы там организовать возможную помощь ленинградским ученым. Вернувшись, обязательно посмотрю, что делает Витовский, познакомлюсь с Вашей докладной и с архитектором Буровым». Затем спросил: «Вы ленинградка? Кто в Ленинграде нуждается в срочной помощи? Кого не успели вывезти?» Я сразу назвала больше десятка физиков и по предложению Александра Евгеньевича составила список.

На следующий день Александр Евгеньевич не улетел в Ленинград. Это было опасно, и в разрешении отправиться в осажденный Ленинград ему было отказано. Однако Александр Евгеньевич не успокоился, он сразу организовал продуктовые посылки ленинградцам, что спасло многим жизнь. Через несколько дней Александр Евгеньевич опять появился у нас на втором этаже, где я строчила письма-отчеты А. В. Шубникову на Урал, отогревая руки самодельным рефлектором. Я повела Александра Евгеньевича на Полянку, где работал Б. В. Витовский, через церковный двор, направо по улице, — и мы очутились в совершенно ином мире. В квартиру, превращенную в кристаллизационный цех, мы вошли со двора. После замороженного, запущенного здания Института геологии на нас пахнуло необычным теплом. Комната была термостатом с температурой $+37^{\circ}\text{C}$. Все было выкрашено в белый цвет. Поражали чистота и порядок. В одной комнате стояли хорошо ухоженные цветы. Нас встретили Б. В. Витовский и Г. Ф. Добржанский в белых халатах. Трудно было представить, что эта образцовая, я бы сказала комфортабельная лаборатория находится в опустевшей Москве.

Все в лаборатории было сделано собственными руками организаторов из деталей коммунального хозяйства. Для подготовки растворов были утилизированы установленные одна над другой обычные белые ванны. Терморегуляторы и кристаллизаторы были самодельные. Кристаллы поражали своими габаритами (весом до 4 кг) и однородностью. В трех небольших комнатах снимали около 0,5 т кристаллов. Конструктивное оформление цеха позволяло вести непрерывный контроль за их ростом.

Кристаллы поступали в другие цеха для обработки и изготовления разнообразных приборов. И здесь была впервые решена задача промышленного получения кристаллов сегнетовой соли. «Нам было бы очень ценно иметь Ваше мнение о нашем цехе», — сказал Георгий Федорович Добржанский. Александр Евгеньевич сел за стол и написал: «Как увидишь, как удалось перехитрить природу и в недели растет то, что растет сотнями лет в недрах земли, тогда радуешься и ценишь мощь человеческой мысли, энергии и науки. Эта победа над кристаллом и силами — победа нашей советской науки и наших молодых научных сил. Эта

победа родилась в борьбе за Родину, в борьбе за применение новой техники против врага, в том горении, без которого не создается ничего крупного в жизни.

Пусть же растет и развивается эта новая замечательная область науки и техники и пусть скорее в руках советской молодежи она может перейти к новым культурным задачам нового мира, освобожденного от гнета фашизма» (23/III—1942 г. Академик Ферсман).

Александр Евгеньевич не вернулся в Казань, а остался в Москве и начал энергично действовать. К работе Комиссии по геолого-географическому обслуживанию Красной Армии он привлек научных работников самых разнообразных специальностей. В частности, в Комиссии начали работать и сотрудники ВИМСа — оптики В. В. Аршинов, Н. Е. Веденеева, С. В. Грум-Гржимайло, Н. М. Меланхолин. В ее состав была включена и группа по высокопрочным материалам, первоначально под руководством А. К. Бурова. Я была привлечена консультантом. Первыми сотрудниками группы были Г. Д. Андреевская, М. А. Чернышева и механик А. И. Чепурин, с помощью которого была смонтирована первая установка для получения высокопрочных жгутов и стеклолент.

Так, впервые в мировой практике группой энтузиастов в разгар войны были заложены основы технологии создания высокопрочных композиционных материалов (мы называли их тогда анизотропными структурами). Постепенно нами была усовершенствована установка для получения стеклопластиков и технология их изготовления.

Согласно работам академика А. Ф. Иоффе, показавшим опасное влияние дефектов на поверхности твердых тел, мы напыляли связующие среды непосредственно на свежие стеклянные нити, вытягиваемые из фильеров в платиновой лодочке. Работали мы первоначально на модельных клеях (казеине). Постепенно научились изготавливать и стеклофанеру.

Александр Евгеньевич в это время был занят организацией Комиссии по стратегическому сырью. Это, однако, не мешало ему интересоваться нашими работами.

В один из дней Александр Евгеньевич должен был вместе с А. К. Буровым и мной доложить о результатах работ маршалу М. П. Воробьеву. Трамваи ходили плохо. Спеша на прием, мы с А. К. Буровым бежали, неоднократно пересаживаясь из одного трамвая в другой. В приемной маршала нас уже ждал Александр Евгеньевич. Он мгновенно распределил роли. Сначала выступил он с докладом об организации Комиссии по стратегическому сырью, затем мне отводилось 10 минут на изложение принципа реализации высокой (теоретической) прочности тонких стеклянных волокон, эффекта А. Ф. Иоффе и перспективы получения материалов с удельной прочностью, превышающей все существующие авиационные материалы. А. К. Буров должен был изложить принцип напряженного армирования конструкций и обрисовать перспективу армирования балок высокопрочного гипса антикоррозионными стекложгутами для нужд восстановительного строительства. Все прошло очень хорошо.

Война приближалась к концу. Александр Евгеньевич очень переутомился. Екатерина Матвеевна с трудом уговорила его поехать в санаторий «Узкое». Приехала туда на несколько дней и я. В «Узком» поправлялась после перенесенного энцефалита С. В. Грум-Гржимайло. Супруги Ферсман опекали больную. В один из вечеров они пригласили нас к себе в комнату. «Скоро можно будет начать мне работать над книгой «Воспо-

минания о камне», — сказал Александр Евгеньевич, — захватил в «Узкое» старые наброски». И он прочел нам раздел: «Синие камни» — историю о лазуритовом слонике, подаренном Аманулле Хану. На другой день Екатерина Матвеевна сообщила, что Александр Евгеньевич вчера опять устал, что ему нельзя переутомляться. «Приходите и лучше всего почитайте ему газету», — сказала она. В этот памятный вечер я прочитала Александру Евгеньевичу статью об открытии второго фронта.

Б. И. КОГАН

Бесконечно дорогой

По случайной, но доброй воле судьбы на мою долю выпало огромное счастье в течение ряда лет находиться вблизи А. Е. Ферсмана, видеть его в различных обстановках, общаться с ним как с ученым и человеком. К сожалению и к стыду своему, я не догадался в свое время вести систематические записи о встречах и разговорах с Александром Евгеньевичем, и этот большой мой грех я могу сейчас искупить частично только отрывочными заметками.

Впервые я был представлен А. Е. Ферсману в 1932 г. в Ленинградском отделении треста «Апатит». Прежде всего меня поразила тогда, конечно, его крупная, очень внушительная фигура, хотя тучным он еще не был; особенно величественной была голова. Затем, естественно, неизгладимое впечатление произвела бьющая через край энергия.

Первая встреча была кратковременной, но вскоре я уже часто мог видеть Александра Евгеньевича в его бурлящей, кипучей, непрерывной, всех вокруг заражавшей деятельности. Не зная усталости, он совершал бесчисленные поездки на север, часто в тяжелых условиях, руководил научными конференциями, придавая им особую яркость, сам искал и ставил других искать новые пути переработки и использования кольского сырья, не имевшего себе ранее аналогов во всем мире, проникал во все детали не только поисковых и геолого-разведочных работ, но и многообразных исследований по обогащению, технологии химических и металлургических процессов, экономике и везде успевал давать советы. Не ограничиваясь чисто научной сферой, Александр Евгеньевич добивался скорейшего промышленного освоения горных богатств Мурманского края, много раз обращался в Правительство со своими конкретными предложениями и в этом отношении всегда опирался на Г. К. Орджоникидзе и С. М. Кирова.

Тема «Кольская эпопея и А. Е. Ферсман» широко освещена в литературе. Здесь хотелось бы только хотя бы в нескольких словах рассказать и еще об одном направлении его деятельности, о котором нигде пока ничего не написано. Речь идет об Апатито-нефелиновом бюро Научно-исследовательского сектора (НИС) ВСНХ СССР (затем Наркомата тяжелой промышленности — НКТП СССР), которое было создано по его инициативе в 1932 г. и которое он затем возглавлял в течение ряда лет.

Задача этого Бюро заключалась в том, чтобы координировать и целенаправленно направлять все не только научные, но и промышленные

мероприятия по апатито-нефелиновой проблеме (выполнявшиеся разными организациями и специалистами), включая широкий круг вопросов геологии, минералогии, геохимии, добычи, обогащения, химической и металлургической технологии, экономики, проектирования и строительства, топлива (местного и привозного) и электроэнергии, транспорта, связи с другими районами страны и отраслями хозяйства, путей освоения отходов, новых минералов и руд, определения путей и перспектив развития горных богатств Мурманской области.

В ходе дела получилось так, что из апатито-нефелинового Бюро стало общекоольским, и через него А. Е. Ферсман имел возможность постоянно находиться в курсе всех событий по Кольскому промышленному узлу, оказывать свое влияние на их осуществление, стимулировать новые идеи и помогать в их реализации.

Бюро систематически проводило текущие заседания в Ленинграде и полярные совещания в Кировске. Ленинградские заседания с участием местных и московских геологов, обогатителей, химиков, металлургов, металловедов, экономистов, плановиков и хозяйственников проходили в Доме ученых. Неизменно председательствовал А. Е. Ферсман, и обстановка розового или голубого зала придавала им особую торжественность.

Что касается полярных совещаний, то они являлись подлинными праздниками для научной общественности и работников кольской промышленности. В их работах участвовали не только кольчане, но и представители разных городов Советского Союза.

Александр Евгеньевич обычно заранее приезжал в Кировск (прежде Хибиногорск). Он сам участвовал в подготовке совещаний, вникал во все детали, вплоть до мелочей. Он лично встречал гостей на вокзале, каждого приветствовал, для каждого находил веселое или шутовское слово.

Работа совещаний длилась, как правило, 5—6 дней. Рассматривались разнообразные проблемные и отдельные вопросы, в частности много внимания уже тогда уделялось редким элементам. Очень активными бывали прения и дискуссии. Ни одно из этих полярных совещаний не проходило без творческого горения, энтузиазма, высоких устремлений. Чувствовался общий подъем, окрыление успехами, зарождавшимися новыми замыслами, вера в большое дело. Это была эпоха творческой романтики, и главным ее вдохновителем оставался А. Е. Ферсман.

В состав Апатито-нефелинового бюро входили многие ученые и представители промышленных организаций, а в Президиум, кроме председателя — академика А. Е. Ферсмана, два его заместителя: директор треста «Апатит» В. И. Кондриков и зам. директора Государственного Института прикладной химии (ГИПХ) — проф. Г. И. Войнилович. Большое и активное участие в работах Бюро принимал профессор, ныне академик С. И. Вольфович. Ученым секретарем был Б. И. Коган.

Надо сказать, что успешному разрешению кольских проблем благоприятствовало на редкость удачное сочетание двух деятелей — по науке А. Е. Ферсмана и по хозяйственному руководству — В. И. Кондрикова — человека большого, ясного и самобытного ума, самородка с врожденным блестящим талантом организатора и широким кругозором, умевшим, не имея высшего образования, вникать в подробности разнообразных сложных вопросов и до тонкостей разбираться в них, находить в трудных случаях остроумные оптимальные решения, поражающие специалистов.

Достаточно указать, что, будучи сверх меры загружен делами, он находил время изучать «Геохимию» А. Е. Ферсмана и обсуждать с ним эту книгу (я был свидетелем).

Между Александром Евгеньевичем Ферсманом и Василием Ивановичем Кондриковым установились и неизменно сохранялись отношения взаимного глубокого уважения.

Нельзя еще не отметить, что благодаря кольским делам вокруг А. Е. Ферсмана образовалась когорта исследователей-энтузиастов, которые вскоре прославились своими достижениями и стали известными или выдающимися учеными. В эту могучую «ферсмановскую кучку» входили Н. В. Белов, Э. М. Бонштедт, И. Д. Борнеман-Старынкевич, К. А. Власов, В. И. Влодавец, Н. И. Влодавец, П. А. Волков, О. А. Воробьева, В. И. Герасимовский, Е. Е. Костылева, Б. М. Куплетский, А. Н. Лабунцов и др.

Из особых качеств характера Александра Евгеньевича надо прежде всего отметить исключительную любовь к работе (он не представлял себе жизнь без нее), колоссальную трудоспособность, необыкновенное трудолюбие, доходившее до самозабвения, постоянное горение. Он работал и думал о работе неустанно, ежеминутно, всегда и везде, не зная праздников и выходных дней, в любое время и в любых условиях — даже в поездках, на самолетах, во время болезней.

Н. Н. Долгополов как-то вспоминал, что в ресторане, в ожидании обеда, Александр Евгеньевич умудрился продиктовать стенографистке статью. «Кстати, сказал он, смеясь, и на обед заработали».

Работа была неизменной пламенной страстью Александра Евгеньевича, напряженный и непрерывный творческий труд — его жизненной стихией, и фраза: «Работай, работай, будь полезен человечеству» — его постоянным девизом.

Александр Евгеньевич работал одновременно над несколькими темами, он говорил, что не может заниматься только одним вопросом.

В периоды нахождения в Ленинграде или Москве рабочие дни Александр Евгеньевич проводил, как правило, в Институте — в директорском кабинете, в Президиуме АН СССР, очень часто на разнообразных заседаниях и совещаниях и не только академических, но и в министерствах и разных других организациях. Между прочим, он не тяготился «заседательством», наоборот, охотно принимал участие в работах совещаний, несомненно обогащаясь через них дополнительными сведениями. Надо учесть, что на неделовые и неактуальные совещания его, по-видимому, не решались приглашать.

Небольшие статьи, заметки, деловую переписку, ответы на письма он обычно диктовал стенографистке или машинистке.

Возвращался домой в 7—8 часов вечера, если не задерживался на заседаниях и совещаниях, которые в те годы часто затягивались до очень позднего времени. После обеда и отдыха, примерно с 10—11 часов вечера начиналась вторая половина рабочего дня, опять-таки бурная и кипучая. Стенографистка уже ждала, и вновь Александр Евгеньевич продолжал диктовать. Позднее он начинал заниматься преимущественно фундаментальными работами. Часто по вечерам приходили для деловых разговоров посетители — большей частью иногородние ученые или близкие друзья.

В годы Великой Отечественной войны с 11.30 до 12 часов ночи Алек-

сандр Евгеньевич обязательно ежедневно слушал по радио сводки последних известий, после чего происходило их обсуждение и комментирование. Затем примерно до 3—4 часов ночи он продолжал работать в тиши своего кабинета.

Из 1500 опубликованных А. Е. Ферсманом книг и статей всего лишь 81 работа написана в соавторстве, притом почти все эти совместные публикации, за единичными исключениями, приходится на статьи. Монументальные монографии написаны им лично.

Александр Евгеньевич обладал феноменальной памятью, и мозг его, выражаясь современным технократическим языком, был хранителем богатейшей и обширнейшей информации. Благодаря этому Александр Евгеньевич мог писать исключительно быстро, зачастую даже не имея под рукой необходимой справочной литературы.

Свою блестящую по форме и изобилующую многочисленным и разнообразным фактическим материалом брошюру «Война и стратегическое сырье» [18] написал буквально за две недели.

В 1941 г. он выступил в Свердловске с докладом о редких элементах. Никакими библиотечными данными он пользоваться тогда не мог и времени для сбора материалов не было, тем не менее поразительным оказалось изобилие фактических сведений. Все они были почерпнуты, несомненно, из памяти.

В Свердловске же в 1942 г. в своем докладе на заседании по проблемам минерального стратегического сырья, на котором присутствовали академики В. Л. Комаров и О. Ю. Шмидт, Александр Евгеньевич привел на память такое множество исключительно детальных сведений по зарубежным странам, что можно было только диву даваться, откуда они могли быть почерпнуты и как могли накопиться и сохраниться в памяти одного человека.

Однажды при мне позвонили из редакции газеты «Правда» и попросили Александра Евгеньевича выразить его мнение по поводу одного из важных в то время событий. Он обещал это сделать через 15 минут, и действительно вскоре продиктовал свой текст по телефону, хотя все время продолжал непрерывно со мной беседовать и не сделал на бумаге ни одной записи. Назавтра высказывание Александра Евгеньевича было напечатано в газете, и я был поражен красотой и глубине его мыслей.

Иностранные языки необыкновенно легко давались Александру Евгеньевичу, и его можно считать почти полиглотом. Он в совершенстве с детства знал немецкий и французский, а в гимназические годы также в совершенстве освоил греческий и латинский, которыми даже увлекался. В Италии он вначале говорил на ломаном итальянском, но затем так им овладел, что его даже принимали за итальянца. По-английски не разговаривал, но читал свободно. На приеме в Советском посольстве в Норвегии легко изъяснялся на норвежском и шведском языках, чем привел в большое удивление посла — А. М. Коллонтай, предполагавшей, что без переводчика не обойтись (рассказано самим А. Е.).

Задумывались ли Вы когда-нибудь над тем, как сумел А. С. Пушкин за короткий срок тщательно изучить архивы по истории пугачевского бунта и извлечь из них массу фактов? Эта гениальная способность поразительна.

Примерно в таком же духе работал с архивными материалами А. Е. Ферсман. В процессе подготовки монографии «Полезные ископае-

мые Кольского полуострова», ему пришлось просмотреть большое количество объемистых папок, и я видел как он глотал страницу за страницей, молниеносно, по особому наитию, обнаруживая интересовавшие его сведения и быстро записывал их¹.

Александр Евгеньевич просматривал и прочитывал огромное количество отечественных и зарубежных изданий и всегда был в курсе всех новинок литературы по естественным наукам. Знакомился он с книгами и статьями также молниеносно и умудрялся сразу улавливать все наиболее актуальное. Он считал (тогда еще не было обилия реферативных журналов), что научный работник специально должен выработать в себе способность быстро ориентироваться в литературе и находить необходимые материалы с минимальной затратой времени.

Александр Евгеньевич писал бисерным почерком и очень быстро, мысли опережали процесс их оформления, поэтому часто слова состояли только из первой половины или не имели окончаний. Умел и любил диктовать стенографисткам или машинисткам, не только деловую переписку, но и небольшие статьи и отзывы по диссертациям.

Александр Евгеньевич обладал исключительной способностью наблюдать и примечать. К тому, что рассказывается в очерке профессора Ю. Ю. Юрка², могу добавить и такой факт, рассказанный Александром Евгеньевичем. Однажды при полете из Москвы в Казань летчик и штурман самолета потеряли ориентацию и собирались вернуться обратно. На помощь им пришел Александр Евгеньевич — по прежним полетам он запомнил трассу и указал правильное направление полета.

Д. И. Щербаков рассказывал, что по дороге в новое место Александр Евгеньевич всегда подробно расспрашивал возницу о людях края и их жизни и таким образом уже заранее запасался необходимыми сведениями. Затем ходил на рынок, там он также многое узнавал о местном быте и хозяйстве. И, наконец, обязательно посещал кладбища — здесь памятники как бы сообщали, какие имеются поблизости горные породы.

Он был блистательным оратором. И сколь долго ни продолжались его зажигательные речи, слушатели оставались замороженными. Говорил образно, гладко, плавно, но страстно, часто меняя интонацию и, конечно же, часто вызывая у аудитории громкий смех. Мог выступить экспромтом, без какой-либо предварительной подготовки. Г. С. Грицаенко сообщает, что в Московском геологоразведочном институте он заявил: «Положите передо мной камни, и они сами подскажут мне, что говорить» [3, стр. 397]. Я был свидетелем того, как без всякой подготовки Александр Евгеньевич сделал доклад о связи между химией и геохимией, продолжавшийся около 1,5 часов. Невольно вспоминается по аналогии, как А. П. Чехов сказал В. Г. Короленко: «Вот чернильница, через пять минут я напишу вам рассказ» [9].

Известно, что по широте эрудиции и разнообразию научных интересов, по энциклопедичности своих знаний и их универсализму А. Е. Ферман напоминал М. В. Ломоносова. Он был не только геологом, минералогом и географом-путешественником, но также химиком, кристаллогра-

¹ См. статью А. Е. Фермана об изучении архивов [49].

² См. его статью в этом же сборнике.

фом, историком, прекрасно разбирался в вопросах физики, математики, технологии и металлургии. Познакомьтесь с работами Александра Евгеньевича «В. И. Ленин и производительные силы» и «Комплексное использование ископаемого сырья» и вы убедитесь, что он может быть признан также и выдающимся экономистом.

Его слова: «... я вижу необходимость решительно настаивать на коренном пересмотре использования сырья, на необходимости по-новому заострить научно-техническую мысль и сказать: там поставлено правильно производство, где не пропадает ни одного грамма добытой горной массы, где нет ни грамма отходов, где ничто не улетает на воздух и не смывается водами» [32, стр. 19] звучат пророчески и сейчас, спустя 42 года, являются образцом глубокого экономического и государственного мышления.

Освещение роли А. Е. Ферсмана как экономиста — тема специального исследования. Здесь отмечу только, что прямо или косвенно экономические идеи отражены более чем в 100 его печатных работах [2]. В своей автобиографии он писал: «Отсюда перебросился мост к той громадной задаче, которая стояла перед страной — задаче изучения естественных производительных сил, тех природных богатств, на фоне которых строится жизнь страны и промышленности...».

Своей целью на будущее считал он «слить изучение химических процессов в общую картину химии космоса, но каждый элемент природы от далекого космоса провести к самой земле, к вопросам его использования в творческом труде человека». Перечитывая стихи М. Ю. Лермонтова, Александр Евгеньевич обратил внимание на их географическое содержание и по этому поводу написал даже статьи [33, 48]. Он отмечает, в частности, что нельзя понять пустыни, не прочтя стихотворения «Три пальмы», в котором «во всех деталях отразились картины жгучего юга, пустыни и верблюжьих караванов», и что этому стихотворению «место не только среди дивных жемчужин мировой поэзии, но и в учебнике сухой географии» [33].

Александр Евгеньевич был музыкален, любил музыку, литературу и поэзию. Фильм «Большой вальс» он смотрел много раз. Секретарь Хибинского Горкома Партии П. П. Семячкин рассказывал, что в 1932 г. группе, выезжавшей в Монче-Тундру, пришлось заночевать в лопарской избушке (веже) и что там вечером Александр Евгеньевич читал наизусть многие главы из «Евгения Онегина». Чтение продолжалось более часа, а В. И. Кондриков даже воскликнул: «Да Вы читаете лучше Яхонтова!».

Очень увлекался политикой и на внешнеполитические темы мог беседовать долго и часто. В этих разговорах, в частности, проявлялся и его патриотизм. В самые тяжелые моменты Великой Отечественной войны Александр Евгеньевич не допускал даже и мысли о возможности поражения нашего народа, Красной Армии. В выступлении по радио он призывал своего сына-фронтовика беспощадно бороться с коварным врагом.

А в своем призыве к советским геологам он писал: «К Вам, людям геологической науки, обращаюсь я: будьте смелы и изобретательны, заострите свои знания, подымите самые недра против врага. Пусть горы металла, цемента, взрывчатых веществ вырастут в тот Девятый Вал, могучая сила которого повергнет фашистскую лавину...»

В нем жил и тонкий талант художника-беллетриста. Его «Воспоминания о камне» доставляют истинное эстетическое наслаждение. Этой книгой восторгался А. Н. Толстой. А редакция журнала «Нева» отмечала, что не только «Воспоминания о камне», но и «Занимательная минералогия» читается как поэма [1].

Вот выдержка из повеллы «Как хороши, как свежи были розы» впервые опубликованной уже посмертно — в 1964 г.: «... А вокруг все розы, кусты роз, красных и белых, чайных и оранжевых, розовых и красно-лиловых роз, то образующих гирлянды, то покрывающих кусты мелкими цветочками из кудрявых лепестков, то прекрасных одиночных роз, во всей красоте и гордости нежных лепестков, прозрачной нервной ткани, еще не успевших распуститься...» [30, стр. 168].

Забегая вперед, отмечу, со слов Александра Евгеньевича, что А. М. Горький уговаривал его оставить профессию геолога и стать писателем.

Как никто другой, понимал Александр Евгеньевич «душу» мертвой природы. До самозабвения любил он камни и недаром сам признавался, что «камень владел мною, моими мыслями, желаниями, даже снами [21, стр. 54] ... наполнял мою жизнь, в сложных сочетаниях, в своей внутренней природе, в своей длинной и сложной истории...» [21, стр. 55]. Зато, с своей стороны, он вдохнул в камни жизнь и вправе считаться первым и непревзойденным их поэтом.

Александр Евгеньевич был редким мастером научно-популярного жанра. Ставшие классическими в этой области его книги «Занимательная минералогия» и «Занимательная геохимия» выдержали многократные издания массовыми тиражами.

«Занимательная минералогия» вышла в 32 изданиях общим тиражом около 400 тыс. экз., в том числе на армянском, белорусском, болгарском, венгерском, грузинском, китайском, латышском, немецком, польском, румынском, сербском, словенском, туркменском, узбекском, украинском, чешском и эстонском языках. «Занимательная геохимия» только что вышла 22-м изданием (на испанском языке) в 45 000 экземплярах. Всего она напечатана в 300 тыс. экз. и еще на 15 языках, в том числе английском, вьетнамском, французском, японском. Тираж «Рассказов о самоцветах» составляет примерно 250 тыс. экземпляров и «Воспоминаний о камне» — 400 тыс. экземпляров. Всего эти четыре книги разошлись в 1350 тыс. экземплярах (уникально!) и сыграли выдающуюся роль в деле пропаганды и распространении минералогических, геохимических и вообще геологических знаний на самом высоком научном уровне и в прекрасном изложении. Они возбудили интерес к геологическим наукам у молодежи¹, воспитали в СССР несколько поколений исследователей недр, многие из которых стали известными учеными.

Профессор К. Ф. Тяпкин, например, рассказывает: «Еще в детстве я прочел книгу академика Ферсмана «Занимательная минералогия» и в мою душу запали его слова: «В Вашей любви к местному краю и Родине вы найдете те силы и те орудия, которые помогут овладеть тайной наших недр». Я много размышлял о прочитанном. Я увлекался

¹ См., в частности, множество писем молодежи, адресованных А. Е. Ферсману по поводу «Занимательной минералогии» [21, стр. 66—69].

красотой камня. Камень владел мной, моими мыслями, желаниями. И решил стать геологом, посвятить свою жизнь науке, изучать физические свойства Земли, изучать свою родную страну, ее богатства» [74].

В годы войны Академия наук СССР широко развернула пропаганду научных знаний с целью мобилизации всех сил народа на разгром врага. Возглавлял эту работу Совет научно-технической пропаганды, и руководителем его был А. Е. Ферман — «великолепный популяризатор науки» [7].

Посмертно А. Е. Ферману в 1945 г. была присуждена премия как соавтору и редактору сборника рассказов о науке и ее творцах, признанного лучшей детской книгой [12].

Много говорилось о том, как ярко и метко умел Александр Евгеньевич излагать свои мысли. Здесь это можно продемонстрировать только на одном примере, касающемся характеристики значения периодического закона. «Будут появляться и умирать новые теории, блестящие обобщения. Новые представления будут сменять наши уже устаревшие понятия об атоме и электроны. Величайшие открытия и эксперименты будут сводить на нет прошлое и открывать на сегодня невероятные по новизне и широте горизонты,— все это будет приходить и уходить, но периодический закон Менделеева будет всегда жить и руководить исканиями» [45]. О гениальном творении Д. И. Менделеева писали многие корифеи науки, но так образно о нем еще никто не сказал.

Природа щедро одарила Александра Евгеньевича чувством юмора, был он живым собеседником, умел понимать и ценить тонкую шутку. Его юмор и остроумие были неиссякаемы. Он часто шутил и в обычных разговорах, и на совещаниях. По ходу какого-нибудь доклада или в процессе прений вставлял только одну фразу — и в зале разражались взрывы хохота, сам же оставался в начале спокойным, но затем начинал смеяться, смеялся заразительно, по-особенному весело и умно.

Александр Евгеньевич был необычайно общителен. Он находил общие интересы и общий язык с людьми разных рангов, разного социального положения, профессий и культурного уровня, с учеными, рабочими, колхозниками, старателями, летчиками, школьниками, лопарями. Среди саами у него были друзья. Очень быстро, с первого знакомства он всех покорял своей живостью, добродушием, непринужденностью разговора, даже необычайностью внешнего вида.

Характер у него был ровный, только изредка был способен сердиться, мне кажется, что он никогда не грустил и не тосковал. В обществе всегда был веселым и всех заражал жизнерадостностью. Любил иногда подтрунивать и разыгрывать, но в мягкой форме, никогда не переходя грани допустимого, так что это не бывало ни обидно, ни оскорбительно.

Он был человеком высокого долга, и я не припоминаю случая, чтобы кто-нибудь когда-нибудь жаловался на невыполнение им взятых на себя обязательств. Всегда, как правило, они выполнялись аккуратно, в обещанные сроки.

Сердечность, вежливость, душевность, скромность, внутренний такт, дружелюбие, демократичность, заботливость, великодушие, интеллигентность в подлинном смысле слова, гостеприимство — были органически свойственны Александру Евгеньевичу. Он никогда не позволял себе грубого или резкого обращения с подчиненными, не показывал своего превосходства, не было в нем и тени чванства или высокомерия. Ни в

науке, ни в общении с окружающими не признавал чинности, «табели о рангах». Со всеми, буквально со всеми он был на равной ноге и вел себя как равный с равными. Если создавалась неловкая обстановка, он первый смущался.

Е. В. Цинзерлинг пишет, что в 1912 г. молодой профессор Бестужевских курсов А. Е. Ферсман был стройным и элегантным, на первую лекцию в 1912 г. явился в великолепном сером костюме, туго накрахмаленном воротничке, с белоснежным надушенным носовым платком в кармане [73].

Однако в 30-х годах я таким Александра Евгеньевича в обыденное время никогда не видел. Внешний вид его уже, по-видимому, совсем не интересовал, одевался до чрезмерности скромно и заурядно. Вообще же он был очень нетребователен к бытовым условиям, пренебрегал неудобствами и умел безропотно довольствоваться малым [73].

Трогательно интересовался бытом сотрудников и всегда охотно старался прийти на помощь, чем только мог.

Хлебосольево его не знало границ. Будучи сам в последние годы жизни ограничен в правах на еду (из-за болезни), он непрерывно потчевал посетителей, беспокоился, не голодны ли они, не хотят ли еще чаю, печенья, закусок. Если дело шло к обеду, он обязательно и настойчиво приглашал к столу. Как-то в голодные военные годы Екатерина Матвеевна с большим трудом достала немного клубники, которая особенно нужна была Александру Евгеньевичу после тяжелой болезни. И все же он требовал и настаивал, чтобы и меня угостили этими ягодами.

В Свердловске у Ферсманов была квартира из двух комнат. В одну из них в 1942 г. по настоянию Александра Евгеньевича был помещен прибывший с фронта раненый А. И. Гинзбург, а затем тяжело контуженный Г. П. Барсанов. Надо было видеть, как нежно и заботливо Александр Евгеньевич относился к больным, сколько уделял им внимания, как беспокоился об уходе за ними.

Был случай, когда по моей вине в заметке, напечатанной в газете «Труд» по поводу одной из работ, несправедливо не был упомянут академик А. Е. Ферсман. Александр Евгеньевич явно огорчился и обиделся, но очень скоро забыл об этом инциденте, никогда более о нем не вспоминал и отношения ко мне не изменил.

Однако доброта и сердечность, отзывчивость и доброжелательность не делали Александра Евгеньевича «добреньким», когда речь шла о деле — работе. В этих вопросах он был и оставался глубоко принципиальным, непреклонным и до чрезвычайности строгим... и нажил себе врагов, некоторые из которых долго и злобно мстили ему.

Всепоглощающая увлеченность Александра Евгеньевича наукой и работой отодвинула на второй план семью и близких. Как-то Александра Евгеньевича и Екатерину Матвеевну мы встречали в Ленинграде на вокзале вместе с сыном Александра Евгеньевича. Вышел Александр Евгеньевич из вагона, поздоровался, сказал сыну несколько слов, и сразу же, обняв меня, стал спрашивать о делах и далее весь разговор был только о них.

Редко приходили к Ферсманам просто гости (не по делам) и родственники. Александр Евгеньевич считал такие посещения «бедствием», поскольку они вынужденно отвлекали от работы.

Сам о себе он писал: «Я проходил мимо людей; меня называли

часто сухим, бесчувственным. Годы шли, лучшие молодые годы, а люди оставались как-то вне моего жизненного пути...» [21, стр. 54]. И только позднее он ясно понял, что человек являлся центром всего его прошлого, и всего себя, без остатка, отдал служению человеку, народу, Родине.

Александр Евгеньевич был, конечно, «баловнем судьбы», но не всегда небо над ним было безоблачным. По поводу одной неприятности я, спустя несколько лет, спросил Александра Евгеньевича, как она могла случиться, и как он переживал такую явную несправедливость. Александр Евгеньевич ответил, что это было результатом козней его недругов и что, конечно, ему было очень тяжело. И тут же добавил, что только работа, непрерывная работа помогла преодолеть горечь случившегося.

Александр Евгеньевич был абсолютным бессеребряником и был лишен стремления к комфорту, к особым взыскательным материальным условиям. Как-то в связи с газетным фельетоном, мы заговорили о свойственном некоторым людям чувстве стяжательства. Александр Евгеньевич сказал «не понимаю я таких людей, не понимаю и не представляю себе такого стремления».

Вместе с тем был он очень практичным человеком, знал и понимал житейские заботы и будни и часто повторял в назидание увлекающимся сотрудникам: «Вы многого не учитываете, жизнь гораздо сложнее».

Он рассказывал, что первую свою и самую успешную поездку на Урал совершил всего лишь на 200 рублей, так как больше средств до-революционная Академия наук на эту экспедицию выделить не могла.

Александр Евгеньевич пользовался большой популярностью. Его знали руководящие деятели страны, ученые различных отраслей знания, работники разных областей хозяйства как в Москве, так и многих периферийных районов, и конечно же геологи всего Союза. На улицах, в учереждениях и в метро с ним многие раскланивались. В 1944 г. в Ленинградской гостинице «Астория» категорически было запрещено пользоваться бытовыми электроприборами, но когда директору гостиницы сказали, что нужно готовить академику Ферсману, он немедленно заявил: «Конечно, конечно, для Александра Евгеньевича мы сделаем исключение».

Особенно широко был известен А. Е. Ферсман детям-школьникам. Они часто ему писали, и он неизменно им отвечал. В годы войны много и часто писали ему красноармейцы.

Александр Евгеньевич был лично знаком с В. И. Лениным (см. ниже). Его знали Г. К. Орджоникидзе, В. В. Куйбышев, Е. М. Ярославский, А. А. Жданов, Н. А. Семашко. С С. М. Кировым у них были теплые отношения, они встречались много раз, часто переписывались и разговаривали по телефону. Александр Евгеньевич читал лекцию в Кремле, и на ней присутствовали многие из руководителей Партии и Правительства, ответственные работники военных и хозяйственных организаций.

Относительно заботы В. И. Ленина об ученых А. Е. Ферсман писал следующее: «В трудные, переходные моменты, когда русские ученые не могли приспособиться к тяжелым материальным условиям, только благодаря энергичному вмешательству В. И. Ленина были приняты срочные меры к поддержанию научной работы. В конце 1919 года Владимир Ильич через Максима Горького провел создание комиссии по улучшению быта ученых; он постоянно интересовался ее деятельностью и неоднократно проводил нужные решения в Совнарком».

Это отношение к науке необычайно красочно характеризует фигуру

Ленина, считавшего, что хозяйственное строительство страны может быть успешно лишь на базе научного ее исследования. С редкой интуицией схватывал Владимир Ильич исторические и социальные процессы: он поразительно улавливал черты будущего развития и, когда еще в 1919 году мне пришлось с ним беседовать по вопросам организации научных сил, он подчеркнул, что ждет от русской науки больших достижений, но при условии, если она не будет отставать от народного хозяйства.

— Впрочем, хозяйственное строительство на новых началах неизбежно вовлечет науку в сферу своих интересов, — прибавил он [26].

К. А. Федин рассказывает, что однажды А. М. Горький сказал ему: «Перед приходом Вашим был у меня профессор Ферсман. Он только что беседовал по прямому проводу с Лениным о делах Комиссии по улучшению быта ученых. Ленин очень отзывчив и готов помогать. Ферсман заверяет: Ленин за интеллигенцию...» [10, 15].

Газета «Известия» писала 26 февраля 1973 г. по поводу золотого юбилея московского Дома ученых: «Вместе с ветеранами Дома ученых они вспомнят тот день, когда по инициативе В. И. Ленина и А. М. Горького была образована Центральная комиссия по улучшению быта ученых (ЦЕКУБУ), в распоряжение которой и был передан этот особняк, вспомнят первых его организаторов — Н. Семашко, О. Шмидта, С. Чаплыгина, А. Ферсмана, многих других видных деятелей науки нашей страны» [4].

Александр Евгеньевич много раз, в разных местах писал о Сергее Мироновиче Кирове [24, 27, 39, 42, 43, 44, 50, 51, 55, 56, 57, 62].

«...И снова делились мы своими заботами и своей верой в окончательную победу с С. М. Кировым, и снова его спокойное деловое слово подбадривало нас, охлаждало пыл чрезмерной фантазии, внушало волю и веру в дело» [21].

«Как живой, стоит передо мной Киров, он говорит об энтузиазме научной работы, который является одним из величайших стимулов истинного творчества, о том, что нужно каленым железом выжигать все бюрократические формы, столь часто встречающиеся еще в наших учреждениях, что мы должны гореть энтузиазмом и видеть в этом смысл самой жизни, выполнение своего долга перед страной» [39].

Особенно подчеркивал Александр Евгеньевич роль С. М. Кирова в постановке проблемы черной металлургии Севера. В 1940 г. он писал: «Но совершенно конкретно и реально вопрос в создании северной базы металлургии был поставлен С. М. Кировым примерно десять лет назад» [54]. Этому вопросу посвящена и специальная рукопись «Сергей Миронович Киров и черная металлургия», которая осталась, по-видимому, не изданной (хранится в архиве А. Е. Ферсмана).

Занимаясь изо дня в день текущими вопросами, А. Е. Ферсман свои взоры устремлял и в будущее, всегда и во всем старался видеть ростки нового, светлого будущего [21].

О самом себе он писал: «И, вспоминая прошлое, он понимал, что из этого прошлого мы должны взять только то, что нам нужно, взять его так, чтобы прозорливее смотреть в будущее и безраздельно отдать этому будущему свои силы и свою жизнь» [21].

И в другом месте: «Спокойно мы закрываем страницы прошлого, ибо будущее — светлое, ясное, определенное — придет с этими новыми людьми, с ними и через них» [24, стр. 71].

Часто при жизни А. Е. Ферману ставили в вину его пылкие научные увлечения, переходившие в фантазию. Он знал об этом и в ответ своим критикам заявил: «Но без фантазии, без смелой и дерзкой мысли нельзя овладеть природой» [21, стр. 155].

В одной фразе выражено отношение А. Е. Фермана к свободе и жизни человека: «И нет ему равного во всем мире, как нет ничего дороже крови человеческой, пролитой за свободу и жизнь» [21, стр. 24].

Был он великим энтузиастом и считал, что без энтузиазма нельзя завоевывать мир [66]. Был он великим оптимистом и новатором, любил все новое, не терпел и не выносил чиновничества, трафаретности, шаблонов и рутины, в чем бы они ни проявлялись.

А. Е. Ферман был в числе тех русских интеллигентов, которые с самого начала безоговорочно и без каких-либо колебаний стали на сторону советской власти. Иначе и быть не могло, поскольку он не мог не видеть, что новый строй соответствует его чаяниям широкого изучения и освоения природных ресурсов страны и ее производительных сил и что только новая власть сможет обеспечить столь долгожданное развитие научных исследований и их расцвет.

В 1918—1920 гг. опубликованы 44 работы А. Е. Фермана, в том числе: Записка в Академическую комиссию об изучении естественных производительных сил; О необходимости научного института хозяйственного изучения России; К вопросу о задачах научных институтов в области химии земной коры; Новые издания трудов Комиссии сырья Казанского комитета военно-технической помощи [2].

Он принимает участие в работах технического комитета при Центральной военной научно-технической лаборатории, а в 1919 г. беседовал с В. И. Лениным по вопросам организации научных сил [26]. В годы становления советской власти он был одним из организаторов Дома ученых в Ленинграде и Дома ученых в Москве. В 1919 г. в возрасте 35 лет А. Е. Ферман был избран академиком и назначен директором Минералогического музея.

Красной нитью во всей деятельности А. Е. Фермана до конца жизни проходила теснейшая увязка интересов науки и практики, включая оборону страны. Эта направленность отразилась в его геохимических исследованиях, учении о пегматитах, работах по апатитам и в целом по Хибинам и по Кольскому полуострову, по сере Каракумов.

Очень характерно, что в законах геохимии — его любимой науке, он видел рождение новых путей экономики, новых узлов промышленности, новых источников и богатства техники и культуры [21].

«... И новый завод или рудник, новый совхоз или культурный центр на месте твоей палатки и твоих ночевок в песке, под елкой или просто на камнях — высшая задача и высшая награда» [21, стр. 157].

А. Е. Ферман был активным общественным деятелем и до последних дней своей жизни выполнял множество различных обязанностей [2]. Его просветительская деятельность проявлялась активно и широко, щедро сеял он разумное, доброе, вечное.

Увеличение А. Е. Фермана стратегическими аспектами применения минерального сырья проявилось еще в молодые годы на заре научной деятельности, когда ему пришлось заниматься вопросами обеспечения полезными ископаемыми русской армии периода первой мировой войны. Он тогда активно участвовал в созданном В. И. Вернадским Комитете

военно-технической помощи объединенных научных и технических организаций, был одним из организаторов Комиссии сырья и химических материалов в составе этого Комитета, выезжал на фронт и за 1916—1918 гг., опубликовал 12 статей по вопросам геологии и сырья в связи с военными действиями [19, 20, 29, 31, 38, 40, 47, 63, 65, 67]. Еще одна статья на данную тему опубликована в 1922 г. [28].

В 1917—1918 гг. он состоял членом Технического комитета при Центральной научно-технической лаборатории военного ведомства. В 1926 г. читал лекции в Военно-Инженерном вузе в Ленинграде, а в 1930-е годы выступил с докладом «Металлы войны — вольфрам». Вера Инбер отмечала в своих записях за январь 1938 г., что, заинтересовавшись этой темой, она собиралась писать роман под таким же точно названием [5].

С первых же дней Великой Отечественной войны все помыслы Александра Евгеньевича были посвящены одной цели — помощи фронту. По его инициативе в составе Отделения геолого-географических наук АН СССР в 1941 г. была создана Комиссия по геолого-географическому обслуживанию Красной Армии, которую он и возглавил. Комиссия состояла из ряда подразделений (две экспедиции и восемь групп), в частности, большие работы были ею выполнены по военно-инженерной геологии, военной географии, маскировочным краскам и материалам¹, по вопросам стратегического сырья.

Группой минерального стратегического сырья непосредственно руководил А. Е. Ферсман. Ее силами и привлеченными из разных организаций специалистами были выполнены разнообразные работы. Александр Евгеньевич знакомился с каждой из них, вникал во все детали. Им лично был написан ряд газетных и журнальных статей, а также специальные брошюры, которые даже в те тяжелые годы были напечатаны очень быстро и даже несколькими тиражами, настолько они оказались интересными и актуальными [17, 18, 22—25, 34—36, 46, 52, 58—61, 64, 68—70].

Анализ обеспеченности минеральным сырьем воюющих коалиций был изложен в многотомной рукописи. Александр Евгеньевич был не только главным редактором данной работы, но и автором ряда ее разделов.

Вот выдержки из адресованного мне Александром Евгеньевичем письма от 22 марта 1942 г., которые очень характерны своим деловым, предельно четким стилем, разнообразием вопросов, которые волновали и тревожили его автора:

«1. Гоните во всю Ваши мелкие задания.

2. Имел специальное совещание с нашими заказчиками. Они требуют ускорения работы. Огорчены затяжкой с получением материалов. Особенно срочно нужны: медь и свинец. Организуйте это дело в самом срочном порядке, переговорите со Степановым. Все материалы по меди пришлите мне, я окончательно их переработаю и вышлю с особыми замечаниями. Не затягивайте. Медь нужна до зарезу. Пусть даст все, что знает Русаков. Примите меры.

3. Очень остро нужны материалы по неметаллическим. Все это осталось в Миассе у Долгополова и Берлинга. Затребуйте срочно эти материалы, они необходимы. Высылайте.

¹ Некоторые из этих работ недавно отмечены в статье «Ратный подвиг» [14], а также в статьях [7, 8].

4. ... Я уже написал здесь большие главы по материкам и отдельным странам ... Очень большое дело. Просматриваю по новейшей литературе, вплоть до 1940 г. Изменения не очень большие. Заказчики требуют скорейшей сдачи. Пойдет набором в срочном порядке. Сделал доклад на особом совещании у Е. Ярославского. На этих днях второй доклад в ЦК. Потом пойдет в Специальную Военную Комиссию. Подняли вопрос о создании Специального Комитета при Совнаркоме по второму тому, за который мы не беремся с Вами без особого постановления или Совнаркома или Комитета Обороны.

Необходимо усилить работы по Германии, к ней я только подхожу. Материалы громадные. Как работы по углю Германии? Работа по смазочным маслам очень одобрена заказчиками. Это очень серьезный труд. На днях ее сдам. Необходима организация работы по черной металлургии Германии. Сговоритесь. Нужно двигать как можно энергичнее».

А за месяц до этого в «Наставлении Б. И. Когану» от 20 февраля 1942 г. сказано:

«1. Необходимо в течение февраля и марта закончить очерки по титану, ниобию, кобальту, меди и сурьме. Это минимальная программа. Заставьте А. Ю. Шпирта закончить очерки трех глав из своего введения, которое я перенес в конец... текст должен быть четкий, фактический — справочный.

2. На ряд работ можно заключить договора с оплатой за представленные рукописи и не по объему листов, а по внутреннему содержанию, чем короче, тем лучше. Побольше материала и точных цифр.

3. Ведите усиленно работы по пяти малым китам, запросите секретаря Андрианова, что сделал Андрианов по нашей записке. Организуйте на ее основе совещание в Облплане, организуйте доклад по этим китикам в Отделении, сговоритесь с академиком Степановым.

4. Продвигайте дело ниобия, поезжайте на Изумруды и привезите ниобий для опытов. Преступное затягивание со стороны металлургов¹, надо здесь боевые темпы, надо положить конец.

5. Поезжайте в Челябинск, там можно остановиться. Летите туда самолетом. Дальше поезжайте дачным поездом в Миасс, устройтесь у Долгополова и Астрова, просмотрите все работы, дайте им поручения, можно будет немного оплачивать, я сделаю из сумм Геологического Института — надо чтобы они работали.

6. Проследите, в каком виде работа Долгополова и Берлинга по моему тексту Неметаллических минералов. К 1 марта надо кончать. Посмотрите текст.

7. Если возможно, поезжайте в Кыштым. Установите тесную связь с С. А. Первушиным и другими сотрудниками фондов, пусть готовят работы. В крайнем случае заплатим в начале апреля. Затягивать нельзя. Особенно надо железо, марганец, свинец и цинк».

В некоторой степени результатом исследований по минеральному стратегическому сырью явилась монография А. Е. Фермана и Б. И. Когана «Минеральное сырье зарубежных стран» [71]. Полагаю целесообразным привести из нее хотя бы одну выдержку, касающуюся гитлеровской Германии: «Во второй мировой (тотальной) войне, когда в борьбу были втя-

¹ Имеется в виду отрицательное отношение металлургов к внедрению ниобия в качестве легирующей добавки к сталям (Б. К.).

нуты целые народы и все их материальные ресурсы, победа или поражение одной из сторон определялись не одним каким-нибудь отдельно взятым фактором, а целым комплексом причин, которые связаны между собой, как звенья единой цепи.

В войне 1914—1918 гг. недостаточная сырьевая обеспеченность Германии была одним из основных факторов, обусловивших ее военный крах. Германия тогда испытывала в отдельные периоды подлинный нефтяной голод и в конце 1918 г. имела всего лишь полутора-двухмесячный запас нефти, а битву у Амьена она проиграла вследствие реальной нехватки резины, так как заменить отсутствовавший натуральный каучук искусственным она еще тогда не умела.

Вторая мировая война не показала подобных примеров. Фактически Германия не проиграла в нынешней войне ни одного сражения из-за недостаточности технического оснащения. Вряд ли кто-либо возьмется утверждать, что немецкие армии ощущали слабость германского сырьевого потенциала в период наступательных действий 1941—1942 гг. или что битву за Орловский плацдарм и кампании на Украине и в Белоруссии они проиграли вследствие недостатка вооружения, обусловленного истощением и исчерпанием сырьевых ресурсов¹.

Советская Армия наносила тяжелые удары по немецкой военной машине в 1941—1942 гг., когда о фактической, а не о потенциальной нехватке сырья и вооружения в Германии не могло быть и речи. В данном случае и в последующем не материально-сырьевая слабость определила военное поражение немцев и явилась ее первопричиной, а, наоборот, именно эти военные поражения имели своим последствием ухудшение и обострение всего экономического положения Германии во всех звеньях и впервые вызвали к жизни трудности, которые уже затем, в свою очередь, оказали обратное воздействие на ее общевоеенное, внутривойсковое и международное положение.

Во второй мировой войне судьба Германии была решена не сырьевой агонией, а непосредственно на полях битвы, уничтожением живой силы, военным разгромом немецко-фашистских армий.

Мы можем сделать в заключение несколько общих замечаний.

1. Советская Армия разбила не слабую, неподготовленную и немощную Германию, а врага технически прекрасно вооруженного с исключительно широкой военно-сырьевой базой.

В этой борьбе с гитлеровской Германией Советский Союз одержал экономическую победу, доказав превосходство своего социально-экономического строя и свое умение организовать военно-сырьевое хозяйство в исключительно тяжелых условиях.

2. Нельзя допустить возникновения мифа о том, что гитлеровцы проиграли войну вследствие сырьевой катастрофы, подобно тому как такая пропаганда была использована немецкими империалистами для оправдания поражения в первую мировую войну и подготовки ко второй мировой войне.

Сырьевые трудности несомненно представляли собой одно из слабых

¹ К моменту капитуляции Германии производственная мощность ее металлургии составляла: по чугуноу — 20 млн. т, по стали — свыше 24 млн. т, по прокату — 22,5 млн. т. Таким образом, несмотря на, казалось бы, уничтожающие бомбардировки англо-американской авиации, она снизилась всего лишь на 5%.

мест гитлеровской экономики, но основопричиной краха гитлеровской Германии явилось ее полное военное поражение на поле брани.

Опыт второй мировой войны воочию доказал, что Германия при своих очень ограниченных ресурсах военно-стратегического сырья сумела все же в результате специально предпринятых мер организовать и поддерживать свою сырьевую базу даже в условиях затянувшихся длительных военных действий.

Это — поучительный урок, о котором нельзя забывать и о котором должны помнить все демократические народы, не желающие новых кровопролитий» [72 стр. 441—442].

Обращаю внимание еще и на цитату из издания 1943 г., особенно злободневно звучащую сейчас, после охватившего капиталистический мир энергетического кризиса и последовавшего за ним пересмотра тактики и стратегии минерального сырья: «...Мы лишь сейчас начинаем понимать проблему стратегического сырья во всем ее сложном переплете интересов хозяйства и войны. Только сейчас мы уяснили себе, что эта проблема переросла узкие рамки военного периода. Ее значение будет еще глубже и шире в послевоенное время, когда вопросы распределения рынков и перехода промышленности на мирное производство будут волновать капиталистический мир и создавать новые осложнения» [24, стр. 26].

В развитие идей А. Е. Ферсмана мною дано обоснование стратегической роли химических элементов периодической системы Д. И. Менделеева [6]. Графически оно изображено на рисунке.

Редкие элементы были «голубой мечтой» Александра Евгеньевича. Он питал к ним особую любовь и давно предвидел и предсказывал их большое научное и практическое будущее. Напомню, что еще в 1929 г. он писал: «...я хочу заострить проблему редких элементов и поставить ее как большую теоретическую, химическую и геохимическую задачу, как попытку проникнуть в потребность техники будущего».

А в письме ко мне от 15 июля 1935 г. спрашивал: «почему задерживается печатание сборника, посвященного редким элементам?» И далее писал: «необходимо нажать самым решительным образом и скорей провести печатание».

В начале Великой Отечественной войны Александр Евгеньевич тесно увязывал проблему редких элементов с вопросами обороны и уделял ей особое внимание. В 1941 г. он добивался создания специальной комиссии по редким элементам, затем в начале 1942 г., как уже упоминалось выше, выступил в Свердловске со специальным докладом о редких элементах¹.

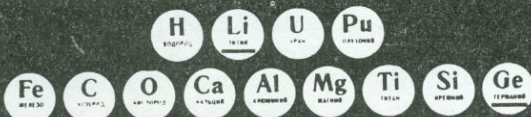
К концу войны, когда дело шло уже к победе, интересы Александра Евгеньевича вновь стали возвращаться к проблемам использования минерального сырья, к расширению сырьевых ресурсов для восстановления страны и дальнейшего развития народного хозяйства.

В 1944 г. А. Е. Ферсман был участником группы ученых по разработке мероприятий, которые должны были обеспечить развитие добычи угля и нового шахтного строительства в Печорском угольном бассейне. Работа выполнялась по указанию Правительства [7, стр. 120].

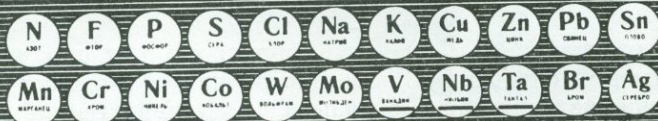
В 1944 г. Академии наук СССР было поручено Правительством заняться проблемой череповецкого металлургического комбината. Александр

¹ См. Коган Б. И. А. Е. Ферсман и редкие элементы. Редкие элементы, сырье и экономика, 1974, вып. 11.

I. РЕШАЮЩЕГО ЗНАЧЕНИЯ



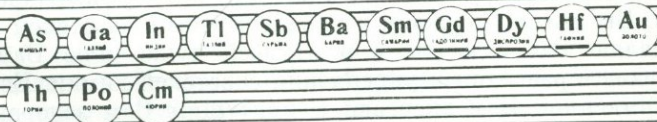
II. ИСКЛЮЧИТЕЛЬНО ВАЖНЫЕ



III. ОЧЕНЬ ВАЖНЫЕ



IV. ВАЖНЫЕ



V. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ



VI. НЕИСПОЛЬЗУЕМЫЕ



— ПОДЧЕРКНУТЫ РЕДНИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Евгеньевич к этому времени не успел еще как следует оправиться от тяжелой болезни, но оставаться в стороне от нового большого дела он не считал себя вправе, не мог он ограничиться и пассивным участием в нем. Немедленно им была создана сырьевая комиссия, как и прежде все забурлило и закипело. В конце 1944 г. состоялась сессия этой комиссии в Ленинграде, на которой в течение нескольких дней рассматривались и решались вопросы обеспечения будущего комбината всеми видами сырья¹.

От большого напряжения Александр Евгеньевич, по-видимому, сильно уставал, самочувствие его было совсем неважным. На одном из заседаний он даже попросил меня прочесть бумагу, так как сам уже плохо видел текст. Тем не менее работа продолжалась по-прежнему, безостановочно.

В один из дней А. Е. Ферсман и группа участников совещания были приглашены в Смольный, в Обком Партии для обсуждения проблемы северо-западной металлургии. Докладывал Александр Евгеньевич, но тогда я уже заметил, что он себя чувствует очень плохо. Ему — первоклассному оратору — не хватало слов, но опять-таки работа не прекратилась. Более того, в один из вечеров, после напряженного рабочего дня, он поехал на конференцию, посвященную 25-летию Государственного института прикладной химии (ГИПХ), на которой присутствовали химики разных городов Союза.

Блокада Ленинграда была уже снята, но затемнение еще сохранялось. Окна были тщательно задрапированы, но зал ярко освещен. Слово для приветствия было предоставлено Александру Евгеньевичу. Он сам уже не был в силах выступить, и его письменное приветствие зачитал я. Оно заканчивалось следующими словами: «Вы оказались физически и духовно сильнее врага, Вы поддержали честь Ленинграда, прекраснейшего из городов, Вы высоко держали и пронесли знамя советской науки.

Поздравляю Вас с юбилеем и от всей души шлю Вам пожелания новых успехов в развитии и укреплении советской химии. Еще более смело, со свойственной Вам энергией и присущим Вам задором идите вперед — к яркому и светлому солнцу победы, дерзайте в науке, расширяйте ресурсы и укрепляйте производительные силы нашей великой Родины — на благо ее и процветание».

Зал реагировал горячими аплодисментами, а после того, как председательствовавший — академик А. Е. Фаворский подошел к Александру Евгеньевичу, поклонился ему и сказал «Спасибо Вам, дорогой Александр Евгеньевич, за радость, которую доставляете нам», все стихийно встали со своих мест и устроили бурную овацию. Это было торжественно и трогательно.

Слишком большая нагрузка этих дней не могла пройти даром, и вскоре по возвращении в Москву, 14 декабря 1944 г. А. Е. Ферсман в тяжелом состоянии был доставлен в Кремлевскую больницу.

Я часто навещал Александра Евгеньевича в больнице, и мы вели беседы на разные темы. Но запомнился мне особенно февральский день 1945 г. В палату вошла статная женщина со следами былой яркой красоты. Она стремительно подошла к Александру Евгеньевичу, обняла

¹ См. также статью А. Е. Пробста [13].



В Доме летчиков гражданского воздушного флота, 1940 г. Слева направо: 1 — Б. Н. Воробьев; 2 — А. Е. Ферсман; 3 — Б. А. Монастырев — друг К. Э. Циолковского, заведующий отделом пропаганды Калужского Обкома партии; 4 — И. С. Семенов, генерал, начальник полуправления Аэрофлота; 5 — ?; 6 — М. К. Циолковская — дочь К. Э. Циолковского; 7 — В. С. Молоков — генерал, Герой Советского Союза, начальник Аэрофлота

его и стала целовать. Почувствовав себя лишним, я вышел и при разговоре, который продолжался довольно долго, не присутствовал. Ушла посетительница вся в слезах. И тогда я узнал, что это была Мария Федоровна Андреева. На мой недоуменный вопрос о таком необычном знакомстве Александр Евгеньевич стал рассказывать о своем пребывании в Италии и о жизни в семье А. М. Горького.

Обычно Александр Евгеньевич очень мало и скупо говорил о себе, но на этот раз на него нахлынула волна воспоминаний, он отдался им и вдохновенно стал рассказывать о своей большой и долгой дружбе с великим пролетарским писателем. То были воспоминания о встречах с Алексеем Максимовичем, о том, как они впервые познакомились в Италии и как А. М. Горький полюбил и оценил молодого, только начинающего геолога. Вспомнил о том, как убеждал его А. М. Горький бросить камни и стать писателем, предвещая ему большое будущее на этом поприще. С особенной теплотой Александр Евгеньевич вспоминал о совместно проведенном с А. М. Горьким времени, о совместных поездках в Берлин и Париж, о совместном участии на заседании Совнаркома под председательством В. И. Ленина, наконец, о совместном участии по созданию Дома ученых в Ленинграде.

Рассказал также Александр Евгеньевич, как он был принят В. И. Лениным еще ранее и что Владимир Ильич в частности поинтересовался,

как обстоит дело с питанием ученых. Время было голодное и Александр Евгеньевич ответил: «Сегодня мне повезло, на улице лежала мертвая лошадь и мне достался кусок конины». Тогда В. И. Ленин вызвал секретаря и продиктовал текст распоряжения об улучшении быта ученых.

Около двух часов велась наша беседа с Александром Евгеньевичем, его речь была необычно тихая, глаза светились. А передо мной проходили страницы живой истории, я прикоснулся к миру Великого и слушал, как зачарованный. Вдобавок ко всему, когда я ушел из больницы, была безветренная погода, падал крупными хлопьями снег, мостовые были устланы сплошными белыми одеялами, и сквозь живую белую вуаль выделялось своей сказочной красотой здание Румянцевской библиотеки. Все это не могло не казаться волшебным, фантастичным.

Чуть поправившись, Александр Евгеньевич начал и в больнице работать. Он задумал писать очерк о путешествии по Швейцарии и приступил к этой работе. Написал несколько докладных записок. В одной из них поднимался вопрос о необходимости иметь в составе наших дипломатических посольств в зарубежных странах специальных постоянных представителей по науке («научные атташе») ¹. Значит уже тогда Александр Евгеньевич ясно представлял себе возрастающую роль науки, наступление ее золотого века. Во второй записке излагались соображения относительно строительства на территории СССР некоторых новых железнодорожных линий. Третья записка касалась академиков А. Е. Чичибабина и В. Н. Ипатьева.

В марте 1945 г. мы вместе с Екатериной Матвеевной провожали Александра Евгеньевича из больницы в санаторий «Узкое». Перед самым его уходом из больницы лечащий врач сказала на прощанье: «Александр Евгеньевич, берегите себя, не забывайте, что Вы — академик Ферман, что Ваша жизнь и Ваше здоровье нужны и дороги Родине». На мгновение глаза Александра Евгеньевича затуманились, он задумался, но затем поднял голову и решительно сказал: «Нет, ограничивать себя я не могу, либо работать во всю силу, либо ... не жить совсем».

По дороге в санаторий он стал уже почти прежним Александром Евгеньевичем. Не скрывал своей радости по поводу возвращения к жизни, которую по-особенному ценил и любил. Шутил и смеялся, и вокруг него создавалась радостная атмосфера.

Около «Узкого» дорогу сильно развезло, и машина дальше идти не могла. Но, надо было видеть, как обрадовался Александр Евгеньевич, когда узнал, что навстречу высланы розвальни. Это уже была экзотика, он с радостью сел в сани, стал понукать лошадь, пытался заменить возчика.

В начале апреля 1945 г. Александр Евгеньевич вернулся в Москву и вновь окунулся в работу. Обсуждал вопросы стратегического сырья, планы своих новых тем, которых накопилось очень много и которые стремился как можно скорее закончить. Он мечтал вновь посетить родные кольские края, и твердо решил по возвращении из Сочи поехать в Кировск, где намеревался провести научную конференцию, мобилизовать науку на разрешение новых проблем Мурманской области.

¹ Следует отметить, что в 1968 г. в Вашингтоне атташе по науке имели посольства 21 иностранных государств [41].



На сессии АН СССР в ноябре 1942 г., Свердловск. Слева направо: академики В. Н. Образцов, И. П. Бардин, А. Е. Ферман, П. И. Степанов

Вот несколько выдержек из письма Секретарю Мурманского Обкома ВКП(б) тов. М. И. Старостину от 17 февраля 1945 г.: «В последнее время большое оживление развернулось вокруг проблемы северо-западной металлургии. Кольская железная руда сейчас в центре большого внимания в Академии Наук, мы готовим по данному вопросу специальную записку.

Мы ставим в качестве первоочередной задачи организацию комплексной северо-западной экспедиции с поисками новых железорудных районов, которые улучшили бы условия обеспечения металлургического комбината сырьем, и одновременно включаем также вопросы Ены, Заимандровских железных руд, Африканды.

Мне думается, что наступила пора созвать в Мурманске в июне текущего года широкую конференцию по кольским проблемам. Такая хорошо организованная и подготовленная конференция научных, инженерно-технических и хозяйственных работников помогла бы нам вновь объединить все силы, заострить многие актуальные проблемы Кольского Севера, привлечь к ним внимание и обеспечить их продвижение. Она, несомненно, была бы толчком к новым мыслям и общему подъему наших кольских дел.

Ваше теплое письмо, Ваши сообщения о возрождающейся Мурманской земле и больших живых работах, вновь подняли и возбудили во мне стремление как можно скорее активно включиться в помощь Вам при разрешении новых блестящих и захватывающих задач Мурманской области.

Все мои помыслы и устремления связаны с проблемами Северо-Запада. Я и сам бы рад поскорее приехать к Вам в Мурманск и надеюсь осуществить это желание, как только позволит состояние моего здоровья.

Привет

Академик А. Е. Ферсман»

В последний раз я виделся с Александром Евгеньевичем 13 апреля 1945 г. на Курском вокзале перед его отъездом с Екатериной Матвеевой в Сочи. Его не покидало бодрое настроение, он верил в то, что поправится, что вернется скоро в Москву на юбилейную сессию Академии Наук, наберется новых сил для работы. И перед отходом поезда, все то же неизменное: «Работай, работай, будь полезен человечеству».

В день Великой Победы Александра Евгеньевича в Москве не было. Но портрет его был выставлен в одной из витрин на улице Горького, по которой проходили толпы ликующих советских людей.

15 мая я еще получил письмо от Александра Евгеньевича из Сочи. В нем неизменный юмор, чувство полноты жизни и опять обычный наказ работать побольше, продвигать книгу, «которую очень важно скорее закончить». А рано утром 21 мая облетела нас страшная весть о том, что накануне ночью перестало биться большое сердце Александра Евгеньевича — выдающегося ученого, мыслителя, человека высоких устремлений и благородных моральных качеств. Это известие было ошеломляющим, не хотелось в него верить. Стихийно в Институте геологических наук возник траурный митинг. На многих лицах было искреннее горе. Не только женщины, но и мужчины не стыдились своих слез.

Гроб с телом Александра Евгеньевича был привезен в Москву на самолете. Траурная панихида по А. Е. Ферсману состоялась в Минералогическом музее, ныне носящем его имя.

Послевоенная Москва была тогда еще не очень многолюдной, но Музей был до отказа заполнен учениками, друзьями и почитателями, пришедшими проститься с Александром Евгеньевичем, отдать последний долг его светлой памяти, немеркнущей славе.

23 мая 1945 г. Александр Евгеньевич был похоронен на Новодевичьем кладбище, недалеко от могилы его великого и любимого учителя и друга — академика В. И. Вернадского.

Почти 30 лет прошло с тех пор, как ушел из жизни академик А. Е. Ферсман, но до сих пор его солнечный образ сохранился в моем сердце, а мозг отказывается верить в то, что уже нет в живых близкого, родного и бесконечно дорогого Александра Евгеньевича.

Литература

1. Академик Александр Евгеньевич Ферсман.— Нева, 1964, № 5, с. 168.
2. Александр Евгеньевич Ферсман. Изд. 2-е, дополненное. «Наука», 1964 (АН СССР. Материалы к библиографии ученых СССР. Серия геол. наук, вып. 19).
3. Грицаенко Г. С. Лучший из памятников.— В кн. «Александр Евгеньевич Ферсман. Жизнь и деятельность». «Наука», 1965, с. 396—398.
4. Дом друзей науки.— «Известия», 26/II 1973 г.
5. Инбер В. Страницы дней перебирая (из дневников и записных книжек). М., «Советский писатель», 1967, с. 45.
6. Коган Б. И. Военно-стратегическая роль химических элементов периодической системы.— Редкие элементы, сырье и экономика, 1968, вып. 1, с. 151—165.

7. Левшин Б. В. Академия наук СССР в годы Великой Отечественной войны (1941—1945 гг). «Наука», 1966.
8. Наука — фронту.— Наука и жизнь, 1970, № 5, с. 41.
9. Паустовский К. Г. Из разных лет.— Новый мир, 1970, № 4, с. 137.
10. Перельман А. И. Краткий очерк научной, общественной и педагогической деятельности.— В кн. «Александр Евгеньевич Ферсман». «Наука», 1964, с. 12—44.
11. По страницам иностранного химического журнала.— Бюлл. иностр. науч.-технич. информ. ТАСС, 1960, № 10, с. 31.
12. Премированные рукописи. Итоги третьего тура конкурса на детскую книгу.— «Вечерняя Москва», 13/XI 1945 г., № 266 (6631).
13. Пробст А. Е. Академик А. Е. Ферсман — ученый и человек. К 90-летию со дня рождения.— Вестник АН СССР, 1973, № 11, с. 106—110.
14. Ребров М. Ратный подвиг.— «Красная Звезда», 18 апреля 1974 г.
15. Федин К. Горький среди нас. Двадцатые годы. М., Гослитиздат, 1943, с. 45.
16. Ферсман А. Е. Вдохновитель научных исканий. Орджоникидзе Г. К. «Вечерняя Москва», 21/II 1937 г., № 42.
17. Ферсман А. Е. Война и стратегическое сырье.— Новый мир, 1942, № 1—2, с. 179—205.
18. Ферсман А. Е. Война и стратегическое сырье. Красноуфимск, Госполитиздат, 1941, 63 стр.
19. Ферсман А. Е. Война как геологический фактор. (Письмо в редакцию).— Природа, 1916, № 11, стб. 1341—1344.
20. Ферсман А. Е. Война, промышленность и сырье. О задачах Комиссии сырья.— Труды Ком. сырья, 1916, № 3, с. 151—155.
21. Ферсман А. Е. Воспоминания о камне. Изд-во АН СССР, 1958.
22. Ферсман А. Е. Все силы Родине.— «Уральский рабочий», 1/I 1942 г., № 1.
23. Ферсман А. Е. География на службе войны.— Наука и жизнь, 1942, № 11—12, с. 36—38.
24. Ферсман А. Е. Геология и война. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1943.
25. Ферсман А. Е. Геология и война.— «Труд», 1942 г., 29/X, № 255.
26. Ферсман А. Е. Забота об ученых.— «Известия», 1965, № 202.
27. Ферсман А. Е. Из воспоминаний о Сергее Мироновиче Кирове. «Полярная правда», 1/XII 1940 г., № 279; «Кировский рабочий», 1/XII 1940 г., № 279.
28. Ферсман А. Е. Использование кадмия во время войны.— Природа, 1922, № 6—7, стб. 92.
29. Ферсман А. Е. Источники получения минерального сырья. Бюлл. осведом.-стат. бюро, 1916, № 2, с. 51—58.
30. Ферсман А. Е. «Как хороши, как свежи были розы...» (Новелла).— Нева, 1964, № 5, с. 168—169.
31. Ферсман А. Е. Комиссия сырья при Комитете военно-технической помощи.— Природа, 1916, № 2, стб. 262—264.
32. Ферсман А. Е. Комплексное использование ископаемого сырья. Л., Изд-во АН СССР, 1932.
33. Ферсман А. Е. Лермонтов и географическая наука.— География в школе, 1946, № 6, с. 1—4.
34. Ферсман А. Е. Металлы войны.— «Вечерняя Москва», 20/VIII 1942 г., № 195.
35. Ферсман А. Е. Металлы войны.— «Известия», 22/VIII 1941 г., № 198.
36. Ферсман А. Е. Мобилизация недр.— «Вечерняя Москва», 22/VII 1941 г., № 171.
37. Ферсман А. Е. Могучий щит.— «Уральский рабочий», 23/XI 1941 г., № 278.
38. Ферсман А. Е. Наука и война.— Вестник Ком. воен.-техн. пом., 1916, вып. 1, с. 78—81.
39. Ферсман А. Е. Незабываемые встречи.— «Правда», 1/XII 1940 г., № 333 (8379).
40. Ферсман А. Е. Новые издания (Труды Комиссии сырья Казанского комитета военно-технической помощи).— Бюлл. осведом.-стат. бюро, 1918, № 17, с. 697—698.
41. Ферсман А. Е. О неделе обороны.— «Правда», 10/VII 1927 г., № 154.
42. Ферсман А. Е. Обновленная земля. (Роль С. М. Кирова в освоении Кольского полуострова).— «Легкая индустрия», 30/XI 1939 г., № 273.
43. Ферсман А. Е. Осуществленная мечта (С. М. Киров и освоение Кольского полуострова).— «Пионерская правда», 30/XI 1940 г., № 152.
44. Ферсман А. Е. Память о нем будет вечной (памяти С. М. Кирова).— «Вечерняя Москва», 3/XII 1934 г., № 277.
45. Ферсман А. Е. Периодический закон Менделеева и его значение в естествознании.— Под знам. Маркс., 1944, № 4—5, с. 50—54.

46. Поднимем на врага недра нашей земли.— «Комсомольская правда», 26/XI 1941 г., № 278.
47. Ферсман А. Е. Потребление металлов в Германии.— Природа, 1915, № 2, стб. 610.
48. Ферсман А. Е. Поэзия и география. (О поэзии М. Ю. Лермонтова).— Литературный современник, 1941, № 7—8, с. 136—139.
49. Ферсман А. Е. Предложение об изучении архивов в связи и с вопросом о месторождениях и использовании цветных и драгоценных камней.— Изв. РАН, 6 серия, 1920, 13 (1919), № 16—18, с. 909.
50. Ферсман А. Е. Преобразователь Севера (С. М. Киров).— «Комсомольская правда», 5/XII 1934 г., № 281.
51. Ферсман А. Е. Преобразователь Севера (С. М. Киров).— «Черная металлургия», 30/XI 1940 г., № 26.
52. Ферсман А. Е. Роль неметаллических полезных ископаемых в войне.— «Известия», 10/IV 1942 г., № 84.
53. Ферсман А. Е. Роль общественных организаций на новом пути обслуживания армии.— Бюлл. осведом.-стат. бюро, 1917, № 6, с. 1—4.
54. Ферсман А. Е. Северная база металлургии.— «Известия», 10/VIII 1940 г., № 184 (7256).
55. Ферсман А. Е. Сергей Миронович Киров и завоевание Севера.— «Ленинградская правда», 3/XII 1934 г., № 280.
56. Ферсман А. Е. С. М. Киров и завоевание Севера.— Фронт науки и техники, 1934, № 12, с. 7—8.
57. Ферсман А. Е. С. М. Киров и овладение севером.— «Полярная правда», 26/XI 1948 г., № 95; 30/XI, № 96.
58. Ферсман А. Е. Советская наука.— «Вечерняя Москва», 3/XI 1942 г., № 259.
59. Ферсман А. Е. Советские геологи в годы Отечественной войны. Беседа.— «Красная звезда», 19/X 1944 г., № 249.
60. Ферсман А. Е. Сокровищница стратегического сырья.— В помощь фаб.-зав. и местн. ком., 1942, № 14, с. 6—10.
61. Ферсман А. Е. Сырьевые ресурсы Японии.— «Правда», 17/XII 1941 г., № 349.
62. Ферсман А. Е. Успехи Хибин — дело Кирова.— «Ленинградская правда», 30/XII 1934 г., № 304.
63. Ферсман А. Е. Участие научно-технических и химических сил в содействии нуждам обороны.— Бюлл. осведом.-стат. бюро, 1917, № 3, с. 116—118.
64. Ферсман А. Е. Ученые на боевом посту.— «Уральский рабочий», 18/II 1942 г., № 41.
65. Ферсман А. Е. Франко-прусская граница и ее минеральные богатства.— Природа, 1918, № 1, стб. 75.
66. Ферсман А. Е. Химия и геохимия в наши дни.— Природа, 1947, № 12, с. 14—18.
67. Ферсман А. Е. Японская научная журналистика во время войны.— Природа, 1916, № 3, стб. 363—364.
68. Ферсман А. Е. Problems of strategic raw materials.— «Moscow News», 14/IV, 1942, № 15.
69. Ферсман А. Е. The battle of elements.— «Moscow News», 21/IV, 1942, № 16.
70. Ферсман А. Е. The war for the sinews of warfare.— «Moscow News», 19/V, 1942, № 20.
71. Ферсман А. Е., Коган Б. И. Минеральное сырье во второй мировой войне.— Наука и жизнь, 1944, № 11—12, с. 35—39.
72. Ферсман А. Е., Коган Б. И. Минеральное сырье зарубежных стран.— М.— Л., Изд-во АН СССР, 1947.
73. Цыганерлинг Е. В. Ферсман, каким я его знала.— Природа, 1967, № 8, с. 99—103.
74. Шаповалов Ив. Свершения и горизонты. Коллективный очерк о людях ленинской эпохи.— «Днепропетровская правда», 9/VI 1973 г.

Е. Л. КРИНОВ

Крупнейший советский метеоритолог

Научные интересы А. Е. Ферсмана были, как известно, необычайно обширны. Будучи крупнейшим минералогом и одним из основоположников геохимии, он не мог, конечно, пройти и мимо метеоритов — объектов, поступающих на Землю из межпланетного пространства и содержащих богатейшую информацию о составе, происхождении и развитии небесных тел солнечной системы. Систематически метеоритами Александр Евгеньевич стал заниматься с 1919 г., когда после академика В. И. Вернадского он был назначен на пост директора Минералогического музея Академии наук¹. В этом музее находилась и самая крупная в нашей стране коллекция метеоритов, она была размещена в отдельном зале.

В 1921 г. по инициативе В. И. Вернадского и при непосредственной поддержке А. Е. Ферсмана при Минералогическом музее был образован Метеоритный отдел. В нем единственным сотрудником в то время был Л. А. Кулик. А. Е. Ферсман проявлял большое внимание к работам Метеоритного отдела и оказывал ему всестороннюю поддержку.

Особенно большое значение в то время А. Е. Ферсман придавал проведению сбора метеоритов. Эту задачу он считал важнейшей и имевшей место случайный сбор метеоритов стремился превратить в систематический, планомерный. Поэтому он всегда содействовал Метеоритному отделу в получении денежных средств для проведения обследований мест и обстоятельств падений метеоритов всякий раз, как только поступали в Метеоритный отдел сообщения о падении метеорита. В результате метеоритная коллекция Минералогического музея пополнилась многими метеоритами, в том числе и уникальными по составу и по морфологическим свойствам. Был собран также значительный научный материал по наблюдавшимся болидам.

Большое внимание А. Е. Ферсман уделял и работе Л. А. Кулика по изучению места и обстановки падения знаменитого Тунгусского метеорита. Придавая важное научное значение этому исключительному явлению природы, он вместе с тем часто проявлял осторожность в выводах и в истолковании тех своеобразных явлений, которые были обнаружены и описаны Л. А. Куликом. Александр Евгеньевич стремился направить изучение Тунгусского феномена по правильному пути. Впоследствии эта осторожность А. Е. Ферсмана всякий раз находила свое оправдание.

В феврале 1929 г. Л. А. Кулик отправился в третью, наиболее крупную Тунгусскую экспедицию, рассчитанную на более чем годичный срок работы. Средства на ее проведение частично были выделены Академией наук СССР, а частично — Отделом науки Совнаркома СССР. Экспедиция включала трудоемкие буровые работы в нескольких болотах, принятых Л. А. Куликом за метеоритные воронки. К концу года в экспедиции из 10 человек осталось только пять, но и из них двое, в том числе и автор этой статьи, выбыли из строя, обморозив ноги в пути. Это случилось во

¹ Научно-исследовательских институтов в области геологии, петрографии и минералогии в то время не существовало. Вся научно-исследовательская работа проводилась в музеях.

время поездки за продовольствием и снаряжением на фабрику Вановару, находившуюся в 100 км от базы экспедиции. Пострадавшие были эвакуированы в районное село Кежму для получения медицинской помощи. В районе работ экспедиции Л. А. Кулик остался лишь с двумя рабочими и без денежных средств. Создалось крайне напряженное положение. И вот в этот критический момент Александр Евгеньевич, будучи в то время вице-президентом Академии наук СССР, телеграфно направил Л. А. Кулику необходимые денежные средства на наем рабочих для окончания буровых работ и на расходы по возвращению экспедиции и доставку всех собранных научных материалов, что и было осуществлено в 1930 г.

В 1938 г. была успешно произведена аэрофотосъемка центральной области района падения тунгусского метеорита, запечатлевшая радиальный характер вывала леса. По инициативе Александра Евгеньевича на заседании Отделения естественно-математических наук Академии наук СССР был заслушан доклад Л. А. Кулика о результатах проведенной аэрофотосъемки с показом полученных аэрофотоснимков. В резолюции по докладу, составленной и предложенной А. Е. Ферсманом, было сказано:

«Собрание ОМЭН с удовлетворением отмечает значительные достижения, полученные Л. А. Куликом и его группой за истекший период времени в разработке методики подхода к нахождению возможной точки падения метеорита. Собрание особо отмечает исключительное упорство и энтузиазм, проявленные лично Л. А. Куликом на протяжении многих лет в деле поисков места падения Тунгусского метеорита, давших за последнее время вполне реальные и обнадеживающие результаты... считает необходимым принять все меры к доведению до конца поисков Тунгусского метеорита...»

После этого А. Е. Ферсман энергично поддерживает ходатайство Комитета по метеоритам перед Президиумом Академии наук об отпуске средств на фотограмметрическую обработку аэрофотосъемочных материалов и составление фотоплана района. Средства были выделены, и фотоплан изготовлен. Аэрофотосъемка дала убедительные доказательства правильности первоначального определения района предполагаемого падения, и Александр Евгеньевич выдвинул в качестве очередной и неотложной задачи — осуществление поисков частей метеорита при помощи современных геофизических методов. Проведение таких работ было запланировано на лето 1941 г., но оно не было выполнено ввиду начавшейся Великой Отечественной войны. В апреле 1942 г. Л. А. Кулик погиб, находясь в народном ополчении.

После войны и уже после смерти А. Е. Ферсмана Комитет по метеоритам АН СССР возобновил под руководством геохимика К. П. Флоренского полевые работы в районе падения Тунгусского метеорита. В 1958, 1961 и 1962 гг. были проведены последовательно три экспедиции. На основе собранного нового научного материала была высказана гипотеза о том, что здесь имело место падение небольшой кометы на Землю. Ничтожные остатки этой кометы в виде микроскопических магнетитовых и силикатных шариков были обнаружены в грунте в районе падения.

Изучение Тунгусского явления еще не окончено и продолжается в настоящее время Комиссией по метеоритам и космической пыли Сибирского отделения АН СССР.

А. Е. Ферсман еще в 1933 г. принял непосредственное участие в создании наряду с существовавшим Метеоритным отделом специальной

Комиссии по метеоритам и был избран ее председателем. Он оставался на этом посту вплоть до 1939 г., когда Комиссия по метеоритам была преобразована в ныне существующий Комитет по метеоритам; председателем Комитета был избран академик В. И. Вернадский, а Александр Евгеньевич — его членом. Метеоритный отдел Минералогического музея был упразднен.

А. Е. Ферсман участвовал не только в организационной и руководящей работе по метеоритике, он всегда живо интересовался и новыми достижениями этой науки, часто и сам выполнял научные исследования в области метеоритики. Большую часть своей книги «Химия космоса», вышедшей из печати в 1923 г., Александр Евгеньевич посвятил метеоритам. Он дал в ней сводку накопленных к тому времени сведений о химическом и минералогическом составе метеоритов разных классов и типов и произвел ряд сопоставлений. Позднее, в своем капитальном труде «Геохимия» (т. I) он поместил еще более полные данные о вещественном составе метеоритов и привел составленную им на основе работ Нодаков таблицу среднего состава метеоритов и содержания атомов в среднем количестве метеоритного вещества.

С большой любовью Александр Евгеньевич относился и к популяризации метеоритов. Он увлекательно, мастерски описал метеориты в своих замечательных книгах: «Занимательная минералогия» и «Занимательная геохимия», заслуживших большую популярность среди широких слоев населения нашей страны и за ее пределами; много писал о них и в научно-популярных журналах, кроме того часто читал лекции по метеоритам непосредственно перед аудиториями и по радио.

После смерти В. И. Вернадского и Л. А. Кулика А. Е. Ферсман несмотря на перегруженность основными делами и на сильно подорванное здоровье по-прежнему уделял время и внимание делам Комитета по метеоритам. В качестве ученого секретаря Комитета по метеоритам мне много раз приходилось обращаться к Александру Евгеньевичу и всякий раз я получал от него ценные советы, указания и помощь в работе.

Б. Н. МЕЛЕНТЬЕВ

Ученый широкого диапазона

Ученых по характеру их деятельности можно разделить на две категории. Первая, наиболее многочисленная, работает в отдельных областях науки и известна ограниченному кругу специалистов. Другая — представлена единицами, которые не замыкаются в отведенные им рамки одной отрасли знаний. Эти ученые охватывают смежные области, вникают в вопросы, на первый взгляд не имеющие к их работе никакого отношения, и всегда вносят в науку свое слово, свежее и оригинальное.

Таков был и Александр Евгеньевич Ферсман — выдающийся русский ученый-минералог, геохимик, географ, экономист, историк, литератор, а в общении с людьми — обаятельный человек.

Мне посчастливилось многие годы общаться с А. Е. Ферсманом, и в каждой из этих встреч открывались новые грани его таланта.

Впервые я увидел Александра Евгеньевича в 1929 г. в Тбилиси. Было жаркое летнее утро, когда к нам в лабораторию Закавказского ВИМС вошел Александр Евгеньевич в сопровождении профессора А. А. Твалчрелидзе. Он направился ко мне и сразу же засыпал вопросами. В то время в лаборатории почти все занимались мышьяковистыми рудами Рачинского месторождения и технологией гумбрина. Александра Евгеньевича интересовало содержание мышьяка в рудах, их минералогический состав, парагенезис, транспортные пути и ... мое мнение обо всем этом. Я же, в то время только еще начинающий научный работник, был повергнут в большое смущение таким каскадом вопросов со стороны академика. И прежде чем я успел прийти в себя, все окружающие оказались втянутыми в обсуждение этих проблем. Александр Евгеньевич обладал удивительной способностью вызывать в окружающих общий интерес к обсуждаемому вопросу, поэтому каждый находил свое место в этих дискуссиях.

Днем, в переполненном зале Тбилисского университета Александр Евгеньевич делал доклад о своей поездке в Каракумы, откуда и заехал к нам. Он направлялся на пегматиты Дзирульского массива, которые его очень интересовали. То, что Александр Евгеньевич рассказывал, нельзя было назвать докладом — это повествование о впечатлениях, которые вызывает пустыня, о новых идеях и мыслях, возникающих у костров в барханах. В этом увлекательном рассказе он сопоставлял ландшафты южных пустынь с тундрой Хибинских гор, проводил аналогии процессов выветривания и формирования рельефа, и перед слушателями возникали динамические процессы, создающие неповторимые природные формы. Затем докладчик перешел от процессов, происходящих в неживой природе, к романтике дел, которые в эти дни совершались в Хибинах. Там, в дикой пустынной тундре рождался новый горнопромышленный район.

Все сидевшие и стоявшие в зале с глубоким вниманием следили за полетом мысли, которая как бы парила в зале и казалась такой очевидной, что становилось удивительным, почему об этом никто не сказал раньше. Александр Евгеньевич умел, как никто, исключительно просто и образно развивать самые сложные идеи. Таким я впервые увидел академика А. Е. Ферсмана — географа и путешественника.

Прошло несколько лет, прежде чем я встретился вновь с А. Е. Ферсманом, но уже на другом конце нашей Родины, на берегу озера Малый Вудъявр, где он у лабораторного стола, в окружении химиков обсуждал результаты анализов хибинских минералов. Это была увлекательная беседа с подробным разбором методов анализа, достоверности полученных результатов и выяснением причин разнообразия химического состава минералов. При этом мнение химика Александр Евгеньевич выслушивал с исключительным вниманием. Вступая в обсуждение, он ни в какой мере не подавлял своим авторитетом соображения собеседника. Такие беседы проходили постоянно при каждом приезде Александра Евгеньевича на Кольскую базу Академии наук и продолжались по несколько часов: разрабатывались программы будущих исследований по минералогии и геохимии отдельных месторождений Кольского полуострова. Александр Евгеньевич требовал от нас, постоянных сотрудников Кольской базы, хорошего знания состояния работ на рудниках и особенно новинок, которые обнаруживались при проходке горных выработок. Я вспоминаю, как од-



А. Е. ФЕРСМАН с группой геологов в Минералогическом музее АН СССР. 1931 г.

нажды он «распекал» (Александр Евгеньевич умел и это делать) одного старшего научного сотрудника за то, что тот не знал о новой пентландито-халькопиритовой жиле, вскрытой при проходке штольни в Мончегорске. Сам он узнал об этой жиле от случайного попутчика, ехавшего с ним в поезде. При этом он не принимал во внимание никаких оправданий и смягчающих вину обстоятельств. Александр Евгеньевич считал, что человек, вошедший в науку, должен целиком отдавать себя ей.

В одной из бесед Александр Евгеньевич горячо поддержал мои предложения по химико-минералогическому изучению апатито-нефелиновых руд Хибин. Тогда же он подчеркнул необходимость экспериментального изучения очень сложной силикатно-фосфатной системы, полагая, что в ходе ее разработки будут выяснены и процессы образования апатито-нефелиновых руд. К сожалению, эти исследования не получили полного завершения, но, как и предвидел Александр Евгеньевич, они позволили подойти к объяснению многих явлений, наблюдаемых в рудном теле уникальных апатито-нефелиновых месторождений Хибин.

Вспоминается, как в полярную ночь, в небольшой комнате, в кругу нескольких зимующих на базе человек Александр Евгеньевич с большим интересом обсуждал зависимость удельного веса апатитов от содержания в них редких земель и стронция, полученную химиком З. М. Гилевой. Тогда же я обратил его внимание на то, что апатиты Поучвум-

чорра и Эвеслогчорра, близкие по своим химическим составам и физическим свойствам, находятся на примерно равном расстоянии от главных апатитовых рудных тел. Было высказано предположение, что, вероятно, они являются продуктами остаточного апатитового расплава. Все подобного рода наблюдения вызвали живой обмен мнениями, иногда и споры. В этих беседах Александр Евгеньевич принимал участие на равных правах, но незаметно направлял беседу к полному выяснению проблемы. Часто спор, начатый по какому-нибудь конкретному вопросу, переходил на другие, и тогда Александр Евгеньевич соединял разрозненные факты в цельную систему. Для нас было очевидным, что Александр Евгеньевич сам любил такие беседы, где у него возникали новые идеи и ассоциации и он их дарил нам с таким полным бескорыстием, которое присуще было только ему.

При большой живости характера Александр Евгеньевич был исключительно дисциплинированным человеком и четким организатором любого дела, которое начинал. Например, Александр Евгеньевич приезжал на Кольскую базу за несколько дней до открытия традиционных полярных совещаний. Сразу же в день приезда начиналась разработка деталей предстоящего совещания. Ничто не ускользало от его внимания. Определялось, кому и как встречать гостей, кому заниматься подготовкой помещения для заседаний, и, наконец, составлялась программа самого совещания. Это была для нас, молодых работников, великолепная школа по технике организации совещаний.

За редким исключением все заседания вел он сам. Сидя по обыкновению несколько боком к залу, чтобы видеть и выступающего, и зал, Александр Евгеньевич внимательно следил за докладом и прениями, делая локоничные пометки в своем блокноте. Обладая исключительной способностью моментально оценивать положительные и негативные стороны новой идеи, он всегда почти без ошибок предугадывал ее дальнейшую судьбу.

Вспоминается такой случай. На полярном совещании в 1939 г. я выступал с сообщением о первых результатах изучения количественного минералогического состава апатито-нефелиновых руд. При этом удалось показать, что распределение в рудном теле апатита, нефелина и пироксенов находится в строгой взаимозависимости, и эти связи могут быть описаны простыми линейными уравнениями. Таким образом, по содержанию в пробах руды фосфора стало возможным определение в них количества нефелина и пироксенов. Тогда это сообщение вызвало скептические замечания со стороны профессора П. Н. Чирвинского. Но обобщая дискуссию по моему сообщению, Александр Евгеньевич положительно оценил выводы и предугадал их генетический смысл. А ведь в то время было еще мало данных для такого рода заключения. Эти формулы в 1944 г. были им представлены для опубликования в «Докладах АН СССР». В настоящее время эти уравнения подтвердились и для руд остальных месторождений Хибин, свидетельствуя тем самым о единообразии процессов, в результате которых образовались все хибинские апатито-нефелиновые месторождения.

Осенью 1940 г. Александр Евгеньевич и я были приглашены на заседание Техсовета Наркомхимпрома. Обсуждался вопрос комплексного использования апатито-нефелиновых руд. Заседание затянулось и закончилось около 11 часов вечера. Александр Евгеньевич в течение заседания

выступал несколько раз, горячо отстаивая не только саму идею комплексной переработки руд, но и, в частности использование нефелина для получения алюминия, щелочей и цемента, эгирин — в качестве флюсующей добавки при плавке железных концентратов, сфена — для получения титановых белил и красок и по другим вопросам. Здесь проявилась еще одна грань таланта Александра Евгеньевича как экономиста. Он убедительно доказывал целесообразность утилизации минералов апатито-нефелиновых руд, при этом доводы отличались живой подтвержденной цифровыми выкладками аргументацией. Ставил проблему широко, предугадывая бурное развитие апатитовой промышленности. С этих позиций он исходил в своих представлениях о месте и значении минералов апатито-нефелиновых руд в народном хозяйстве.

После заседания мы пошли пешком. Александр Евгеньевич все еще находился под впечатлением прений и горячо, по-юношески размахивая руками, продолжал переживать пережитии баталии, которая происходила на заседании — противники комплексности вызывали у него негодование. В это время Александр Евгеньевич готовил к печати свою замечательную книгу «Полезные ископаемые Кольского полуострова», в которой показана взаимосвязь всех месторождений Кольского полуострова, их технологические возможности, а главное — описаны те 12 видов сырья, которые Александр Евгеньевич образно назвал «китами» Кольского полуострова. Поэтому он по свежим впечатлениям систематизированных материалов мог убедительно аргументировать в пользу комплексного использования апатито-нефелиновых руд. К сожалению, сейчас в этой книге мало обращаются, а в ней много идей и мыслей, которые и теперь могли бы послужить развитию новых вариантов использования кольского минерального сырья.

Всегда доброжелательный к людям, Александр Евгеньевич в меру своих возможностей оказывал им содействие. Обычно это были не пожелания, а реальные дела, что особенно проявилось в годы Великой Отечественной войны, когда он оказывал помощь эвакуированным на Урал сотрудникам Академии наук.

Всегда при воспоминаниях об Александре Евгеньевиче делается грустно, что он так рано ушел из жизни. Но то что им сделано, поражает воображение. Он оставил нам огромное количество заметок, статей, книг. Но самое главное — мы получили идеи нового подхода к изучению процессов образования минералов и руд. Кроме того, два промышленных района нашей Родины — Хибинь и Каракумы были вызваны к жизни гением Александра Евгеньевича, и они навсегда останутся памятником — ученому, патриоту, человеку.

В нашей памяти Александр Евгеньевич Ферсман остался не только как выдающийся ученый, прокладывающий новые пути в науке и промышленности, но и как научный руководитель, обладавший талантом привлекать и объединять людей в общем деле.

Н. В. ПЕТРОВСКАЯ

Мои беседы с А. Е. Ферсманом

Писать о моих, к сожалению, редких беседах с А. Е. Ферсманом приятно и немного страшно. Приятно, так как еще раз в памяти встает образ большого ученого и обаятельного человека, влияние которого оставило глубокий след на всей последующей моей работе, что дает мне право причислять себя к широкому кругу его учеников. Страшно потому, что слова о таком человеке и ученом должны быть особенно выразительными и яркими, а таких слов, конечно же, не хватает.

В решении публиковать эти строки мне помогает следующая мысль: воспоминаниями об А. Е. Ферсмане неоднократно делились ученые, имевшие счастье повседневно с ним общения, но есть, что сказать и многочисленным его последователям, некогда работавшим в отдаленных районах нашей страны. В 30-е годы они составляли значительную часть ядра «ферсмановской школы» и гордились принадлежностью к ней. Я также принадлежала к числу таких последователей Александра Евгеньевича. Его книги были нашими «библиями»; в щедром потоке содержащихся в них идей и материалов мы искали и находили пути своей работы. Но нам хотелось слышать и видеть своего учителя, рассказывать ему о всяческих представлявшихся поразительными фактах, спрашивать, советоваться. Так родилось и мое желание просить Александра Евгеньевича о встрече.

Дело в том, что прямо из московского вуза романтическое стремление к наиболее сложным задачам и в наиболее «трудных районах» привело меня на далекую реку Маму, в море пегматитов, в океан пегматитовых загадок. Старшее поколение исследователей и разведчиков — Д. Т. Мишарев, П. Н. Марков, а также более молодое — М. Ф. Смирнов, Н. С. Чигарев и другие во многом служили нам опорой, но они сами бились над расшифровкой геологического строения мамского слюдоносного района. Вопросы минералогии и генезиса пегматитов требовали особого подхода. И вот с грузом образцов, карт, зарисовок, описаний я отправляюсь из Иркутска в Москву.

Трудно передать волнение юного неопита минералогии, робкая мечта которого увидеть «самого Ферсмана» вдруг сбывается. По лестнице здания, теперь для меня обычного, а в те далекие дни почти легендарного, поднимается большой добрый веселый человек, лицо которого хорошо знакомо по фотографиям в газетах и журналах. «Кто мне? Ну, пойдём, пойдём...» Простые слова, ободряющая улыбка и моя робость тает. Как важна психологическая атмосфера таких вот консультаций!

Я сижу в кабинете напротив Александра Евгеньевича и, постепенно успокаиваясь, рассказываю ему об огромных полях, где пегматитов немногим меньше, а иногда больше, чем вмещающих пород (потом они названы были типом гигантомигматитов), о подтверждении его положений относительно последовательности пегматитообразования, о явлениях замещения, приводящих к развитию своеобразных кварц-мусковитовых агрегатов. Эти агрегаты тогда были отнесены к особому «кварц-мусковитовому комплексу». За термин я в последующем не раз получала упреки, но само понятие о закономерном сообществе минералов, замещающих

полевого шпат, одобренное А. Е. Ферсманом в первые мои беседы с ним, привлекло внимание исследователей слюдоносных пегматитов. Александр Евгеньевич особенно заинтересовался наблюдениями, выявившими закономерности сростаний индивидов кварца и мусковита. А ведь они были лишь продуктами поисков аналогов знаменитых «ферсмановских законов» кварц-полевошпатовых сростаний.

Повторные встречи мои с Александром Евгеньевичем проходили и на его квартире, находившейся тогда на Малой Якиманке. Поражала его работоспособность. Обычно в соседней комнате ждала стенографистка, и, оставив меня подумать над обсуждаемыми вопросами, Александр Евгеньевич шел диктовать текст очередной своей работы. Размеренная звучная речь почти не прерывалась. Потом открывалась дверь, и наша беседа возобновлялась с той же мысли, на которой она была приостановлена.

Тщательность, с которой А. Е. Ферсман просматривал мои образцы, фотографии и описания шлифов, штуффов, обнажений, может служить примером консультацией молодых исследователей. А как важны были для меня доброжелательность и интерес к скромным результатам моих первых трудов! Эти результаты, включая описания закономерностей сростаний кварца и мусковита, мой учитель поместил в виде приложения в новое издание своей книги «Пегматиты»; это меня не только окрылило, но и заставило как-то по-иному, более требовательно проводить дальнейшие работы.

Все встречи с Александром Евгеньевичем были насыщены показом каменных материалов и рассказами о них. Отвечая на мои вопросы, Александр Евгеньевич нередко брал в руки какой-либо образец, время от времени любовно его поглаживал и вдруг начинал о нем говорить, да так, что хотелось запомнить каждое его слово. Особенно долго он не выпускал из рук штуфф молочно-белого кварца, на сколе которого как-то неправдоподобно торчало идеально круглое, в виде темно-серого шарика включение графита. Несколько таких шариков удалось найти в кварце пегматитовых жил Колотовского участка Мамского района. Хотя я была скупой владелицей минеральных коллекций, но не могла не предложить полюбившийся образец в дар учителю. Александр Евгеньевич расцвел в улыбке и заговорщицким тоном сказал, что он спрячет чудесный штуфф подальше, «чтобы никто не утащил» и что мне советует детально изучить подобные образования. Обстоятельства помешали мне выполнить этот совет. Значительно позднее другие исследователи описали сферические вкрапления графита в кварце в двух-трех статьях.

Любовью Александра Евгеньевича к камню, почти восторженной и требовательной, нельзя было не заражаться, и все мы, ранние ученики его школы, пронесли такую любовь через всю свою жизнь.

Воспоминания о встречах, беседах, переписке с А. Е. Ферсманом бережно хранят многие исследователи отдаленных пегматитоносных районов. Удивительно живым и систематичным был интерес Александра Евгеньевича к их работам. Значительным было и остается его влияние на развитие учения о пегматитах и процессах пегматитообразования. А между тем — это лишь одно из направлений многогранной деятельности замечательного ученого, трудами которого гордится наша страна.

А. В. ПЭК

А. Е. Ферсман на Тырнаузе

С Александром Евгеньевичем Ферсманом я познакомился будучи еще студентом геохимического отделения химического факультета Ленинградского политехнического института. Это отделение было создано по инициативе Ф. Ю. Левинсона-Лессинга, который являлся также нашим руководителем, заведующим профилирующей кафедрой, в то же время был директором Петрографического института АН СССР. Другие наши преподаватели — Д. С. Белянкин, Б. М. Куплетский, Б. В. Залесский также работали в этом институте.

Количество студентов отделения было столь невелико, что летнюю практику многие из нас проходили под непосредственным руководством наших преподавателей, в частности я был коллектором Б. М. Куплетского. Зимой мы принимали участие в обработке материалов и часто посещали кружок А. Е. Ферсмана в Минералогическом институте АН СССР, где слушали интересные для нас доклады. Александр Евгеньевич, всегда веселый и благожелательный, признавал и нас, студентов, членами своего кружка, порой справлялся о состоянии дел учебных.

И после окончания института, поступив на работу в Геолком, я потерял связи со своими учителями. В 1932 г. А. Е. Ферсман предложил мне перейти на работу во вновь организуемый им Геохимический институт и заняться изучением тектоники Хибинского массива.

Все партии, проводившие разностороннее изучение Хибин, работали под общим руководством А. Е. Ферсмана и базировались на прекрасно оборудованной горной станции Академии наук в Хибинах. Много времени проводил на Хибинах и сам А. Е. Ферсман. Мне удалось участвовать в одной его экскурсии. Она была продолжительной, утомительной, при весьма посредственной погоде, и все же до самого конца А. Е. Ферсман оставался в прекрасном настроении. При осмотре обнажений он удивлялся своей наблюдательностью, а при обсуждении этих данных — глубокими суждениями при полном отсутствии поучающего тона.

Помню также, когда после моего доклада на одном совещании П. Н. Чирвинский поставил меня в трудное положение критикой моего увлечения трещинной тектоникой, а Александр Евгеньевич выручил меня остроумной шуткой.

В эти годы в Ленинграде А. Е. Ферсман читал лекции по геохимии для сотрудников института. Мы слушали их с большим вниманием и удовольствием — в них было так много нового для нас и интересного, а форма изложения была подлинно красивой. Все же именно изучение трещинной тектоники Хибин определило мою дальнейшую направленность в работе по структуре месторождений, и А. Е. Ферсман настоял на скорейшем опубликовании нашей (совместно с И. И. Малышевым и П. Г. Пантелеевым) сводки по титаномagnetитовым месторождениям Урала.

В последующие годы и после перевода Академии наук СССР в Москву А. Е. Ферсман был длительное время директором Ломоносовского института АН СССР (ГИН, позже ИГЕМ), и как сотрудник этого института я встречался с ним довольно часто. Но особенно запомнился мне его приезд на месторождение Тырнауз, где мы работали в то время.

В 1934 г. на Северном Кавказе, на хребте Уллу-Тырныауз, на высоте около 3000 м геологом Б. В. Орловым было открыто молибденово-вольфрамовое оруденение и в 1936 г. была начата систематическая разведка его под руководством Н. А. Хрущова. Вскоре была установлена огромная промышленная значимость Тырныаузского месторождения и началось строительство рудника и обогатительной фабрики. Передача месторождения в эксплуатацию была намечена на осень 1940 г. и для оказания помощи в строительстве на Тырныауз приехал летом 1940 г. заместитель министра цветной металлургии П. Я. Антропов.

В 1938 г. по инициативе Н. А. Хрущова ГИН начал изучение месторождения, и к 1940 г. небольшим отрядом (А. В. Пэк, Л. И. Лукин, И. П. Кушнарев) уже были получены некоторые интересные данные о генезисе своеобразной структуры рудного тела и слагающих его скарпов.

А. Е. Ферсман не мог остаться равнодушным к этому новому крупному и интересному месторождению, и летом 1940 г. мы с радостью узнали о его приезде на Тырныауз. Но вместе с тем вызывало беспокойство, как трудные условия Тырныауза скажутся на здоровье Александра Евгеньевича, тогда уже не очень крешком. Дорога от г. Нальчика до площадки комбината в долине р. Баксан, длиной около 90 км, была еще очень плохой. Еще хуже и опаснее была дорога от площадки до рудника, находящегося на отметке 2800 м, проложенная серпантинами по крутому склону. Не было в то время и внизу, т. е. в долине Баксана, благоустроенного жилья. Мы жили на руднике в условиях весьма примитивных, там же находились и все собранные нами образцы. К приезду А. Е. Ферсмана все эти образцы были нами тщательно вымыты, а некоторые наиболее показательные мы отвезли вниз, не надеясь, что Александр Евгеньевич сможет подняться на рудник.

Но все наши опасения оказались напрасными. На следующий же день после приезда на Тырныауз он поехал с нами на рудник. Там он прежде всего детально ознакомился с нашей коллекцией, и мы заслужили похвалу за чисто вымытые образцы, в которых были хорошо видны взаимоотношения различных минералов. Затем Александр Евгеньевич осмотрел одну штольню, прорезавшую поперек все рудное тело. Сама штольня была достаточно высокой и стенки ее слабо запыленными, но в очень низкий портик штольни он смог войти лишь с большим трудом. Вряд ли эта экскурсия на рудник досталась ему легко, ведь даже вполне здоровому человеку без предварительной акклиматизации ходить на высоте порядка 3000 м трудно, но весь этот день он был неизменно веселым и шутливым, и как бы мимоходом сделал нам при осмотре отдельных участков штольни много ценных указаний.

На следующий день А. Е. Ферсман созвал совещание геологов, на котором присутствовал и П. Я. Антропов, также геолог по образованию. Н. А. Хрущов доложил о данных разведки месторождения, я — о результатах работ нашего отряда. Это не были доклады в обычном понимании, а скорее ознакомление с имеющимися материалами с одновременным обсуждением их и дальнейшего направления работ. В ходе рассмотрения каждого положения А. Е. Ферсман задавал много вопросов, часто подшучивал над нашей уверенностью в правильности сделанных выводов, но не отвергал их безапелляционно, а советовал продумать вероятность других решений. В частности, он высказал сомнение в достоверности нашего выво-

да, что в ходе формирования месторождения окварцевание имело место уже после образования скарнов.

Такое обсуждение результатов проведенных исследований было для нас в высшей степени полезным. В результате этого совещания было принято решение о необходимости форсирования дальнейшей разведки месторождения и его изучения.

Не могу не отметить живо запомнившийся мне эпизод, имевший место на следующий день при осмотре обогатительной фабрики. Проходя по двору фабрики, А. Е. Ферсман увидел глыбу мрамора, в которой жилка красного граната пересекала жилку кварца. Он остановился, расхохотался, подозвал меня и сказал: «смотри, вот антипэк лежит». Потом я долго долбил эту глыбу, отбивая образец с местом пересечения жилки, а затем зимой изучал шлифы, чтобы доказать, что это все же не «антипэк». Оказалось, что гранатовая жилка пересекала плагиоклазовую жилку, позже замещенную кварцем.

В последний раз я видел Александра Евгеньевича в начале Великой Отечественной войны в Свердловске, где в то время на его квартире лежал после тяжелой контузии на фронте один из его ближайших сотрудников и мой коллега по преподавательской работе в Московском институте цветных металлов и золота Г. П. Барсанов. Александр Евгеньевич казался относительно здоровым. В разговорах геологические темы, конечно, отступали на второй план по сравнению с обсуждением хода военных действий, и Александр Евгеньевич выразил свою твердую уверенность в победе наших войск.

Прощаясь с ним тогда и говоря «до свидания», я никак не предполагал, что сбыться этому не будет суждено.

И. С. СТЕПАНОВ

Благожелательность

Чрезвычайно широк круг лиц, соприкасавшихся с Александром Евгеньевичем по работе и в жизни. Это, конечно, неудивительно вследствие его многогранной деятельности и благожелательной общительности.

Всем, кто знал Александра Евгеньевича, невозможно вспоминать его иначе как бодро и благожелательного человека, каким он и был до последнего мгновения своей, к сожалению, непродолжительной жизни.

Благожелательность — это одна из наиболее впечатливших меня черт его замечательного характера, так располагавшая к нему окружающих, особенно молодежь.

Люди моего возраста, возможно, еще помнят непривлекательно изданную в нелегком 1922 г. книгу на рыхлой сероватой бумаге, в мягкой обложке, на которой довольно бледно было напечатано, — «Геохимия России». О том, что автор этой книги А. Е. Ферсман, известный ученый, я уже знал по основанному им же журналу «Природа», в котором часто встречались увлекательные по содержанию и всегда блестящие по изложению его заметки и статьи. Нельзя сказать, что тогда, в 1926 г., я — студент-геолог горного факультета Уральского политехни-

ческого института Свердловска, — не представлял себе в общем, что такое геохимия. Ведь основным руководством при изучении одного из первых специальных предметов — общей минералогии — была у нас замечательная геохимическая работа учителя и друга Александра Евгеньевича — «История минералов земной коры» академика В. И. Вернадского. Но в этой «Истории» значительно труднее было почувствовать тот увлекающий призыв, которым так откровенно и дружелюбно начиналось предисловие к «Геохимии России». Я уверен, что каждый, читавший эту работу Александра Евгеньевича, никогда не забудет его пожелания: «Мне хотелось бы, чтобы эту книгу взял в руки тот, кто любит русскую природу...» А ведь я выбрал тогда путь геолога именно поэтому и не трудно понять, какой внутренний отклик нашло во мне такое обращение. Мгновенно забылся невзрачный внешний вид книги, и я буквально погрузился в ее волнующий рассказ о «величии тех бесконечно медленных и вместе с тем грандиозных физико-химических процессов, которые незаметно, но неуклонно изменяют, перегруппировывают земную кору, лежат в основе ее геологических превращений, ее органической жизни и даже культурного развития человека».

Я считаю, что яркое впечатление об А. Е. Ферсмани как об авторе такой замечательной работы определило еще до личного знакомства с ним все мое последующее к нему отношение, — сначала юношески восторженное, почтительное, а по мере того, как я его узнавал, перераставшее во все более глубокое уважение. Впоследствии не меньшую для меня роль сыграла также и замечательная монография А. Е. Ферсмана о пегматитах — эта энциклопедия об одном из наиболее интересных продуктов магматической дифференциации. Изучение раздела ее о так называемых контактных пегматитах, особенно диопсидовых, оказало мне большую практическую помощь при первой самостоятельной работе на вольфрамовых месторождениях, где впервые я встретился с Александром Евгеньевичем, как говорят «в поле».

Вскоре после ознакомления с «Геохимией России» мне пришлось впервые увидеть и услышать Александра Евгеньевича, когда он выступил у нас с циклом лекций по геохимии, в 1929 г. Не надо напоминать, насколько прекрасными были эти лекции и по своему увлекательному и глубокому содержанию, и по мастерству изложения. Его талант в этой области широко известен. Это была серия научных поэм о «жизни» безжизненного, в которых все двигалось, концентрировалось, рассеивалось, конструировалось по будущим экам и векам и находилось в непрерывном круговороте.

На многих из нас, студентов, эти лекции произвели тогда такое большое впечатление, что хотелось слушать Александра Евгеньевича еще и еще, и мы кочевали за ним на очередные его выступления. Возможно, А. Е. Ферсман заметил этих непримечательных участников его свердловских геохимических чтений, а может быть, даже запомнил нас. Во всяком случае, когда мне посчастливилось увидеться с Александром Евгеньевичем лично, мне показалось, что он встретил меня как знакомого.

Встреча произошла в 1932 г. в кабинете профессора минералогии Уральского политехнического института К. К. Матвеева, где мы рассматривали гумбейский образец.

Сильное изменение горных пород на поверхности этого месторождения сначала не дало возможности правильно установить его генезис.

По признакам расположения рудных выходов вблизи от контакта гранитоидов и девонских порфириров, пересеченного серией кварцевых прожилков, первоначально создано представление о структурно-тектонической «трубе», по которой проникали рудоносные выделения, осветлявшие прилегающие породы и образовавшие среди «беляков» кварцевые гнезда с большим количеством шеелита. Такая трактовка генезиса месторождения определяла начальный подход к геологоразведочным работам на нем, но по мере развития этих работ стала внушать сомнения.

Новое изучение месторождения было моей первой самостоятельной геологической работой. В результате выяснилось, что решающим для образования гнездовых скоплений шеелита оказалось проникновение магматогенных рудоносных выделений в известняки, в область повышенного потенциала кальция и «принудительное» химическое осаждение из них вольфрама. Выяснилось, что «беляки» — это измененные в зоне гипергенеза волластонитовые, диопсидовые и гроссуляровые роговики, образовавшиеся на базе переработанных девонских известняков. Мне удалось найти в этих роговиках, на более глубоких горизонтах рудника псевдоморфозу кальцита по кораллу Рашурога, как позднее сообщил об этом академик Д. В. Наливкин.

Понятно, что в соответствии с новыми данными потребовалось изменить систему геологических работ. Для решения вопроса пригласили специалистов во главе с А. Е. Ферсманом, и поскольку причиной этого были результаты моих исследований, то вполне возможно, что он уже слышал и мою фамилию.

Вошедший А. Е. Ферсман увидел пожилого профессора и молодого геолога, пристально изучающих, почти лежа на полу, щели паркета, куда мы нечаянно уронили прекрасный миниатюрный кристаллик лейкограната, привезенный мною напоказ из Гумбейки.

«А! Это тот самый Степанов!» — воскликнул Александр Евгеньевич, входя в кабинет К. К. Матвеева, когда донельзя смущенный я поднялся с пола и был ему представлен. К. К. Матвеев объяснил причину наших поисков. Очевидно, по выражению моего лица было понятно, насколько мне жаль потерянного, столь редкого кристаллика. Но продолжение обследования щелей пола в присутствии академика А. Е. Ферсмана казалось мне совершенно недопустимым. И вдруг, к моему глубочайшему изумлению, Александр Евгеньевич выразил желание немедленно вместе с нами принять участие в этих поисках.

В то время, должен признаться, я недостаточно осознавал неповторимую ценность своих, даже редких геологических образцов, надеясь что уж кто-то, а я — рудничный геолог — всегда смогу найти себе соответствующий новый образец. Но эта мгновенная реакция А. Е. Ферсмана на потерю, пусть незначительного, чьего-то геологического фактического материала не прошла для меня бесследно.

Ранним летним утром того же 1932 г. из окна своего домика на Балканском прииске на Гумбейке я увидел проезжающую, обычную для Южного Урала упряжку — коренника с пристяжкой, плетеный кузовок на дрожках, так называемый коробок, а в нем Александра Евгеньевича, приехавшего к нам из Магнитогорска. Конный транспорт был в то время обычным, надежным при бездорожье и к тому же приятным средством передвижения в наших зауральских холмистых ковыльных степях, кое-где с березовыми колками.

На Бурановском жильном месторождении шеелита Александр Евгеньевич осмотрел горные выработки и расчистки с поверхности, а на «спорном» Балканском месторождении спустился, не без труда, в нашу тесную разведочную шахту для изучения подземных забоев. Конечно, я и сейчас горжусь тем, что А. Е. Ферсман затем назвал хорошими представленными ему наши геологические материалы, и, подтвердив мою точку зрения, написал в отчете о своей поездке, что мифические трубы «беляков», описанные старыми геологами, являются, без сомнения, остатками известкового массива или отторженца, который погружен в гранитную массу и почти нацело переработан путем контактного процесса.

Геохимический анализ месторождений такого типа в то время еще отсутствовал, поэтому А. Е. Ферсман совместно с Д. И. Щербаковым вскоре составили геохимическую диаграмму их, начинавшуюся с контактового процесса. Поскольку начальная часть его характеризуется прогревом, то на составленной геохимической диаграмме были показаны в координатах температуры и времени неправомерно перекрывающиеся поля разновозрастных минералов, в том числе и шеелита. Это не соответствовало нашим данным, о чем я и сообщил А. Е. Ферсману. К сожалению, вскоре он серьезно заболел, но тем не менее не забыл о моем замечании и не оставил его без внимания.

Я получил письмо от А. Е. Ферсмана, в котором он извинился за задержку с ответом по причине болезни и писал: «Указанное Вами несогласие между временем отложения вольфрамовых соединений в Гумбейке и месторождениями, описанными американцами, несомненно существует...» И впоследствии в IV томе своей «Геохимии», в общих выводах по скарновому типу месторождений вольфрама он счел необходимым специально указать, что «... данная Д. И. Щербаковым и мною геохимическая диаграмма отвечает месторождениям Северной Америки (Калифорния), но встречает возражения со стороны работников по шеелиту Урала».

Такая внимательность и отзывчивость по отношению к отдаленно известному ему рядовому геологу, к его мыслям и предположениям, с которыми Александр Евгеньевич самокритично посчитался, придали мне однажды смелость просить его о помощи. Занимаясь геологическим опробованием рудных тел, я не мог не обратить внимания на характер распределения в них оруденения как на важный фактор для оценки достоверности промышленной ценности руд. При анализе этого выявились некоторые закономерности, и, используя методы горной геометрии, которым еще в институте обучил нас их создатель П. К. Соболевский, мне удалось найти способ объективной количественной характеристики степени равномерности распределения оруденения в рудных телах. Естественно, что мне представлялось полезным познакомиться с этой возможной методикой коллег-геологов путем соответствующей публикации.

Еще в своей «Геохимии России» Александр Евгеньевич высказывал сожаление, что все здание геохимии того времени строилось почти исключительно на качественных данных и, как известно, в своих последующих работах стремился выработать, использовать и внедрить количественные показатели. Именно поэтому я имел основания надеяться, что А. Е. Ферсман лучше, чем кто-либо другой, сможет понять значение полученных мною результатов по возможности количественной оценки одного из важных геологических факторов. Кроме того, я знал о его

отзывчивости и о том, что он охотно помогал многим высказать в печати свое мнение, даже если и казалось спорным, имея при этом в виду, что именно гласность и обсуждение приведут к выявлению истины или же приближению к ней.

И в этом случае я не обманулся в своих ожиданиях. Несмотря на свою предельную занятость, на известную отдаленность разработанного мною прикладного вопроса от его непосредственных теоретических интересов, Александр Евгеньевич нашел время подробно обсудить полученные мною результаты, одобрил их и представил для опубликования (Докл. АН СССР, 1941, № 6). Встречающиеся и до сих пор в геологической литературе положительные отклики на эту мою работу служат мне определенным оправданием своего, может быть, дерзкого обращения к А. Е. Ферсману за помощью.

Наступило трудное время. Великая Отечественная война. Мне пришлось тогда быть в Монголии. В Улан-Баторе я узнал о присуждении Александру Евгеньевичу Государственной премии за опубликованную в 1941 г. монографию о полезных ископаемых Кольского полуострова. Хотя эта монография относилась только к одной из многих областей деятельности Александра Евгеньевича, несомненно, учитывалось огромное значение и теоретических работ Александра Евгеньевича как выдающегося геохимика.

Скуными средствами телеграфного текста я попытался выразить в своем приветствии А. Е. Ферсману, что в этом признании его научных заслуг победила все-таки геохимия. Конечно, я не рассчитывал на какой-либо отклик с его стороны, ибо приветствий и поздравлений столь известному человеку и ученому должно было поступить великое множество. С тем большим удивлением и понятной радостью я нашел при возвращении в Москву изумительный ответ Александра Евгеньевича, который ценен не только для меня лично, но и для характеристики взглядов самого ученого: «Искренне благодарю за блестящее приветствие; его смысл глубже самих слов».

Этот ответ Александра Евгеньевича предельно ясно показывает, насколько он сам ценил свой вклад в развитие геохимии, что, к сожалению, не всегда понимали некоторые видные его современники.

В годы Великой Отечественной войны особенно выявилась необходимость развития в нашей стране производства так называемых редких металлов как важнейших материалов новейшей техники. Достаточно сказать, что в то время к редким металлам относился уран и другие не менее важные химические элементы. Правительством тогда же было принято соответствующее решение, предусматривающее создание специальной геологической организации для поисков и разведки месторождений этого ценного сырья. Для лучшего научного руководства такой организацией хотелось привлечь хорошего авторитетного ученого-геолога, специалиста в этой области, а большинство из них группировалось в то время вокруг А. Е. Ферсмана.

Осенью 1942 г. Александр Евгеньевич отдыхал в Узком. Мы долго прогуливались с ним по аллеям большого парка, покрытым густым ковром золотистых кленовых листьев, обсуждая одну за другой возможные кандидатуры. Я довольно хорошо знал тех, о ком мы говорили, но многие из них в характеристике А. Е. Ферсмана открывались значительно глубже, зачастую с неожиданно интересной стороны. Как тонкий психо-

лог он прекрасно знал и понимал тех, с кем вместе работал, их способности и возможности, не только с точки зрения специальных познаний, но и по человеческим качествам. И мне кажется, что именно это знание и понимание окружавших его и стремившихся к нему людей в сочетании с его благожелательностью и стремлением помочь им, наряду с его талантом вовлекать в круг разрабатываемых им идей и увлекать их за собой и оставили у знавших Александра Евгеньевича прекрасные о нем воспоминания.

Н. В. ТАГЕЕВА

А. Е. Ферсман в двадцатые-тридцатые годы (в Ленинграде)

Александр Евгеньевич Ферсман был не только минералогом и геохимиком, но, конечно, и географом. Географическая карта, в ее комплексном понимании, всегда была основой его исследований.

Сейчас уже редко вспоминается, что А. Е. Ферсман был первым и единственным ректором Географического института в Ленинграде — первого географического высшего учебного заведения в нашей стране, открытого в декабре 1918 г. и помещавшегося в «Новой Голландии» на Мойке.

Все преподаватели были полны горячим стремлением принести в этот только начинавший жить Институт географический дух преподавания и тем расширить рамки естественно-исторических дисциплин, подготавливая географов для предстоящего изучения производительных сил страны. Студенты Географического института в свою очередь отличались от слушателей других вузов; многие из них уже были специалистами в той или иной области и сюда пришли познакомиться с географическим методом изучения природы. Впоследствии многие из них стали выдающимися геологами, почвоведом, ботаниками, этнографами.

Географические интересы и проблемы были близки и дороги Александру Евгеньевичу, нередко обращаясь к аудитории географов на заседаниях Совета Института, на встречах с известными путешественниками, он вновь и вновь поднимал эти проблемы.

Память сохранила некоторые из таких встреч.

16 декабря 1923 г. Институт посетил знаменитый шведский путешественник Свен Гедин — открыватель и исследователь пустынь Центральной Азии, пути которого нередко пересекались с путями Пржевальского. Мы приветствуем его. Он рассказывает о своем последнем, только что завершнном путешествии.

В феврале 1926 г., когда Географический институт уже стал географическим факультетом ЛГУ, а А. Е. Ферсман — его первым деканом, на годовом акте Геофака Александр Евгеньевич красочно и увлекательно рассказывал о своей первой недавно закончившейся экспедиции в Каракумы, к серным буграм. Географы жадно слушают его и многие из них после этого мечтают о будущих далеких путешествиях.

Той же весной 1926 г. Геофак посещают участники экспедиции Руаля Амундсена на Северный полюс. В Ленинград они прибыли из Рима на построенном в Италии дирижабле «Norge». Капитан экспедиции — Умберто Нобиле; на борту «Норвегии» — известный полярный летчик норвежец Риссер Ларсен, полярный исследователь метеоролог швед Мальмгрен и другие. Геофак принимает в своих стенах этих отважных людей, и А. Е. Ферсман тепло и радостно приветствует их. Риссер Ларсен рассказывает о прошлогоднем их плене во льдах Арктики, когда Амундсен пытался достигнуть полюса на гидропланах.

В эти же дни А. Е. Ферсман и другие ученые встречаются с аэронавтами на объединенном торжественном заседании в большом конференц-зале Академии наук на набережной Невы (см. рисунок).

«Норвегия» покидает Ленинград 5 мая и держит курс на Шпицберген, где на ее борт поднимается Руаль Амундсен. 12 мая 1926 г. экспедиция открывает Северный полюс, впервые пролетев над ним и установив отсутствие там суши. Свой перелет через океан «Норвегия» кончает в Северной Аляске.

В 20—30-х годах у А. Е. Ферсмана в Ленинграде в Академии наук было два детища. Первым из них был Минералогический музей, ставший затем Минералогическим институтом, который помещался во дворе главного здания Академии наук, на Университетской набережной. Александр Евгеньевич был его директором, и около десяти лет его ученики занимались минералогией и геохимией столь любимых им Кольского полуострова и Южного Урала. Этот материал, а также вся гамма минералов и химических элементов Забайкалья и других районов питали тогда научную мысль А. Е. Ферсмана и рождали его большие геохимические обобщения.

Вторым его детищем был Геохимический институт на Тучковой набережной, организованный в 1929 г., где постепенно создавался коллектив геохимиков — учеников А. Е. Ферсмана и Д. И. Щербакова. В 1929—1933 гг. в Геохимическом институте, в только что оборудованных лабораториях изучалось хибинское сырье, ставились экспериментальные химические работы по технологии его использования, обрабатывались полевые экспедиционные сборы.

Александр Евгеньевич мечтал о новом обширном институте, о возможностях постановки в нем на основе передовых идей и методов всестороннего и гармоничного изучения минералов — их строения, состава парагенезиса, превращений и применения.

Осуществление этого началось в 1932 г., когда Минералогический и Геохимический институты слились в единый Ломоносовский институт Академии наук, директором которого являлся А. Е. Ферсман.

Но для действительного претворения в жизнь научных планов Александра Евгеньевича и фактического объединения минералогической и геохимической мысли необходим был единый институт и новое здание.

Как далекое прошлое вспоминается теперь замысел перестройки для Ломоносовского института старинного Гостиного двора (постройка 1753 г.), живописные аркады которого выходят на Менделеевскую линию и на Тифлисскую улицу на Васильевском острове, где теперь помещается Исторический факультет ЛГУ. Александр Евгеньевич принимал живейшее участие в перепланировке этого здания и почти ежедневно по до-



Большой конференц-зал Академии наук СССР, апрель 1926 года, Ленинград. Объединенное заседание Президиума Академии наук СССР с участниками экспедиции Руаля Амундсена на Северный полюс на дирижабле «Norge» («Норвегия»). Слева направо: 1 — П. М. Никифоров, физико-сейсмолог АН СССР; 2 — ?; 3 — известный полярный летчик, норвежец Р. Ларсен; 4 — В. А. Стеклов, академик-математик, вице-президент АН СССР; 5 — президент АН СССР, академик А. П. Карпинский; 6 — Умберто Нобиле — капитан дирижабля; 7 — ?; 8 — академик А. Е. Ферсман, член Международного общества Аэро-Арктика, участник Международного Конгресса по изучению Арктики; 9 — участник экспедиции (?).

роге из Минералогического института в Геохимический посещал уже начавшуюся стройку.

Мы постигали идеи молодой науки геохимии под влиянием лекций В. И. Вернадского, которые он читал в 1928 г. в Круглом зале библиотеки Минералогического музея, под влиянием обобщающих блестящих докладов А. Е. Ферсмана в Минералогическом кружке, председателем которого он был, под влиянием чтения насыщенных новым геохимическим содержанием статей норвежского геохимика В. М. Гольдшмидта.

У молодежи возникла тогда мысль о переводе с немецкого языка и издания работ В. М. Гольдшмидта. Александр Евгеньевич сразу с радостью поддержал эту мысль и стал руководителем и редактором перевода. В. М. Гольдшмидту было послано в Гёттинген письмо с просьбой разрешить перевод и прислать свой портрет. Ответ был положительный, и вскоре группа учеников Александра Евгеньевича принялась за работу. Он был требовательным редактором, и относился к этой работе с большим интересом.

Так, в 1933 г. у нас вышел под редакцией А. Е. Ферсмана первый сборник переводов по геохимии под заглавием: «Основные идеи геохимии», вып. 1, содержащий лучшие работы по геохимии и кристаллохимии В. М. Гольдшмидта. Его прочел тогда каждый геохимик.

Научные интересы А. Е. Ферсмана были исключительно широки и многогранны. Он останавливал свое внимание не только на основных проблемах, но и на «попутных», важных и интересных объектах. Изучение их часто приводило к новым, большим проблемам. Ярким примером может служить геохимическое изучение о-ва Челекена в Туркмении, намеченное Ферсманом и проведенное мною в 1929 г. Челекен — это остров (теперь полуостров), известный нефтью и озокеритом; здесь ныне добывается нефть с глубины нескольких километров. Челекен геологически так интересен и своеобразен, что геологи, минералоги, химики посещали и посещают его, пересекая Каспий, по пути из Европы в Азию, или наоборот. Некоторые из них оставили интересные описания этого замечательного острова, а геологи Геологического комитета В. В. Вебер и К. К. Калицкий посвятили Челекену несколько лет своих исследований и в 1911 г. дали классическое описание его геологического строения.

Не мог миновать этот остров и А. Е. Ферсман со своими спутниками, направляясь через Баку в Каракумы ранней весной 1929 г.

Александр Евгеньевич, занимавшийся главным образом минералами древних кристаллических массивов, столкнулся на этом небольшом клочке суши с удивительными тектоническими, минералогическими и геохимическими явлениями кайнозойской истории. Ему было ясно, что литогенез проходит здесь в условиях постоянного проявления тектонических сил и скрытого вулканизма.

Они порождают изливание по бесчисленным разломам и трещинам нефти и сопровождающих ее термальных вод и в конечном счете определяют происходящее почти на глазах у наблюдателя минералообразование на Челекене.

Александр Евгеньевич со своими спутниками несколько дней экскурсирует по острову и повсюду среди пустыни встречает редкостные природные образования.

В уединенном урочище Хораз, в восточной части острова они наблюдают группу горячих источников, конусы которых сложены бесчисленными миниатюрными скульптурными террасками-патеками из бурого лимонита. Прозрачная горячая вода, как по ступенькам, сбегает с них и далее отлагает белые массы солей. Александр Евгеньевич с огромным рюкзаком за спиной взбирается на самый высокий из этих конусов и отбивает бурые корки лимонита.

Небольшое круглое кратерное оз. Порсугель-Розовый, лежащее в кольце черной окисленной нефти, кипящее от подступающих из недр газов, имеет розовую окраску от населяющих его пурпурных микроорганизмов, потребляющих нефть.

Но самыми интересными в геохимическом отношении Александру Евгеньевичу представлялись минералы урочищ Урус и Мирза-Бек в западной части острова. Здесь под тонким песчаным налетом пустыни — скопления железистых минералов, образующих невысокие бугры — отложения когда-то бивших источников. Они окрашены гаммой тонов — от темно-синего, через голубой, до желтых, оранжевых и бурых. Это интереснейший комплекс эфемерных квасцов, купоросов, ярозитов, охр, гидроокис-

лов, соединений железа, образование которых по А. Е. Ферсману расшифровывается следующим образом.

Из глубоких пластов острова бессульфатными термальными водами выносятся железо и осаждается на поверхности в виде лимонита. Но там, где распространены мягкие, преимущественно неогеновые отложения, т. е. в западной части острова, вблизи от поверхности, в породах сохраняются, хотя и скудные, грунтовые воды, содержащие сульфат-ион. При взаимодействии этого иона грунтовых вод с железом горячих растворов в присутствии нефти, в зоне гипергенеза проходят все стадии окисления сульфидов железа — до образования гидроокислов и серной кислоты. Александр Евгеньевич и его спутники отмечают ее присутствие по почерневшей и прожженной бумаге, в которую завернуты образцы.

Коллекция минералов, собранных А. Е. Ферсманом на Челекене, поступает в Минералогический музей Академии наук СССР.

Вернувшись в Ленинград, Александр Евгеньевич на страницах журнала «Природа» описывает Челекен как оригинальнейший природный заповедник и высказывает свои соображения о его геохимии. Он считает необходимым провести в ближайшее время детальное геохимическое изучение острова с учетом его предварительных выводов. Исследование Челекена осуществляется с этого же года.

То, на что указывал А. Е. Ферсман в геохимии Челекена 45 лет назад, теперь переросло в ряд проблем теоретической и прикладной геохимии: проблему нефтяных вод, рудоносных терм, метасоматического минералообразования вулканических районов, рудного минералообразования в нефтеносных районах аридной зоны.

И. И. ШАФРАНОВСКИЙ

Два отзыва

Александра Евгеньевича Ферсмана

Прошло свыше четверти века со дня безвременной смерти Александра Евгеньевича Ферсмана. Несмотря на этот сравнительно большой срок, мы до сих пор все еще не можем свыкнуться с мыслью, что его нет с нами. При каждой счастливой минералогической или кристаллографической находке, при получении интересного научного результата, многие из нас невольно ловят себя на мысли: «Как было бы хорошо рассказать об этом Александру Евгеньевичу!». Мы и сейчас ощущаем его рядом, видим его активным участником сегодняшних событий, чувствуем его неизменный живой интерес ко всему новому, его глубокое понимание сущности дела.

Между тем время идет, и множество ценнейших документов, написанных или напечатанных на непрочной бумаге 20-х годов или военного времени, приходит в ветхость и разрушается или остается никому неизвестными. Исчезновение их будет тяжелой потерей для будущей истории советской науки. Поэтому считаю уместным и своевременным опубли-

ликовать текст двух сохранившихся у меня отзывов А. Е. Ферсмана, снабдив эту публикацию необходимыми пояснениями.

Первый отзыв имеет дату: 3 мая 1941 г. Незадолго до этого вышло в свет первое издание учебника «Кристаллография», написанного мной совместно с ныне покойным Г. М. Поповым (1905—1963). Экземпляр нашей книги мы послали А. Е. Ферсману. Вскоре пришло ответное письмо, в котором маститый академик, благодаря за присылку учебника, высказывал ряд интересных и ценных замечаний. Ниже приводится отрывок с этими замечаниями (начало и конец письма мной опущены).

«... Хотя я давно отошел от преподавания в высшей школе, тем не менее я с большим интересом просмотрел Вашу книгу и мне кажется, что с дидактической точки зрения она заслуживает большого внимания и отвечает насущнейшим потребностям нашей школы. Немножко хотелось бы видеть в ней больше вопросов о росте и образовании кристаллов, связанных с разными условиями, а также может быть некоторое введение или заключение по истории кристаллографии, ее огромном современном значении в минералогии, геохимии, технологии и металлургии. Как-то нужно подчеркнуть не только теоретическое, но и все растущее практическое значение кристаллов. Внимательно книгу я еще не успел прочесть, но все же хочу Вам отметить несколько своих замечаний. На стр. 15 в примечании слово «анизотропность» переведено «неравносвойственность». Думаю, что это неточно, так как в греческом корне «тропос» заложено понятие о направлении (вспомните слово тропинка). На стр. 201 хотелось бы более резкое различие провести между атомным и ионным радиусом. Поскольку слово «ионный» поставлено в кавычки, для непосвященного получается впечатление, что это понятие лишь уточняет слово «атомный», тогда как в действительности это совершенно разные величины, связанные с разными энергетическими состояниями атомов...»

Как видим, приведенные критические замечания А. Е. Ферсмана, несмотря на их четвертьвековую давность, полностью сохранили все свое значение и сейчас. Требование подчеркнуть огромное практическое значение кристаллов, совет обратить особое внимание на их рост и образование в разных условиях, — все эти высказывания звучат особенно актуально в наши дни. Их не могут не учитывать современные составители новейших курсов кристаллографии.

Второй отзыв А. Е. Ферсмана написан 29 августа 1944 г. Он относится к составленной мной программе по курсу геохимии. История этой программы сводится вкратце к следующему. В период 1942—1944 гг. Ленинградский университет находился в Саратове. За неимением более подходящего лектора, мне было поручено, наряду с проведением обычных для меня курсов кристаллографии, чтение лекций по геохимии. Эти лекции читались параллельно студентам Ленинградского и Саратовского университетов. Курс мой не отличался оригинальностью и отнюдь не составлял мою гордость. В основном он был скомпилирован по четырем томам «Геохимии» А. Е. Ферсмана, «Очеркам геохимии» В. И. Вернадского и «Геохимии» В. В. Щербины. В качестве кристаллографа я решил лишь несколько детализировать раздел кристаллохимии, в частности, введя в него параграф о 230 федоровских пространственных группах, 230 законах пространственного расположения атомов, ионов, молекул в кристаллических структурах... Каково же было мое смущение, когда

только что выбранный тогда в академики А. А. Полканов, выезжая из Саратова в Москву, потребовал от меня программу моих лекций с тем, чтобы показать ее В. И. Вернадскому и А. Е. Ферсману. Возвратясь из Москвы, А. А. Полканов вернул мне наспех написанную мной программу с карандашными замечаниями на полях В. И. Вернадского и А. Е. Ферсмана и отдельным отзывом Александра Евгеньевича. Как увидит читатель далее, этот отзыв в общем был весьма благожелателен, хотя и содержал существенные критические замечания. Более сурово отнесся к программе В. И. Вернадский, начертавший возле двух пунктов слово «фантазия». Несмотря на то, что текст моей программы, имеющей тридцатилетнюю давность, не представляет сейчас интереса, я все же вынужден привести его, так как на полях его находятся упомянутые замечания обоих основоположников геохимии, и развернутый отзыв А. Е. Ферсмана касается отдельных конкретных пунктов программы. Считаю, что и замечания, характерные для обоих ученых, и интереснейший отзыв Александра Евгеньевича представляют даже и сейчас существенную ценность для истории геохимии. Думаю, что читатель всецело согласится со мной, признав без всяких дополнительных комментариев, высокую ценность и исключительный интерес приведенного выше замечательного отзыва нашего выдающегося ученого. В заключение хотелось бы лишь отметить ту удивительно деликатную форму, в которой Александр Евгеньевич в обоих своих отзывах сформулировал свои критические замечания. Перечитывая их, мы снова чувствуем все обаяние их автора.

Текст Программы

Геохимия (50 часов)

I. Предмет Геохимии. История ее развития. Связь с другими науками. Практическое значение Геохимии.—2 часа.

II. Классификация атомов по их строению. Связь между строением атомов и химией земного шара.—4 часа.

III. Вопросы, связанные с первичным распределением атомов земного шара. Четыре группы элементов, характерные для различных оболочек земного шара. Кларки земной коры. Преобладающие в земной коре элементы. Закономерности, касающиеся наиболее распространенных элементов.—4 часа.

IV. Вопросы, связанные с вторичным распределением элементов в земной коре. Основы Кристаллохимии. Типы решеток по Бравэ и Федорову. 230 пространственных групп (230 законов пространственного расположения атомов в кристаллических структурах). Строение реальных кристаллических структур. Физико-химические типы кристаллических структур. Атомные и ионные радиусы. Координационные числа. Поляризация.

Закон Гольдшмидта. Плотнейшие упаковки и их роль в структурах. Структуры элементов. Структуры простейших соединений. Структуры силикатов. Последовательность выделения силикатов из магматического расплава и его объяснение. Энергия кристаллической решетки. Закон Капустинского. Учение Ферсмана об «эках» и «вэках». Морфотропия. Учение об изоморфизме. Образование изоморфных смесей в природе. Закономерные сростания (эпитаксия).—20 часов.

Замечания на полях
В. И. Вернадского
и А. Е. Ферсмана

Фантазия (В.И.В.)

Фантазия (В.И.В.)

Очень кратко дать
(В.И.В.)

Здесь — парагенезис
минералов и элемен-
тов
(А.Е.Ф.)

V. Вопросы, связанные с миграцией элементов. Физико-химические законы в Геохимии (Принцип Ле Шателье, «Закон переходных ступеней» Оствальда, правило фаз и др.). Минералы-антагонисты. Запрещенные комбинации. Формы миграционного состояния элементов. Элементы, мигрирующие совместно. Миграция элементов при эндогенных, экзогенных, метаморфических процессах.— 10 часов.

VI. Геохимия гипергенных процессов.—4 часа.

VII. Геохимия кремния.—2 часа.

VIII. Геохимия углерода.—2 часа.

IX. Геохимия железа (семейства железа — А.Е.Ф.) — 2 часа.

X. Геохимия золота.— 2 часа.

XI. Геохимия радиоактивных элементов.—2 часа.

XII. Основные понятия региональной Геохимии. 2 часа.

XIII. Геохимические пояса, щиты, поля, зоны, узлы в Советском Союзе.—2 часа.

XIV. Заключение.—2 часа.

Парагенезис элементов и минералов — в IV раздел (А.Е.Ф.)

Очень важно. Масштаб увеличить (А.Е.Ф.)

Далее следует полный текст отзыва Александра Евгеньевича Ферсмана с замечаниями по отдельным пунктам приведенной выше программы.— «Академику А. А. Полканову.

Геохимия

I. Программа не плохая, но мало развернута, надо дополнить.

II. Нужно добавить — «связь между строением атомов и Менделеевской системой».

III. Вместо слов «четыре группы» лучше — просто *группы*.

IV. По моему следует несколько переработать эту часть. Намечается как бы целая глава Кристаллохимии, между тем надо, конечно, дать более короткий текст. Пространственные решетки должны быть уже изучены в кристаллографии, их больше не нужно повторять.

IV. Думаю, что IV главу лучше разделить и выделить как самостоятельную главу: выделение минералов и элементов.

V. (В этих случаях она уже будет VI-й) частично перейдет в IV. В общем это не плохо. Это будут отдельные главы, посвященные вопросам *сочетания* элементов и минералов, т. е. проблема парагенезиса минералов огромного значения.

VI. Гипергенный процесс конечно надо развить, его роль настолько велика, что нужно может быть разделить и выделить вопросы биогенных процессов

IX. Лучше писать не о *геохимии железа*, а о *геохимии семейства железа*, во всей глубине этого вопроса.

X. Геохимия золота. Следует ли выделять такую главу? Геохимия золота далеко еще недостаточно изучена. Лучше было бы посвятить отдельную главу группе металлов: цинк, свинец, медь и т. д., которые обладают особыми геохимическими свойствами и представляют огромный интерес.

В общем считаю программу не плохой, но надо ее развернуть и доработать с тем, чтобы Геохимия по существу была бы тесно связана с проблемами Химии в целом.

Привет —

Академик А. Ферсман
29/VIII — 44 г.»

Здесь был приведен текст только двух сохранившихся у меня отзывов А. Е. Ферсмана. Сколько аналогичных, а быть может и гораздо более значительных материалов хранится у многих советских минералогов, геохимиков, геологов и др.!— Нельзя не высказать пожелания о скорейшем сборе всех этих материалов и дальнейшей планомерной публикации наиболее важных документов, связанных с незабвенным именем Александра Евгеньевича Ферсмана.

И. В. ШМАНЕНКОВ

Роль академика А. Е. Ферсмана в организации и развитии ВИМСа¹

ВИМС развивался на базе небольшого научного учреждения — Петрографического института «ЛИТОГЕА», организованного в 1910 г. В. В. Аршиновым, преподавателем Московского университета, ассистентом В. И. Вернадского. Средства на организацию института дал ему отец, купец первой гильдии В. Ф. Аршинов. Сразу же после Октябрьской революции В. В. и В. Ф. Аршиновы обратились к В. И. Ленину с просьбой о передаче института государству. Этот вопрос рассматривался 1 октября 1918 г. на заседании Совнаркома под председательством В. И. Ленина. 22 октября 1918 г. был опубликован за подписью В. И. Ленина специальный декрет о национализации «ЛИТОГЕА» и передаче его в ведение НТУ ВСНХ.

До 1923 г. директором института был В. В. Аршинов, а затем в связи с реорганизацией «ЛИТОГЕА» в Институт прикладной минералогии и металлургии к руководству пришло правление во главе с видным минералогом, профессором Горной академии, членом партии с 1904 г. Н. М. Федоровским. В состав правления вошли выдающиеся ученые: геолог В. А. Обручев, минералог В. Я. Самойлов, петрограф В. В. Аршинов, химик и металлург Э. В. Брицке. Кандидатом в члены правления был талантливый молодой минералог А. А. Мамуровский, возглавивший административно-организационную работу по научной части.

Правление провело большую работу по расширению научно-исследовательских и опытно-промышленных работ института в Москве и в организованных отделениях его в Ленинграде, Свердловске, Киеве, Тбилиси, Самаре, Ереване, Новосибирске. В соответствии с ростом промышленности и ее требований к науке из Института выделились ячейки, на базе которых создавались отраслевые научно-исследовательские организации. Институт передавал им соответствующие их профилю сырьевые объекты исследований, вовлекая в сферу своей деятельности новые проблемы, в связи с чем изменялись последовательно наименования института: Институт прикладной минералогии и цветной металлургии, Институт прикладной минералогии, Институт геологии и минералогии и, наконец, с 1934 г. Всесоюзный институт минерального сырья, наименование наиболее соответствующее профилю его работ.

А. Е. Ферсман с времен «ЛИТОГЕА» и до последних дней жизни принимал активное участие в работах института. Одной из причин этого был его большой интерес к комплексному методу работы института, обеспечивающему быстрое и эффективное решение важных неотложных народнохозяйственных задач использования земных недр для социалистического строительства.

Этот метод А. Е. Ферсман высоко ценил, пропагандировал и наиболее ясно выразил это в своем предисловии к книге Н. М. Федоровско-

¹ Текст доклада на 12 научном чтении имени академика А. Е. Ферсмана, Москва, 7 декабря 1971 г.

го «Экономическая минералогия СССР», в которой отмечал, что «экономическая минералогия Союза вырастает как логическое развитие идей, поставленных Н. М. Федоровским при организации им Института прикладной минералогии, в котором изучение и использование минералов сливалось в единую задачу, тесно связанную в единый логический и технологический комплекс — геологию, минералогию, геохимию, химию и технологию». Вот главным образом почему, как справедливо отмечает академик С. И. Вольфович в своей статье, А. Е. Ферсман часто посещал Институт прикладной минералогии, к работе которого был неравнодушен [1]. Немаловажную роль играла также принадлежность Н. М. Федоровского и В. В. Аршинова к одной с А. Е. Ферсманом школе В. И. Вернадского, личная симпатия к ним и к Э. В. Брицке, крупнейшему ученому-технологу, с самого начала принимавшему активное участие в разработке технологии кольских апатитов.

В 1943 г. исполнилось 25 лет со дня подписания В. И. Лениным декрета о национализации «ЛИТОГЕА». Это был тяжелый военный год, и конечно, было не до юбилеев. Тем не менее Советское Правительство в ознаменование этой даты выделило средства для восстановления здания ВИМСа и на премирование сотрудников и разрешило Институту принимать кандидатские и докторские диссертации по геолого-минералогическим и техническим наукам. Приказом Комитета по делам геологии при Совете народных комиссаров СССР были отмечены заслуги ВИМСа в создании минерально-сырьевой базы и организации новых отраслей горнорудной промышленности. Была объявлена благодарность коллективу, а наиболее отличившиеся сотрудники и ученые других учреждений, способствовавшие работе ВИМС, награждались похвальными листами, высшей в то время наградой Комитета по делам геологии. Слова приказа: «Объявить благодарность и наградить похвальным листом за активное участие в организации института А. Е. Ферсмана — действительного члена Академии наук СССР», — были встречены присутствующими на торжественном заседании продолжительными аплодисментами.

Одной из крупных работ ВИМСа, которой непосредственно руководил А. Е. Ферсман, являлся цикл исследований по драгоценным и декоративным камням.

В 1923 г. по инициативе Н. М. Федоровского и А. Е. Ферсмана было организовано Государственное объединение «Русские самоцветы» с передачей ему Екатеринбургской гранильни и уральских копей цветных камней, а в Институте была создана группа сотрудников для изучения и разработки рациональных методов обработки камней.

В статье 1924 г. «Задачи в области обработки цветного и драгоценного камня» [14] А. Е. Ферсман выдвинул ряд задач по гранильному и шлифовальному делу, научной основой решения которых считал необходимость учета кристаллографических элементов и умение их находить, а также использование различных свойств минералов: истираемость, хрупкость (вязкость), сопротивление раздавливанию, кислотоупорность, тепло- и электропроводность, отношение к быстрому нагреванию и воздействию излучения света, рентгеновских и радиовых лучей и пр. При постановке этих работ большое влияние оказывали выдающиеся ранние теоретические и обобщающие работы А. Е. Ферсмана, изложенные в книгах «Кристаллография алмаза» [19], «Драгоценные и цветные камни России», т. I [13] и «Самоцветы России» [22].

Следует отметить, что некоторые вопросы, поставленные А. Е. Ферсманом почти 50 лет тому назад, как, например, применение различного облучения (вплоть до радиового) для изменения свойств минералов, являются и сегодня предметом проблемных исследований в минералогии и технологии. Работы, проведенные под руководством А. Е. Ферсмана, высоко ценились объединением «Русские самоцветы», так как внедрение их результатов повышало технический уровень и рентабельность производства.

А. Е. Ферсман принимал деятельное участие в работах по созданию сырьевой базы и организации промышленности каолина, абразивов, талька, асбеста, графита, слюды и других неметаллов, которыми руководил Н. М. Федоровский. Занимаясь этой проблемой, Н. М. Федоровский и А. Е. Ферсман проявляли себя не только как ученые-минералоги широкого профиля, но и как неутомимые энтузиасты-организаторы науки и промышленности.

Добившись создания при ВСНХ СССР объединения «Минералруд», Н. М. Федоровский и А. Е. Ферсман выступили в 1930 г. на II пленуме Комитета по химизации народного хозяйства при СНК СССР с совместным докладом: «Неметаллические ископаемые» [2, 7]. Рассматривая план развития промышленности неметаллических ископаемых в первой пятилетке, авторы отмечали, что он предусматривает шестикратное увеличение добычи неметаллического сырья по сравнению с трех-четырёхкратным ростом горной промышленности по другим видам полезных ископаемых. В связи с этим они выдвигали для спешного разрешения ряд практических вопросов, из которых выделяют как наиболее важные: а) увеличение капитальных вложений на добычу и обогащение неметаллических ископаемых; б) выявление качественных особенностей сырья наших нерудных месторождений; в) усиление химизирующего подхода при проработке технологии неметаллических ископаемых.

Обширные комплексные исследования ВИМСа привели к созданию достаточно хорошей сырьевой базы неметаллов, позволили организовать новые отрасли промышленности и прекратить импорт. В этих работах большое значение имели теоретические и экспериментальные работы А. Е. Ферсмана, изложенные им главным образом в известных монографиях: «Исследования в области магнезиальных силикатов» [15], «Пегматиты, их научное и практическое значение» [20].

Большую роль сыграл А. Е. Ферсман в развитии редкометалльной промышленности. Он принимал участие в 1925 г. в организации в ВИМСе Н. М. Федоровским первой в СССР специализированной лаборатории по редким металлам. Им удалось привлечь в качестве руководителя лаборатории умную и энергичную В. И. Глебову, в качестве сотрудника — И. Я. Башилова, организатора первого в России производства радия, и многих молодых талантливых специалистов, из числа которых можно назвать ныне здравствующих академиков И. П. Алимарина и В. И. Спицина и членов-корреспондентов АН СССР К. А. Большакова и Д. М. Чижикова, заслуженного деятеля наук профессора А. Н. Крестовникова.

В лаборатории развернулись работы по бериллию, титану, ванадию, рению и другим важным для новой техники металлам. Были разработаны технологические схемы и методы аналитического контроля, внедрение которых явилось основанием для создания новых отраслей редкометалльной промышленности. В этой же лаборатории зародился хлорный метод

извлечения редких металлов. Большую роль сыграли геохимические работы А. Е. Ферсмана [9—12], в которых подводилась научная база для выявления и изучения месторождений и технологии редких элементов. Н. М. Федоровскому, А. Е. Ферсману и В. И. Глебовой удалось организовать в 1925 г. в стенах ВИМСа первое всесоюзное научно-техническое совещание по редким элементам, а в 1930 г. добиться организации в системе ВСНХ СССР объединения редкометалльной промышленности «Союзредмет», затем реорганизованного в «Главредмет».

Много внимания уделял А. Е. Ферсман тематическим годовым и пятилетним планам ВИМСа. Проекты планов всегда предварительно направлялись ему на апробацию, что позволяло вносить конкретные предложения по их улучшению, а затем активно участвовать при их обсуждении на Ученом Совете.

Интересными и яркими были его отзывы на работы сотрудников института, особенно молодых, которых он как правило, поддерживал. В качестве примера, можно указать на его отзыв на работу М. Н. Альтгаузе на «Канское месторождение мусковита» (1935 г.). Впоследствии эта работа была напечатана, и А. Е. Ферсман неоднократно ссыался на нее в своей монографии «Пегматиты» [21, стр. 87, 170, 538, 543].

Особенно ценил Александр Евгеньевич работы ВИМСа по комплексному использованию полезных ископаемых. В своем докладе в 1932 г. на конференции Госплана СССР по развитию производительных сил во второй пятилетке он подробно остановился на хорошо известных ему работах по кристаллохимии А. Ф. Капустинского и по комплексному использованию медноколчеданных (медь, железо, сера, теллур, селен и др.) и титаномагнетитовых (железо, титан и ванадий) руд Урала, считая, что это направление работ есть линия геохимика, не допускающего расточения природных богатств ради извлечения только одного, хотя бы и ценного продукта. Он говорил, что хорошим примером технологического комбинирования является заканчиваемый ныне цикл интереснейших работ Института прикладной минералогии над титаномагнетитами Урала [18].

Александр Евгеньевич высоко ценил издававшийся ВИМСом журнал «Минеральное сырье». Он отмечал его роль в налаживании в стране горного хозяйства, освещении достояний зарубежной науки и практики, внедрении новых технических методов. По его словам, журнал за десятилетнее свое существование занял определенное место в научно-технической литературе, он являлся боевым органом, выдвинувшим значение и роль минерального сырья. В журнале А. Е. Ферсман публиковал свои работы, главным образом имевшие научное обоснование практических актуальных вопросов. К ним можно отнести статьи: «Классификация минерального сырья» [17] «К географии минерального сырья в СССР» [16] и др.

А. Е. Ферсман всегда приходил на помощь ВИМСу, когда Институт попадал в затруднительное положение. Так, например, в конце 20-х и в начале 30-х годов ВИМС критиковался за увлечение практическими задачами, якобы в ущерб научным исследованиям. В связи с этим в 1934 г. было организовано в АН СССР обсуждение деятельности Института. А. Е. Ферсман блестяще обобщил научные достижения Института и сделал весной 1935 г. доклад на эту тему на собрании ВИМСа, посвященному приказу Наркома тяжелой промышленности С. Орджоникидзе о деятельности ВИМСа за 10 лет со дня перестройки работ. На этом собрании

были также заслушаны доклады руководителя Главного геолого-разведочного управления Наркомтяжпрома академика И. М. Губкина и директора члена-корреспондента АН СССР Н. М. Федоровского о дальнейших задачах Института в связи с указаниями товарища С. Орджоникидзе. Все три доклада согласованно открывали новые перспективы работы ВИМСа.

А. Е. Ферсмана в ВИМСе искренне любили и уважали. Н. М. Федоровский в своей книге «Апатиты» [6] называет А. Е. Ферсмана «нашим талантливейшим минералогом», «энтузиастом Хибин». Можно сослаться еще на воспоминания Д. П. Сердюченко [5].

Теплые и хорошие отношения были между А. Е. Ферсманом и В. В. Аршиновым. В своих неопубликованных воспоминаниях: «В. В. Вернадский и А. Е. Ферсман в минералогическом кабинете Московского университета (1900—1910 гг.)» В. В. Аршинов характеризует Александра Евгеньевича как выдающегося ученого и, заканчивает следующими словами: «Заслуга Владимира Ивановича и Александра Евгеньевича перед русским народом заключается в том, что данные им природой способности они большой своей работой полностью использовали для развития русской науки. Если за таланты, которыми их одарила природа, мы должны быть благодарны природе, то за работу по выявлению этих талантов мы должны быть благодарны им самим».

В заключение приведу некоторые личные воспоминания. Впервые я был представлен А. Е. Ферсману моим учителем Э. В. Брицке в 1927 г. В то время я был студентом МВТУ и готовил дипломную работу по таким вопросам, как влияние щелочей на шлакообразование в доменном процессе и проектирование завода по производству фосфора из колесных апатитов электровозгонкой. Александр Евгеньевич живо заинтересовался этими вопросами, очень внимательно слушал меня, давал по ходу беседы советы, тактично проэкзаменовал по вещественному составу апатитов и на прощание сказал: «Это очень, очень интересно. Держите меня в курсе дела». Многим известно, какое могучее, плодотворное влияние оказывали такие ферсмановские напутствия, всегда сопровождаемые одобряющей улыбкой, вселяющие веру в неизбежный успех. По рекомендации Э. В. Брицке и А. Е. Ферсмана чертежи и расчеты фосфорной электропечи я передал проектной части треста «Апатитстрой». Я, конечно, был счастлив этим фактом, но как же я был удивлен, когда вдобавок еще получил гонорар. У меня сложилось впечатление, что Александр Евгеньевич очень заботился, чтобы труд сотрудников оплачивался.

Мне приходилось слушать доклады А. Е. Ферсмана в таких больших аудиториях, как Колонный зал Дома Союзов или помещение кино «Ударник», и всегда они на всех производили потрясающее впечатление. Яркие новые мысли и блестящая их подача возбуждали у слушателей прилив творческой энергии.

Так, вспоминая, какое большое впечатление произвели заключительные слова доклада А. Е. Ферсмана по комплексному использованию полезных ископаемых: «Я призываю к этим новым формам нашего горного хозяйства, в которых геолог должен быть геохимиком, геохимик — технологом, технолог — экономистом, а хозяйственник, опираясь на всех них вместе, тем общественником, который ставит новое социалистическое хозяйство на основе комбинирования». Почти 40 лет спустя я снова услышал эти слова, которыми, цитируя А. Е. Ферсмана, заканчивал свой доклад

на конференции по комплексному использованию сырья председатель ныне возрожденного КЕПСА АН СССР академик Н. В. Мельников. За последние 25 лет ВИМС как один из головных институтов Министерства геологии СССР продолжает углублять и расширять комплексный метод изучения полезных ископаемых и их комплексное использование не только у себя, но главным образом привлекая к этому созданную при его помощи в геологической службе разветвленную сеть комплексных минерально-сырьевого профиля научно-исследовательских институтов и комплексных центральных лабораторий при производственных геологических организациях. Есть определенные успехи в разработке и внедрении новых методов, приборов и машин для выявления, изучения и освоения новых месторождений полезных ископаемых в СССР и других социалистических странах, а также в развивающихся странах.

Выявляемые в настоящее время месторождения обычно являются сложными комплексными и для их освоения в условиях современных требований экономики и санитарной службы необходимы принципиально новые технологические методы.

Комплексное использование полезных ископаемых теперь получает не только экономическое, но и социальное значение, имея в виду охрану труда, охрану природы от загрязнения воздушного бассейна, почвы и водоемов.

В ближайшее время должна получить большое развитие технология, основанная на применении главным образом так называемых «сухих» методов — оптических, ядерно-физических и других физических методов обогащения, основанных на обработке минералов всякого рода облучением, ультразвуковыми, электрическими и магнитными воздействиями, бездутьевых пирометаллургических методов вскрытия и переработки руд и концентратов с широким применением возгоночных процессов в вакууме, электротермии и т. п.

Это вызывает необходимость более глубокого изучения поведения минералов в названных процессах, определения форм содержания элементов в продуктах переработки руд и концентратов.

Мы, технологи, сейчас обеспокоены тем, что значительная часть наших геологов занята составлением так называемых прогнозных карт, по которым реальные месторождения будут выявлены в далекой перспективе. Минералоги же со своей стороны увлекались решением вопросов минералообразования и все дальше и дальше удаляются от той прикладной минералогии, которую наряду с генетической развивали Н. М. Федоровский и А. Е. Ферсман. Этот разрыв между современными направлениями минералогических и технологических исследований наблюдается и в других институтах. И не случайно, что ГЕОХИ и МГУ на Ленинских горах ближе к нам чем, скажем, в отличие от ферсмановских времен, соседние институты в Старомонетном и Пыжевском переулках. Мы часто обращаемся к академикам А. П. Виноградову, Н. В. Белову, И. П. Алимаринову и к нашему удовлетворению всегда находим полное взаимопонимание и помощь в решении возникающих вопросов в условиях возрастающей сложности современной минералогии, кристаллохимии, кристаллофизики и аналитической химии.

Находим мы поддержку и у академика А. В. Сидоренко, который так эффективно сумел приумножить наследие А. Е. Ферсмана на кольской земле. Я имею в виду прежде всего Кольский филиал АН СССР в г. Апа-

титы с новыми корпусами институтов, обеспечивающих комплексное изучение природных богатств. Здания институтов и жилых домов филиала выходят на проспект Ленина и улицу Ферсмана, напоминая об успешной деятельности А. Е. Ферсмана на заре советской власти по реализации указаний В. И. Ленина о приближении работ Академии наук к задачам народного хозяйства молодой республики.

Проходят годы, в неимоверно быстром темпе свершаются события научно-технической революции, к сожалению, уходят от нас преждевременно люди необычной судьбы, но оставляемые ими глубокие мысли и волнующие заветы блистательно открывают близкие и далекие перспективы развития науки и промышленности.

К таким людям относятся А. Е. Ферсман и его соратники и друзья, высоко ценившие его научный подвиг — Н. М. Федоровский, В. В. Арпинов и Э. В. Брицке. Их оптимизм и непоколебимая вера в науку как непосредственную производительную силу общества служат для нас примером и должны вдохновлять новые поколения специалистов в области минерального сырья на дерзания и высокое творчество.

Литература

1. *Вольфович С. И.* Идеи А. Е. Ферсмана в области химической технологии.— В сб. «Вопросы геохимии и минералогии». Изд-во АН СССР, 1956.
2. Второй пленум Комитета по химизации. Постановление по докладу Н. М. Федоровского и А. Е. Ферсмана «Неметаллические полезные ископаемые».— Мин. сырье, 1930, № 7—8, с. 1153—1155.
3. *Комаров В. Л.* Второе менделеевское чтение. Вступительное слово.— Вестник АН СССР, 1937, № 4—5, с. 25—27.
4. *Парамонов И. В.* На асбесте и угле.— В сб. «Александр Евгеньевич Ферсман. Жизнь и деятельность». Изд-во «Наука», 1965.
5. *Сердюченко Д. П.* На отдыхе.— В сб. «Александр Евгеньевич Ферсман. Жизнь и деятельность». Изд-во «Наука», 1965.
6. *Федоровский Н. М.* Апатиты. Главная редакция научно-популярной и юношеской литературы. ОНТИ, 1936.
7. *Федоровский Н. М.* Ферсман А. Е. Неметаллические ископаемые.— Химия и хозяйство, 1930, № 6, с. 16—23.
8. *Федоровский Н. М.* Экономическая минералогия СССР, вып. 1. Изд-во АН СССР, 1933.
9. *Ферсман А. Е.* Геохимия. Т. 1. Л., Гос. научно-техн. изд-во хим. лит-ры, 1933. 328 стр.; 1934, 324 стр.
10. *Ферсман А. Е.* Геохимия. Т. 2. Л., ОНТИ Химтеорет, 1934, 354 стр.
11. *Ферсман А. Е.* Геохимия. Т. 3. Л., Гос. научно-техн. изд-во хим. лит-ры, 1937, 503 стр.
12. *Ферсман А. Е.* Геохимия. Т. 4. Л., Гос. научно-технич. изд-во хим. лит-ры, 1939, 355 стр.
13. *Ферсман А. Е.* Драгоценные и цветные камни России. Т. 1. Пг. 4-я гос. типография, 1920, 420 стр.
14. *Ферсман А. Е.* Задачи в области обработки цветного и драгоценного камня.— Труды Ин-та прикладн. мин. и петрогр., 1924, вып. 10.
15. *Ферсман А. Е.* Исследования в области магнизиальных силикатов. СПб., Академия наук, 1913, 430 стр. (Записки АН ОФМН, 8 серия, 32, № 2).
16. *Ферсман А. Е.* К географии минерального сырья в СССР.— Мин. сырье, 1929, № 8, с. 886—889.
17. *Ферсман А. Е.* Классификация минерального сырья.— Мин. сырье, 1929, № 7, с. 791—793.
18. *Ферсман А. Е.* Комплексное использование ископаемого сырья. Л., Изд-во АН СССР, 1932.
19. *Ферсман А. Е.* Кристаллография алмаза. Л., Изд-во АН СССР, 1955, 566 стр.

20. Ферсман А. Е. Пегматиты. Их научное и практическое значение, т. 1. Гранитные пегматиты. Л., Изд-во АН СССР, 1931, 646 стр.
21. Ферсман А. Е. Пегматиты. Т. 1. Гранитные пегматиты. Изд. 3, М.—Л., Изд-во АН СССР, 1940.
22. Ферсман А. Е. Самоцветы России. Т. 1. Цикл лекций, читанных в Комиссии производительных сил Российской Академии наук в 1919 г.—РАН, 1921, 214 стр.

В. В. ЩЕРБИНА

Ученый-романтик и практик-организатор

С именем Александра Евгеньевича Ферсмана ассоциируется целая эпоха в развитии советской геохимии и минералогии, эпоха крупнейших научных достижений, открытий и освоений промышленных месторождений разных видов минерального сырья. Среди них были месторождения важных и дефицитных ископаемых, которые были особенно необходимы в годы первых пятилеток, когда молодая Советская республика стала на путь индустриального развития и освоения собственных недр.

В лице Александра Евгеньевича гармонично и парадоксально сочетались ученый-романтик, увлеченный красотой минералов и выявлением сложных геохимических процессов, и практик-организатор, сумевший добиться создания ряда горнорудных предприятий в трудных условиях первых пятилеток, когда шло наступление на обширнейшем фронте хозяйственного строительства.

Минералы и руды Хибинских и Ловозерских тундр, медно-никелевые руды Монче-Тундры, каракумская сера и уральские изумруды, комплекс месторождений Средней Азии и вольфрамиты Забайкалья были теми обширными объектами, которым Александр Евгеньевич уделял много внимания и времени. Но больше и дороже всего был ему Кольский полуостров, щедро вознаградивший страну сырьем, за тяжелый труд, который был затрачен на его освоение. Александр Евгеньевич сумел увлечь апатитовой проблемой Сергея Мироновича Кирова и добиться его помощи, которая сыграла исключительную роль в поднятии Хибин, а затем и всего Мурманского края.

По инициативе А. Е. Ферсмана в 1930 г. в Хибинах была создана научная станция «Тиетта», на базе которой возник ныне существующий Кольский филиал Академии наук СССР, а в 1932 г. в г. Свердловске был открыт Уральский филиал АН СССР, где стали заниматься многочисленными и разнообразными минерально-сырьевыми проблемами, которые силами уральских геологов уже к 1939 г. были в значительной степени решены.

В 1933 г. проектируется крупное научно-исследовательское учреждение на Южном Урале в природном минералогическом музее — Ильменском заповеднике, ставшим заповедником еще в 1920 г. по декрету В. И. Ленина. Несмотря на разбросанность этих научных учреждений по огромной территории Александр Евгеньевич достаточно часто их посещал. Это требовало от него неиссякаемой энергии, инициативы, воли и еще одного ценнейшего качества — умения ценить время, быстро решать большие и трудные вопросы. Мне неоднократно приходилось наблюдать,



А. Е. ФЕРСМАН и В. Н. КРЫЖАНОВСКИЙ.
Ленинград, 1928 г.

как, активно ведя ответственное заседание, Александр Евгеньевич что-то быстро записывал на листке бумаги — чаще всего это были научные идеи, воплощавшиеся в дальнейшем в научную статью или тезисы будущего доклада. Во время своих поездок он железнодорожные купе превращал в рабочий кабинет — читал научную литературу, писал научные статьи, вел беседы и дискуссии.

А. Е. Ферсман работал с вдохновением и увлечением. Помню один из осенних дней в Ленинграде, когда в своем кабинете при Минералогическом музее он собрал тогда еще очень многочисленных (10—15 человек) своих сотрудников, чтобы от каждого из них получить краткую информацию о последних результатах работы. Он внимательно слушал, часто перебивая речь выступавших встречными вопросами, и, видимо, был доволен теми небольшими успехами, которых удалось достичь за небольшой отрезок времени после предыдущей встречи. В заключение он высказал некоторые пожелания на будущее, и пока говорил — в голову приходили новые планы, новые идеи, он оживился, увлеченно, ярко и зажи-

гательно рисовал собравшимся программу геохимических исследований будущего, рельефно выдвигал научное значение отдельных вопросов, делая в то же время научный анализ их значимости, вдохновляя присутствовавших, которые слушали как зачарованные, на решение поставленных задач, возбуждая горячее желание скорее приняться за работу.

Умение увлечь своих коллег решением научных задач, пробудить интерес и любовь к научной работе, даже иногда к трудному и «неблагодарному» исследованию было одной из ценнейших особенностей Александра Евгеньевича.

В конце короткого заполярного лета в помещении Хибинской научной станции Александр Евгеньевич собирал всех геологов и минералогов, чтобы прослушать информации о результатах их летних исследований, многие приходили с обильными научными результатами, но чувствовалось утомление от напряженной экспедиционной геологической работы в тяжелых условиях Заполярья. В результате того живого интереса, который проявлял А. Е. Ферсман к каждому докладу и после его восторженных замечаний: «Это же необычайно интересно! Это совершенно новое в наших знаниях! И знаете, если вы еще дадите углубленный геохимический анализ этим наблюдениям, — это будет ценнейшая научная работа!», — исчезало, как рукой снималось чувство утомления, возникало горячее желание скорее приняться за дальнейшую работу, за разрешение поставленных задач, открыть еще одну новую непрочитанную страницу в науке. Оживленные, с чувством удовлетворения и вдохновленные ферсмановскими словами расходились собравшиеся для того, чтобы с новыми силами и рвением реализовать оригинальные научные идеи, высказанные учителем.

А. Е. Ферсмана знали и любили не только люди науки; многие уральские «горщики» — любители-старатели, охотники за цветными полудрагоценными и драгоценными камнями, бородатые старики, всю свою жизнь посвятившие камню, малограмотные люди, прекрасно знающие «свою» минералогию со своими «рабочими» названиями для многих минералов и эмпирически изучавшие многие парагенетические ассоциации не только в жилах, но и в россыпях, которые им были более доступны. Они хорошо знали, что «золотишко» лучше накапливается там, где ручей изменяет скорость своего течения, или у выпуклой стороны россыпи на повороте реки. Не только золото, но и аквамарины, аметисты, полупрозрачные гранаты привлекали их внимание. И А. Е. Ферсман любил этих людей, подолгу беседовал с ними, давая добрые советы и восторгаясь их находками. В свою очередь эти простые люди платили А. Е. Ферсману за его отзывчивость, внимание к ним и к их тяжелой работе большой любовью. Спустя много лет после смерти А. Е. Ферсмана, я встречал на Урале стариков-горщиков, которые с необычайным теплом вспоминали Александра Евгеньевича, его чуткое отношение к ним, к тем интересам, которые объединяли выдающегося академика и малограмотных бородатых энтузиастов-охотников за камнями.

В феврале 1941 г. Грузинская ССР торжественно отмечала свое двадцатилетие. К этой дате было приурочено преобразование Грузинского филиала АН СССР в самостоятельную Академию наук Грузинской ССР. Этому знаменательному событию была посвящена большая научная сессия и меня пригласили для участия в качестве докладчика по геохимии. Я располагал большим числом интересных анализов, но «скелет»

доклада не получался, мне не удавалось наметить ту стержневую идею, которая бы объединила достаточно разрозненный цифровой аналитический и минералогический материал. Я обратился за помощью к Александру Евгеньевичу, он, внимательно ознакомившись с материалом и немного подумав, сказал: «Эволюция геохимического процесса эндогенных образований Грузии». Это было блестящее решение вопроса, разношерстный материал стал на свои места, и доклад на научной сессии в Тбилиси оказался актуальным.

Прошли годы, не стало Александра Евгеньевича, но его образ, его теплое отзывчивое отношение к людям, его блестящий талант и зажигаемые яркие доклады, его живость и веселые шуточные замечания, его обаяние навсегда останутся в памяти.

Огромное научное наследство А. Е. Ферсмана не потеряло своего значения, его «Пегматиты», «Драгоценные и цветные камни», «Цеоли-ты», «Магнезиальные гидросиликаты» и многие другие работы еще долгие годы сохранят свою научную и практическую ценность.

С. А. ЩУКАРЕВ

Поэт, труженик, борец и мыслитель

Первые восторженные слухи, дошедшие до меня о замечательном курсе геохимии, читавшемся в нашем Ленинградском университете А. Е. Ферсманом, относятся к началу 20-х годов. И несмотря на то, что у меня не было возможности послушать эти лекции, я как-то сразу представил себе всю оригинальную новизну этого направления, особенно важного и интересного не только для понимания эволюции земной коры и для практических целей поисков полезных ископаемых.

К этому времени уже было ясно, что в основе учения о Системе лежит Закон Мозли и набор электронных конфигураций нормальных атомов элементов. Все свойства последних, а также химически чистых соединений и более сложных материальных образований являются производными от характеристик этих конфигураций и от их изменчивости, зависящей, в частности, весьма серьезно от ядерной структуры молекул и конденсированных фаз, от их электронного строения и корреляции, электронных движений, от термодинамических параметров. Зависимости эти, однако, весьма сложны для математического предвычисления и включают в себя не только общие законы квантовой механики. Ряд недостаточно изученных, даже зачастую и не осознанных еще параметров, определяемых местонахождением атомов-партнеров в Системе элементов, имеют решающее значение.

Речь идет не только о качественных предвидениях, но и количественных оценках, не только в пределах того или иного ряда или столбца Системы, но и для межгрупповых и межпериодных комбинаций элементов. Существенны не только общие, но и отдельные специфические законы, действующие, например, в пределах того или иного периода, группы системы, а также учет индивидуальностей элементов и соединений, определяемых, видимо, пересечениями ряда функциональных специфиче-

ских зависимостей. Важно понимать не только равновесные свойства, но реакционные и каталитические характеристики в свете положения партнеров реакции в Системе элементов.

Ясно, что на первых порах здесь прежде всего необходимы полуэмпирические модельные попытки, и, что еще важнее, обширные экспериментальные исследования, исследования не хаотические, а направленные согласно определенной идее или гипотезе.

При таком состоянии химической науки (и тем более полстолетия тому назад), надо было прежде всего найти мощные материальные индикаторы, с помощью которых возможно было бы индуктивным путем прийти к новым принципиально важным положениям.

Смелая догадка необходимости оригинального по замыслу поиска в этом направлении была сделана путем провозглашения новой науки — геохимии, основывающей эволюционную историю земной коры на базе новой теории, посвященной каждому отдельному элементу Системы.

Проследить за результатом поведения элемента во всевозможных условиях химического окружения действовавших в течение миллионов лет термодинамических параметров, проследить, не считаясь с продолжительностью эксперимента — огромная задача. Необходимо провести такую работу для самых разнообразных элементов и, синтезируя результаты, открыть не только тайны эволюции нашей планеты, но выявить новые принципы, причины и факторы, перейти за грани термодинамики, за пределы классификации химических соединений, минералов, горных пород, основанной на Системе Д. И. Менделеева, и пойти по пути открытия Системы процессов, основанной на той же менделеевской таблице; раскрыть с помощью новых идей весь логический и статистический план истории земной коры и пойти по пути предвидения перспектив ее дальнейшего хода, — такова почти фантастическая будущность и смысл геохимической идеи. Расшифровывать иероглифы летописи, записанной земной корой, — вот задача современных и будущих геохимиков. Поставить рядом с палеонтологией палеохимию земной коры, опираясь на Систему Менделеева со всеми найденными на ее основе обобщениями.

В этом была новизна постановки вопроса, весь ее неизмеримо сложный и увлекательный проблематизм, требовавший не только выдающегося по своему таланту руководителя и организатора, но и поэта, художника, оратора, педагога и воспитателя, способного своим обаянием увлечь энтузиастов; человека настойчивого и подающего пример, воодушевляющего любую аудиторию, убеждающего администрацию.

Вспоминаю название небольшой книги А. Е. Ферсмана, подаренной мне однажды автором: «Химические элементы Земли и Космоса», — так торжественно звучит оно и сразу характеризует автора, который много сделал для своей Родины особенно после Революции и во время Великой Отечественной войны и вместе с тем был новатором, синтезирующим мысленно настоящее с будущим, хотя он и строил свои предсказания на основе миллиардов лет прошлого земной коры и на химии Менделеева, хотя он на глазах у всех творил настоящее, но мысленно был в будущем, которое преобладало в его мирозерцании над синтезом прошлого.

Интересен вопрос об отношениях между В. И. Вернадским и его верным другом и учеником А. Е. Ферсманом. Я был знаком и с тем, и с другим и обоим обязан многими хорошими в высоком смысле этого слова минутами жизни и светлыми воспоминаниями.

Легко предположить, что не будь В. И. Вернадского, весьма возможно А. Е. Ферсман и не совершил бы своего подвига как геохимик, может быть, он стал бы крупным художником или еще как-нибудь иначе проявил природное богатство своей души. Но в сочетании строгого классика и обаятельнейшего человека, каким был В. И. Вернадский, и романтика, наделенного большой энергией, высокими моральными качествами, А. Е. Ферсмана было нечто почти неповторимое по своей результативности и мощи.

Не могу не привести здесь и некоторые воспоминания личного характера.

В конце 1923 г., когда геохимики занимались проблемой Хибин, я наткнулся на ряд, как мне казалось, важных научных соображений о применимости принципа Периодичности к Системе атомных ядер и так сформулировал по-новому Периодический Закон: «Химические и физические свойства элементов и их атомные веса являются периодической функцией порядкового номера». Стал думать о том, кому сообщить о своих мыслях, и тут мне сразу пришло в голову, что лучше всего пойти на дом к А. Е. Ферсману, несмотря на то, что я тогда совсем не был с ним знаком.

Набравшись смелости, я, никому неизвестный молодой ассистент кафедры физической химии Университета, в скором времени стоял у входных дверей квартиры академика. Открыл он мне сам; я представился и попросил аудиенции на несколько минут. Он любезно пригласил меня в заваленный книгами и рукописями кабинет и выслушал мое примерно пятиминутное сообщение.

По выражению его глаз я видел, что мои мысли ему понравились, но вместе с тем ясно было, что собеседник мой занят (в соседней комнате его ожидал другой посетитель) и не имеет времени для более долгой беседы. И он попрощался, не высказав никакого суждения и не задав мне дополнительных вопросов. В растерянности я пошел домой. Но какое же было мое удивление, когда через несколько дней я неожиданно получил повестку, извещавшую меня, что в таком-то часу и такого-то числа состоится заседание Минералогического общества для заслушания единственного доклада, а именно, моего.

Еще более был поражен я, когда, придя вечером в зал заседания, увидел собрание нескольких десятков ученых во главе с президентом Академии наук академиком А. П. Карпинским, я был изумлен и вместе с тем бесконечно благодарен А. Е. Ферсману за то, что он так молниеносно схватил сущность моих мыслей и собрал столь высокую аудиторию для прослушивания доклада никому неизвестного молодого человека.

Это яркий пример оперативности А. Е. Ферсмана, человека высокой доброжелательности к начинающим ученым.

После этого дня я всю жизнь чувствовал со стороны А. Е. Ферсмана дружеское расположение ко мне.

Помню, как однажды уже в конце 20-х годов, я встретил А. Е. Ферсмана случайно в Москве и тоже вкратце сообщил ему о своих соображениях по химии термальных минеральных вод, лишенных в своем составе как раз тех солей, которые при очень высоких температурах выпадают в осадок.

Немедленно по возвращении в Ленинград я опять получил приглашение на заседание Минералогического семинара и читал доклад в присут-

ствии В. И. Вернадского и А. Е. Ферсмана. Владимир Иванович отнесся к моим выводам с недоверием и этим смутил меня, хотя я и защищал свои мысли рядом доводов о влиянии высокой температуры на электролитическую диссоциацию. Александр Евгеньевич же, наоборот, немедленно включил упоминание о моих мыслях в свою монографию по геохимии.

А как красивы, выпуклы и интересны были доклады самого А. Е. Ферсмана! Особенно помню одно из его ярких выступлений в нашем Химическом обществе в аудитории, где висит большая таблица Менделеева, изготовленная по его указанию еще в 1876 г. — после открытия галлия.

Я заканчиваю эскизный портрет замечательного человека и ученого, с которым судьба свела меня на жизненном пути, с печалью при мысли, как много потеряла наука с преждевременной его кончиной и в то же время с уверенностью в том, что память о нем с благодарностью сохранят многие поколения.

Ю. Ю. ЮРК

Встречи с А. Е. Ферсманом

Александр Евгеньевич Ферсман пользовался огромной популярностью, которая определялась его исключительной эрудицией в различных областях знаний, а также удивительной способностью быстро и энергично находить контакты с людьми. Его многочисленные труды по минералогии и геохимии являлись руководящими не только для молодых, но и для опытных исследователей. Особо популярна в тридцатых годах была классическая монография А. Е. Ферсмана «Пегматиты» (том 1), выдержавшая три издания в течение десяти лет (первое — в 1931 г., третье — в 1940 г.).

Гранитными пегматитами Приазовья и их редкими элементами я начал заниматься в 1937 г., работая в Институте геологических наук АН УССР, и естественно, что настольной книгой мне служила монография А. Е. Ферсмана о гранитных пегматитах.

В начале 1939 г. я выехал в научную командировку в Москву, в частности, с целью получения у академика А. Е. Ферсмана консультации по минералогии пегматитов; кроме того, мне дирекцией института было поручено просить А. Е. Ферсмана принять участие со своими учениками в Конференции по пегматитам Украины, которая намечалась на май 1939 г.

А. Е. Ферсман принял меня очень тепло, проявил живой интерес и к моему рассказу о пегматитах Приазовья, и к образцам минералов (колумбит, циртолит, карбонаты висмута, ганит и др.), которыми он остался очень доволен, находя их весьма интересными. Иногда, обращаясь к Д. И. Щербакову, говорил: «Смотри, какое богатство, как в северной Карелии!». Тут же задавал мне вопросы, уточнял и сразу вносил коррективы в мое сообщение.

Александр Евгеньевич дал мне обстоятельную консультацию, и по его указанию в лаборатории И. Б. Боровского был произведен рентгено-химический анализ моего циртолита. С. А. Боровик провел спектральный анализ на редкие элементы и некоторых других моих образцов.

Что касается Конференции по пегматитам Украины, то А. Е. Ферсман пообещал непременно принять в ней участие. И действительно приехал в Киев во второй половине мая 1939 г. вместе с Е. Е. Костылевой, К. А. Власовым, В. И. Герасимовским и В. В. Щербиной.

На Конференции Александр Евгеньевич сразу и полностью овладел аудиторией. Заседания проходили в большом конференц-зале АН УССР на Владимирской улице. Здесь мы увидели ферсмановский талант организатора, услышали несравненного оратора, были пленены его аналитическим умом и особым умением руководить научными заседаниями.

В конце каждого заседания Александр Евгеньевич давал анализ каждому из заслушанных докладов и в заключение — резюме по всем заслушанным докладам. Это у него получалось даже красивее и нередко понятнее, чем у докладчиков. Он ежедневно выступал на Конференции не менее двух раз. Кроме того, в перерывах между заседаниями нередко устраивал где-нибудь в кабинете частные совещания по тому или иному вопросу и всегда в быстром темпе, энергично.

В заключительном слове на последнем заседании Александр Евгеньевич, высказывая благодарность организаторам Конференции, в поэтических выражениях восторгался нашим чудесным городом, его цветущими каштанами.

После Конференции была экскурсия на пегматиты Волины, в которой принял участие и Александр Евгеньевич. До того он лично не изучал пегматиты Украины, поэтому проявлял большой интерес к пегматитам Володарска—Писаревки, связанным с Коростеньским плутоном, и к более древним пегматитам по р. Тетереву, в районе сел. Шумск.

Следующая моя встреча с академиком произошла в начале марта 1941 г. в Киеве, на Совещании по редким элементам. Деятельность А. Е. Ферсмана на Совещании можно характеризовать такими же словами, как это сказано выше о пегматитовой Конференции. Здесь он прочитал большой доклад о геохимии и полезных ископаемых докембрийских щитов, в котором проводил идею, что докембрийские щиты геологически еще мало изучены, а между тем они таят в себе огромные богатства черных, цветных, редких металлов и нерудного сырья, поэтому и внимания заслуживают не меньшего, чем горные массивы. Отсюда следовал призыв к геологам — больше внимания исследованию кристаллических щитов и их окраинам.

На этом же Совещании был заслушан и мой доклад о найденном новом урансодержащем минерале из пегматитов Приазовья, который я предлагал назвать — чокрацитом (от р. Чокрак). Александр Евгеньевич, обсуждая мой доклад, сказал, что это название не годится: оно звучит так, что невозможно определить местонахождение минерала, и предложил назвать его «азовит». По возвращении в Москву А. Е. Ферсман сразу же прислал мне письмо, извещая, что Н. Е. Ефремов уже дал название другому минералу «азовскит», поэтому он снимает свое предложение. Тогда я назвал минерал «приазовит».

Во время Великой Отечественной войны я написал Александру Евгеньевичу по поводу приазовита. Мою статью А. Е. Ферсман передал на заключение О. М. Шубниковой. И в начале 1945 г. на фронте я получил письмо, написанное Екатериной Матвеевной Ферсман по поручению Александра Евгеньевича. Она писала, что Александр Евгеньевич болен, передает мне привет и посылает две свои работы. Вскоре я получил эти

книги: «Геология и война» и «Урал—сокровищница Советского Союза», которые хранятся у меня и поныне.

В литературе уже отмечалась удивительная способность А. Е. Ферсмана наблюдать и замечать. В связи с этим мне припоминается такой случай, рассказанный московским архитектором. В начале войны в Москве возникла проблема маскировки аэродромов. На одном из совещаний присутствовали академик А. Е. Ферсман, который предложил для маскировки использовать доменный шлак, приведя пример своих наблюдений из иллюминатора самолета: «Вы, наверное, не наблюдали с птичьего полета доменные шлаки? Они ведь зеленые, как трава. Надо измельчать и покрывать ими взлетные площадки». Этот простой способ был принят и сыграл свою роль. Следовательно, и во время полета Александр Евгеньевич не отдыхал, а внимательно наблюдал за поверхностью земли, отмечая в своей великолепной памяти все полезное.

Таков был натуралист-академик А. Е. Ферсман, имя которого осталось в наших сердцах навсегда.

Содержание

От редколлегии	1
Академик ФЕРСМАН А. Е. В. И. Ленин и изучение производительных сил СССР	3
Академик ФЕРСМАН А. Е. Комплексное использование ископаемого сырья	14
Академик ВИНОГРАДОВ А. П. Роль наук о Земле в техническом прогрессе	23
Академик СИДОРЕНКО А. В. Геология в 2000 году	29
Академик СМИРНОВ В. И. Об А. Е. Ферсмани	39
Академик НЕКРАСОВ Н. Н. Идеи А. Е. Ферсмана и современное размещение производительных сил	44
Академик ЧУХРОВ Ф. В. Вадозные термальные растворы и рудообразование	47
Член-корр. АН СССР ГОРБУНОВ Г. И. Проблемы комплексного использования минерального сырья Кольского полуострова	59
Чл.-корр. АН СССР ОВЧИННИКОВ Л. Н., СОЛОДОВ Н. А. Формационно-парагенетическая классификация промышленных месторождений литофильных редких металлов	71
Чл.-корр. АН СССР РАДКЕВИЧ Е. А. Особенности структурного положения и металлогении Монголо-Охотского пояса	110
БЕУС А. А. Происхождение и геохимическая эволюция земной коры	116
БУТУЗОВ В. П. Предсказания А. Е. Ферсмана осуществились	133
ГЕРАСИМОВСКИЙ В. И. А. Е. Ферсман — основоположник минералогии и геохимии щелочных пород	141
ГИНЗБУРГ А. И. Современное состояние учения о пегматитах	144

КОГАН Б. И., НАЗВАНОВА В. А.	
Рост промышленного и комплексного использования природных минерализованных вод	162
ЛЯХОВИЧ В. В.	
Геохимия минералов — рудоносность и генезис гранитоидов	183
ПЕРЕЛЬМАН А. И.	
Геохимия техногенеза	199
ПЕТРОВ В. П.	
Роль А. Е. Ферсмана в развитии учения о неметаллических полезных ископаемых	209
СЕРДЮЧЕНКО Д. П., ГЛЕБОВ А. В., БРУСНИЦЫНА Н. В.	
Пироксено-магнетитовые кварциты и метасадочные пироксениты Приазовья	220
ТАЛМУД И. Л.	
О техническом прогрессе в комплексной переработке апатито-нефелиновых руд Кольского полуострова	230
 Современники об А. Е. Ферсмани	
Академик БЕЛОВ Н. В.	
Дорогой друг и наставник	237
Академик БЕЛЯНКИН Д. С.	
Корифей минералогии	241
Академик КАШКАЙ М. А.	
С чувством преклонения и благодарности	242
Академик НИКОЛАЕВ А. В.	
Светлый образ	244
Академик ПОВАРЕННЫХ А. С.	
Мудрый наставник	246
Академик СИДОРЕНКО А. В.	
Исследования А. Е. Ферсмана в Туркмении и их значение	249
АРМАНД Д. Л.	
Воспоминания военных лет	261
БАБАЕВ К. Л.	
Пути развития производительных сил Средней Азии в трудах А. Е. Ферсмана	263
ВАСНЕЦОВ В. А.	
Богатства недр земных были богатствами его души	267
ЕВСТИФЕЕВ В. И.	
Простой и чуткий	269
КАРАСИК М. А.	
Образ, овеянный ореолом	270
КЛАССЕН-НЕКЛУДОВА М. В.	
Воспоминания военного времени	274

КОГАН Б. И. Бесконечно дорогой	277
КРИНОВ Е. Л. Крупнейший советский метеоритолог	301
МЕЛЕНТЬЕВ Б. Н. Ученый широкого диапазона	303
ПЕТРОВСКАЯ Н. В. Мои беседы с А. Е. Ферманом	308
ПЭК А. В. А. Е. Ферман на Тырнаузе	310
СТЕПАНОВ И. С. Благожелательность	312
ТАГЕЕВА Н. В. А. Е. Ферман в двадцатые-тридцатые годы (в Ленинграде)	317
ШАФРАНОВСКИЙ И. И. Два отзыва А. Е. Фермана	321
ШИМАНЕНКОВ И. В. Роль А. Е. Фермана в организации и развитии ВПМСа	325
ЩЕРБИНА В. В. Ученый-романтик и практик-организатор	332
ЩУКАРЕВ С. А. Поэт, труженик, борец и мыслитель	335
ЮРК Ю. Ю. Встречи с А. Е. Ферманом	338

Проблемы минерального сырья

Утверждено к печати
Институтом минералогии, геохимии
и кристаллохимии редких элементов

Редактор
Е. И. Несмелов

Редактор издательства
М. И. Азизян

Художник
Э. Л. Эрман

Художественный редактор
С. А. Литвак

Художественно-технический редактор
Т. А. Прусакова

Сдано в набор 20/IX 1974 г. Подписано к печ. 2/IV 1975 г.
Формат 70×100^{1/16}. Бумага № 1
Усл. печ. л. 28,43 Уч.-изд. л. 29,3 Тираж 1700
Т-04563 Тип. зак. 1126

Цена 2 р. 43 к.

Издательство «Наука»
103717 ГСП, Москва, К-62, Подсосенский пер., д. 21

2-я типография Издательства «Наука»,
121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

ОПЕЧАТКИ И ИСПРАВЛЕНИЯ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
115	21 св.	скарпов	скарнов
196	14 св.	скандия	цезия
288	5 стр.	увеличение	увлечение

Проблемы минерального сырья

20.13.6

1253