

Ферсман Александр Евгеньевич

**Пегматиты, их научное и практическое
значение**

Том 1

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 50
ББК 22
А46

А46 **Александр Евгеньевич Ф.**
Пегматиты, их научное и практическое значение: Том 1 / Ферсман Александр Евгеньевич – М.: Книга по Требованию, 2024. – 667 с.

ISBN 978-5-521-28116-9

ISBN 978-5-521-28116-9

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2024
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

INHALT DES ERSTEN BANDES — GRANITPEGMATITE

Vorwort zur ersten russischen Ausgabe	5
Vorwort zur zweiten russischen Ausgabe	6
Vorwort zum ersten Bande — Granitpegmatite	7

Allgemeiner Theil

Kap. I. Geschichtliches	13
Kap. II. Feststellung des Begriffs Pegmatit	22
Kap. III. Theoretisches Schema des Pegmatitprozesses	34
Kap. IV. Etapen und Phasen der Erstarrung eines Magma	39
Kap. V. Temperatur — Druck — Konzentration. Pression	43
Kap. VI. Chemische Zusammensetzung der Pegmatite	54
Kap. VII. Eutektische Natur der Pegmatite	64
Kap. VIII. Migrationswege der leichtflüchtigen Komponente	72
Kap. IX. Morphologische und geologische Charakteristik der Granitpegmatite	80
1. Formen und Dimensionen — 80. 2. Morphologie der Grenzflächen mit dem Nebengestein — 82. 3. Bildung der Hohlräume — 84. 4. Ursachen der Hohl- raumbildung — 85. 5. Absolute Grössen der Kristalle und der Mineral- anhäufungen — 87. 6. Strukturen der Pegmatite — 91. 7. Relatives und Abso- lutes Alter der Pegmatite — 102. 8. Die Farbe der Pegmatite — 105.	
Kap. X. Methodik der Pegmatitforschung	106

Beschreibender Theil

Kap. XI. Beispiele der Granitpegmatite, Pneumatolithe und Hy- drotermolithe, Vergleichende Analyse derselben	
1. Werchoturje am Ural — 117. Ytterby bei Stockholm (Schweden) — 118. Nord-Karelien — 119. Süd-Norwegen — 122. Nord-Mongolei — 127. Mursinka am Ural — 130. Schoerl-Berg (Scherlowa-Gora-Transbaikalien) — 132. Borstschow- schnoy Gebirge (Transbaikalien) — 134. San Pietro in Campo auf der Insel Elba — 139. Maine in Nord-Amerika — 140. Waldstein (Bayrischer Wald) — Miarolitische Hohlräume — 142. Striegau (Schlesien) — Miarolitische Hohl- räume — 144. Alpine Gänge — Hydrolithe (Hohe Thermen) — 146. Kurtzy in der Krym — Hydrolithe (Schwache Thermen) — 147. Wolframgänge in Trans- baikalien (Pneumatolithe) — 154. Erzgänge (Erz-Hydrotermolithe) — 154. Die Resultate der Analyse der Beispiele — 156.	

Kap. XII. Klassifikation und Systematik der Granitpegmatite.	159
Kap. XIII. Pegmatite der reinen Linie.	171
Kap. XIV. Ausfüllung der Miarolite	226
Kap. XV. Pegmatite der Kreuzungslinie: pneumatolytische Pegmatite, Kontakt-pegmatite, migmatische Pegmatite	231
Kap. XVI. Pegmatite sui generis.	281
Kap. XVII. Granitpegmatite und Aplite.	291
Kap. XVIII. Granitpegmatite, Quarzgänge, Erzgänge und hydrothermale Prozesse (Hydrotermolithe)	294

Allgemeiner Theil

Kap. XIX. Mineralogie der Granitpegmatite	307
A. Mineralien - Verzeichniss — 307. B. Typomorphe Mineralien — 318.	
C. Allgemeine Gesetze der typomorphen Mineralien (Verbreitung, Eigenschaften) — 369.	
Kap. XX. Geochemie der Pegmatite	377
Kap. XXI. Geochemie der einzelnen Pegmatitelemente	406
Kap. XXII. Einzelfragen der Pegmatitbildung.	432
1. Pegmatitrestlauge im Granitgestein selber — 432. 2. Ursachen des Auftretens bestimmter Pegmatittypen — 434. 3. Gang des Erköhlungsprozesses — 440. 4. Inversion bei der Pegmatitbildung-Verjüngung und Rhythmus — 442. 5. Pegmatitprozess und Zonen des Metamorphismus — 444. 6. Abköhlungs-metamorphismus der Pegmatite — 445. 7. Hypergene Umwandlung der Pegmatite — 447. 8. Pegmatitfelder — 447. 9. Analoge Bildung in den Effusiven — 449. 10. Verdrängungsprozesse und Assimilation — 449. 11. Physikalisch-chemische Deutung der Pegmatitprozesse. 459.	
Kap. XXIII. Evolutionsgeschichte der Pegmatitrestlauge	467
Kap. XXIV. Ergebnisse und Schlusswort	486
Kap. XXV. Literaturverfassung.	492

Anhang

I. Beschreibung der Granit-Pegmatitfelder in der U. d. S. S. R.	507
II. Nützliche Mineralien und Gesteine der Granitpegmatite	581
III. Schriftstruktur der Granitpegmatite.	608

Verzeichnisse, Errata und Ergänzungen

Autorenregister.	625
Geographische Register.	635
Namenregister.	647
Ergänzungen und Errata	666

ПРЕДИСЛОВИЕ К ПЕРВОМУ ИЗДАНИЮ

Около двадцати лет моей научной работы были связаны с изучением пегматитовых образований с различных точек зрения — геохимии, кристаллических особенностей, структуры и происхождения. В целом ряде отдельных работ я освещал те или иные стороны общего вопроса и подходил к большой комплексной проблеме с разных точек зрения, одновременно обдумывая и подготавливая общее описание пегматитового процесса в целом.

Моя монография разделяется на два тома: настоящий, первый, том посвящен общей проблеме о пегматитах и в частности дает анализ остаточного гранитного процесса. Второй том будет посвящен пегматитам основных, сиенитовых и нефелин-сиенитовых магм, но по сложности всей проблемы вряд ли скоро появится в печати.

В частности особое мое внимание привлекают пегматиты нефелиновых сиенитов, так как, по моему мнению, их геохимический анализ сможет пролить свет на происхождение этих интересных, но загадочных пород. Однако, именно в этом направлении мы наталкиваемся на огромные трудности, и четыре мировых месторождения — Южная Норвегия, Гренландия, Хибины и Ильменские горы, — несмотря на большую работу нескольких поколений минералогов и химиков, не дают пока ответа на поставленные нами вопросы и требуют коренного пересмотра всего исследовательского материала на фоне новых идей геохимии.

Как второй, так и первый томы не являются только литературными сводками, дающими синтез имеющихся исследований: они проведены как самостоятельные монографии, вовлекающие в изложение чужие исследования лишь постольку, поскольку последние или нужны, или противоречат результатам моих работ. Такие работы создаются десятилетиями упорного продумывания целого комплекса явлений под определенную точку зрения, они вытекают скорее из работ целых коллективов, чем из индивидуальных исследований одного ученого. Так ставится пегматитовая

проблема в целом и у нас, в Минералогическом Институте Академии Наук СССР, где уже больше 15 лет и экспедиционная и лабораторная работа сосредоточиваются вокруг изучения пегматитов Союза.

Только таким путем можно будет добиться ясности в этом вопросе и особенно глубоко войти в тот сложный комплекс явлений, который охватывается нашими классическими месторождениями Хибинских Тундр на Кольском полуострове, Ильменских гор на Урале, Борщовочного кряжа и Адун-Чолонга в Забайкалье.

Ленинград
Май 1931 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ

Первое издание, вышедшее в малом количестве экземпляров, меньше чем через полгода потребовало переиздания. Помимо ряда мелких отдельных исправлений и изменений, мною расширена глава о физико-химических законностях пегматитов, а также переработаны некоторые части главы по геохимии, особенно в связи с новыми работами школы V. M. Goldschmidt'a.

Акад. А. Е. Ферсман.

Ленинград
Март 1932 г.

ВВЕДЕНИЕ К ПЕРВОМУ ТОМУ

„Новые проблемы должны разрешаться постепенно: более простые вопросы сначала, а сложные — потом.“

И. Фохт, 1931.

Мысль свести воедино все сведения о пегматитах, и в особенности гранитных, занимала меня последние десять лет. Однако, она казалась мне осуществимою лишь после личного осмотра главнейших пегматитовых районов. Мне кажется, что сейчас я могу взяться за этот труд, так как за истекшие двадцать пять лет научной работы мною были посещены: в Союзе — пегматитовые районы щелочных массивов Кольского полуострова (Хибины и Луяврурт), гранитные пегматиты Дзерульского массива в Закавказьи, северной Карелии (побережье Белого моря), Среднего и Южного Урала, Изумрудных копей, Ильменских гор, Канского района в Сибири, Слюдянки и западного берега Байкала в Прибайкальи, Борщовочного кряжа и Шерловой горы в Забайкальи, Гиссарского Хребта и Хизил-Хумов в Средней Азии, а за границею — пегматиты окрестностей Осло, Мосса, Крагерё, Евье и особенно Лангезундфиорда в Норвегии, Иттерби и Альнё в Швеции, Striegau в Силезии, Baveno в Северной Италии, San Pietro in Campo на острове Эльбе.

Огромный поступивший в Академию Наук научный материал по пегматитовым жилам Монголии, проработанный Е. Е. Костылевою, большие сборы алтайских пегматитов, собранных Л. И. Крыжановским, и Забайкалья, сделанные П. П. Сущинским, превосходный материал пегматитово-контактных месторождений Прибайкалья, приславшийся лучшим знатоком района М. И. Якуниным, продуманный сбор пегматитовых образований и минералов Карелии, сделанный в течение нескольких лет работ А. Н. Лабунцовым, наконец, десятилетние экспедиции на Хибинские и Ловозерские тундры, вместе с многолетним подбором минералов

в копиях Ильменских гор, — все это дало Минералогическому музею Академии Наук СССР за последние десять лет столько блестящего, нового и частично уже проработанного материала, что в значительной степени оправдывает возможность издания настоящей монографии. Минералогический музей поставил себе задачу систематического изучения пегматитов Союза, и его новые тяньшанские, памирские, алайские и кизилкумские экспедиции должны еще укрепить это направление и пополнить специальный зал музея, посвященный исключительно пегматитам Союза. В этом отношении последний год дал уже блестящий новый материал из Средней Азии и Южной Кристаллической полосы, привезенный в музей и весьма интересно проработанный Б. Гаврусевичем и А. Ф. Соседко.

Одновременно с этими экспедициями шла и научная обработка вопросов природы гранитных пегматитов и их минералов, позволившая мне в ряде отдельных заметок и статей изложить свои наблюдения и взгляды и связать пегматитовые образования, с одной стороны, с явлениями магматического характера, с другой — с процессами гидротермального и пневматолитического происхождения.

Таковы внешние условия, при которых возник этот труд. Им отвечал вообще подъем интереса к гранитным пегматитам в широких кругах минералогов и геологов, и последние работы над этим вопросом P. Niggli (1920—1925—1929), A. Lacroix (1922), Olaf Andersen (1926—1932), J. Kemp (1924), J. Vogt (1920—1929), V. M. Goldschmidt и его школы (1922—1932), F. L. Hess (1925), W. T. Schaller (1925—1927), H. de Spence (1930) и многих других дали огромный новый материал для понимания этого любопытнейшего геохимического явления, открывая при том новые грандиозные поля, напр. на Кольском полуострове, в районе Эвереста в Гималаях, в Центральной Африке и в различных частях Канады.

Одновременно с этим рос и практический интерес к пегматитам и их химическим соединениям. Рост добычи слюды, полевого шпата и кварца, использование соединений урана, тория, лития, бериллия, тантала, ниобия и олова, добыча драгоценных камней (топаза, берилла и др.) и технического горного хрусталя — все это за последние годы вызывало усиленные поиски пегматитовых жил, их разведку и эксплуатацию.

Таким образом, выявлялись основные задачи моего изложения: 1) выяснение свойств и структуры пегматитов, их минералогии и геохимии; 2) выяснение генезиса, связи с общими геохимическими и геологическими явлениями, равно как распространения, распределения и геохимической систематики и 3) выявление практического значения пегматитов в промышленности.

Тему о пегматитовых образованиях исчерпать в одной книге нельзя: их огромное разнообразие, сложность и вместе с тем закономерность химического и минералогического состава, обилие связанных с ними в той или иной форме водных, флюидных и газовых жил — все это выдвигает их как область огромного научного и научно-прикладного значения, а положение их на границах между чисто магматическими процессами, изучаемыми петрологией, и водными отложениями, входящими в область исследования современной минералогии и геохимии, придает их изучению особенную глубину, но и вызывает свои трудности.

Заканчивая настоящий том, я не могу не попытаться вкратце подвести некоторые итоги моей работы.

Я прекрасно понимаю, что она далеко не разрешает полностью всей проблемы пегматитов, и целый ряд сторон и больших вопросов остается до сих пор только поставленным. Таковы в первую очередь: отсутствие точной физико-химической диаграммы, которая, опираясь на экспериментальные данные, объясняла бы ход застывания гранитного расплава в его конечных фазах; ни интересные построения Ваг'а, ни мой эмпирический анализ природных явлений далеко не достаточны в этом направлении. Отсутствуют у нас и точные данные о валовом составе отдельных фаз, особенно фаз пневматолитических; нет еще полного и систематически проведенного применения правила фаз Джиббса к первым стадиям охлаждения расплава, хотя общие линии этого вопроса уже намечаются. Некоторые типы пегматитов еще совершенно неясны, напр. графитовые, как неясно и положение некоторых минералов в общей генетической схеме.

Тем не менее мне кажется, что моя монография по гранитным пегматитам ведет к разрешению некоторых кардинальных геохимических вопросов и прежде всего объединяет все месторождения в одной схеме, применяя единый общий масштаб для всех пегматитовых полей. Такая градуировка природного процесса позволяет, хотя бы в условной шкале, сравнивать между собою пегматитовые образования разных типов, разных возрастов и разных генетических условий и этим путем намечает основные пути для общего понимания пегматитового процесса. Из единой примененной геохимической методологии вытекает и второй основной вывод работы — единство хода остывания пегматитового процесса, определенная линия его эволюции. Из трех переменных, определяющих собою в основе всякое физико-химическое равновесие: концентрация — давление — температура, только последнее оказалось доминирующим и определяющим основные линии течения кристаллизации в общем расплаве;

меньшую роль играет давление и сравнительно подчиненную роль первичная концентрация.¹ Таким образом, мне удалось на одну плоскость с достаточной точностью спроектировать весь ход остывания пегматитового расплава, и такая плоскостная диаграмма на бумаге оказывалась достаточною, чтобы, внося те или иные поправки на изменение давления и концентрации отдельных элементов, применять ее ко всему многообразию гранитных пегматитов земной коры.

Идея эволюции вылилась как основная идея отчасти философского характера; она подчинила себе все отдельные представления и явилась продолжением и развитием тех общих идей, которые вкладывались последнее время видными геохимиками, как Niggli, Goldschmidt, Bowen и другие, в общее понимание физико-химических равновесий природы.

И наравне с этим, как основной третий вывод, выявилось значение этих идей для практического использования пегматитов и их образований: отдельные полезные ископаемые тоже оказались закономерно вложенными в общую схему, которая позволила и для них сделать те выводы, которые неизбежно вытекают из точного понимания генезиса минерала и его пространственных и хронологических взаимоотношений в земной коре.

И в особенности в области изучения полезных ископаемых остаточного расплава выявилась возможность более четкого разделения пневматолитов и остаточных расплавов пегматитового характера и, применяя идеи Vogt'a, в строгой закономерности наметить распределение вещества между этими двумя путями и таким образом выявить очень важное, до сих пор остававшееся неясным, различие в самой природе и в ходе остывания рудных, т.е. термальных и пневматолитических жил и остаточных пегматитов.

Наконец идеи, проработанные только в области гранитных пегматитов, уже сейчас намечают совершенно новые линии в изучении пегматитов и магматических остатков других магм, а их разрешение позволит еще более укрепить основную линию — установление единого общего геохимического процесса, начиная с магматического расплава и его процессов расщепления и кончая холодными растворами поверхности. Разобшенная и разрезанная на случайные куски проблема единого геохи-

¹ По двум причинам: самый остаточный расплав появляется уже в результате определенных процессов и, потому, в общем довольно определен; с другой — он строится на немногих основных элементах, тогда как все остальные, хотя и имеющие минералогически первостепенное значение, на общее течение кристаллизационных путей влияют мало.

мического процесса, в своем первоисточнике связанная с охлаждением магматических очагов, начинает сливаться в общую картину; области самостоятельных дисциплин петрологии, минералогии, физики и химии земной коры начинают объединяться в единое представление современной геохимии об едином процессе миграции химических элементов и его законах. Все многообразие минеральных скоплений есть не что иное, как результат разделения путей миграции отдельных атомов в сложной физико-химической обстановке природы, и явления дифференциации в том узком понимании, как о нем говорят петрологи, и даже в более широкой установке Koenigsberger'a являются не чем иным, как частным случаем общих процессов и законов миграции. Пегматитовый процесс перебрасывает мост между магмой и горною породой, как таковою, с одной стороны, жильными образованиями минералов — с другой и продуктами накопления летучих компонентов — с третьей. Он позволяет резче наметить пути разделения трех фаз природного процесса — газообразной, жидкой и твердой — и вместе с тем выдвигает на видное место и четвертый тип состояния вещества — надкритических растворов (расплавов) во всем его своеобразии.

Таковы главные идеи, положенные в основу настоящей монографии.¹

Я сознаю многочисленные дефекты моей попытки осветить пегматитовую проблему в ее целом, но тем не менее решаюсь предложить ее критике моих товарищей по научной работе.

Уже сейчас, заканчивая этот том, я нахожу новый материал, который дополняет и расширяет мое исследование и углубляет геохимический подход. Я начинаю уже подготавливать новое немецкое издание, в котором приводимые здесь факты будут заменены обобщающими схемами и более точным численным анализом.

Но для этого необходимо проделать еще большую работу наблюдения и исследования. Особенно важным для меня представляется личное ознакомление с пегматитами Монголии, Адун-Чолонга, Памира в Союзе, Вавено в Италии, и особенно обоих пегматитовых поясов Америки — Аппалачских гор на востоке и района Калифорнии — на западе. Я получил бы серьезную помощь, если бы мои товарищи по геохимической работе помогли мне сообщением фактического материала, особенно зарисовок строения отдельных пегматитовых жил и пр.

Я обращаюсь поэтому ко всем полевым работникам, в особенности к тем, кого я впервые, в виде общего курса по пегматитам, познакомил

¹ Ср. заметки общего характера: А. Ферсман. История атома в истории земли. Природа, № 4, 1929; А. Ферсман. Законы эволюции и химии земной коры. Природа, № 3, 1930.

с характером этих процессов в серии лекций, прочитанных на курсах переподготовки в марте 1930 г. при б. Геологическом Комитете; — я прошу всех помочь мне в этой работе, доставляя тот материал точных наблюдений и фактов, вне которых работа натуралиста превращается в теорию, оторванную и от природы, и от истины.

Четырем именам я хочу посвятить настоящую монографию: Brögger'у, своею классическою работою над пегматитами Христиании еще 40 лет тому назад заложившему фундамент нашим знаниям в этой области; Niggli, подведшему под него физико-химическую основу, Lacroix, давшему в своем труде по Мадагаскару тот блестяще сопоставленный фактический материал, без которого бесплодны и бесцельны всякие научно-теоретические построения, как бы хитроумны и глубоки они ни были, и, наконец, моему другу и учителю J. Vogt'у, давшему общую химическую и геохимическую установку магматическим и постмагматическим процессам.

Ленинград
Май 1931 г.