

Р. С. Ф. С. Р.  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТДЕЛ В. С. Н. Х.

---

Акад. А. Е. Ферсман.

# ГЕОХИМИЯ РОССИИ.

Вып. I.

---

НАУЧНОЕ ХИМИКО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

ПЕТРОГРАД

1922.

Р. С. Ф. С. Р.  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТДЕЛ В. С. Н. Х.

---

*Ферсман*

Акад. А. Е. Ферсман.

# ГЕОХИМИЯ РОССИИ.

В ы п. I.

—  
—

НАУЧНОЕ ХИМИКО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

ПЕТРОГРАД

1922

Отпечатано 2.000 экз.

26909

## ГЛАВА ПЕРВАЯ.

### Типы топоминералогических исследований.

Под именем топоминералогических исследований я понимаю минералогические описания отдельных областей земной поверхности. С этой точки зрения как об'емистая „Минералогия Алтая“ П. Пилипенко, так и чисто морфологическое описание минералов окр. Москвы А. Иванова являются в равной мере топоминералогическими работами, хотя и преследуют разные цели и в значительной степени содержат различный материал.

Такие топоминералогические исследования составлялись в разных странах в зависимости от тех или иных задач, то по областям, охватывавшим целые государства, то по отдельным районам, с детальными описаниями каких-либо незначительных участков, рудничных центров, административных единиц и т. д.

В одних случаях они являлись просто сводками литературы, изучавшей минералы данной области, в других, и это было чаще, при изучении небольших районов описания имели целью охарактеризовать все минералы, которые были в нем встречены, и отметить точно места, в которых они наблюдаются, и иногда условия, в которых встречаются. Гораздо реже такие описания давали характеристику минералов, встречающихся вместе, и, особенно при изучении месторождений полезных ископаемых, пытались выяснить условия образования минералов и ту естественную генетическую связь, которая между ними наблюдается. Третья группа таких работ преследовала чисто практические цели и давала подробное изложение вопроса о полезных ископаемых какой-либо области, об их свойствах и видах использования.

Таким образом, топоминералогические исследования носили весьма разнообразный характер и каждое из них освещало ту или иную грань вопроса, в зависимости от индивидуальных черт исследования, основных задач работы и национального характера научных взглядов в данной стране.

Заграничная литература дает нам богатейший материал в этом направлении и показывает, сколь разнообразными могут быть такие сводки и насколько в них отсутствует какая-либо одна об'единяющая идея. Для более глубокого понимания задач настоящей книги я вкратце приведу очерк главнейших топографических исследований отдельных государств и попытаюсь показать, как до сих пор составлялись эти описания.

Еще в 1726 г. вышла первая топоминералогическая работа, в двух частях, касающаяся Швеции: „Specimen Lithographiae svecanae Magni de Bromel“.

отводилось изучению химических явлений нашей планеты и что геология, как таковая, во всем комплексе знаний об истории земли, не может не включать в себя и знание о химических судьбах, химических превращениях и группировках в смене геологических эпох. Мне казалось необходимым попытаться слить в единую картину и физические, и химические превращения земли, установить между ними зависимость и подчинить общим законам.

Связывая, таким образом, результаты минералогических исследований с успехами изучения геологии России, я имел в виду перебросить мост между физикой и химией земной коры и этим закрепить то новое геохимическое направление, которое внесено в минералогию работами последних десятилетий. Пока все здание современной геохимии строится почти исключительно на качественных данных, точный количественный учет и точная физико-химическая формулировка, к сожалению, еще невозможны.

Эта попытка моя вряд-ли может считаться удавшейся; она скорее только канва, по которой дальнейшая работа вышьет узоры химических судеб страны в ее прошлом и настоящем. И тем полнее, и стройнее будет этот будущий рисунок, чем больше фактического, описательного и аналитического материала накопит русская наука, чем полнее будет изучен русский минерал, его свойства, место рождения и химический состав.

В основу книги я положил курс лекции, читанных в Петроградском Университете в 1919—1920 годах и повторенных, и расширенных в 1920—1921 годах в Географическом Институте. В этом курсе я впервые пытался связать в более стройное целое свои наблюдения над минералогией Крыма, русского Севера, центральной России, Урала, Забайкалья и отчасти Алтая и Саян. Только личное знакомство с главнейшими районами русской земли позволили мне вникнуть ближе в геохимические судьбы нашей страны и связать минерал с определенными геологическими явлениями.

Минералогический Музей Академии Наук, в своем основном и топографическом собраниях, а также собрания Московского Университета дали мне ценнейший материал для проверки некоторых выводов и сводки фактического материала.

Главнейшую литературу я даю в конце каждой главы, поместив в подстрочных примечаниях лишь некоторые необходимые ссылки, так как более детальное изложение вопроса я отлагаю до того времени, когда настоящую задачу удастся осветить с большею полнотою и с большею продуманностью.

Первые два тома в нескольких выпусках обнимают общее введение с характеристикой задач топоминералогических исследований, описание районов Европейской России—русской платформы и общие выводы геохимического характера. В третий том войдет Азиатская Россия и ряд заключительных глав, касающихся характеристики отдельных элементов и установления для России более определенных элементогенетических провинций и эпох.

## ГЛАВА ПЕРВАЯ.

### Типы топоминералогических исследований.

Под именем топоминералогических исследований я понимаю минералогические описания отдельных областей земной поверхности. С этой точки зрения как об'емистая „Минералогия Алтая“ П. Пилипенко, так и чисто морфологическое описание минералов окр. Москвы А. Иванова являются в равной мере топоминералогическими работами, хотя и преследуют разные цели и в значительной степени содержат различный материал.

Такие топоминералогические исследования составлялись в разных странах в зависимости от тех или иных задач, то по областям, охватывавшим целые государства, то по отдельным районам, с детальными описаниями каких либо незначительных участков, рудничных центров, административных единиц и т. д.

В одних случаях они являлись просто сводками литературы, изучавшей минералы данной области, в других, и это было чаще, при изучении небольших районов описания имели целью охарактеризовать все минералы, которые были в нем встречены, и отметить точно места, в которых они наблюдаются, и иногда условия, в которых встречаются. Гораздо реже такие описания давали характеристику минералов, встречающихся вместе, и, особенно при изучении месторождений полезных ископаемых, пытались выяснить условия образования минералов и ту естественную генетическую связь, которая между ними наблюдается. Третья группа таких работ преследовала чисто практические цели и давала подробное изложение вопроса о полезных ископаемых какой-либо области, об их свойствах и видах использования.

Таким образом, топоминералогические исследования носили весьма разнообразный характер и каждое из них освещало ту или иную грань вопроса, в зависимости от индивидуальных черт исследования, основных задач работы и национального характера научных взглядов в данной стране.

Заграничная литература дает нам богатейший материал в этом направлении и показывает, сколь разнообразными могут быть такие сводки и насколько в них отсутствует какая-либо одна об'единяющая идея. Для более глубокого понимания задач настоящей книги я вкратце приведу очерк главнейших топографических исследований отдельных государств и попытаюсь показать, как до сих пор составлялись эти описания.

Еще в 1726 г. вышла первая топоминералогическая работа, в двух частях, касающаяся Швеции: „Specimen Lithographiae svecanae Magni de Bromel“.

В течение всего XVIII века продолжалось накопление весьма точного описательного материала и к началу XIX столетия уже собрано было столь большое количество разрозненных данных, что можно было попытаться свести их воедино.

Эту задачу не без успеха выполнил *C. C. Leonhard* в своем трехтомном сочинении „Handbuch der allgemeinen Topographischen Mineralogie“ (Frankfurt a. Main 1805—1809). После него общие сводки, с краткими указаниями свойств и с перечислением известных месторождений, повторялись несколько раз, причем последним изданием этого типа приходится назвать общеизвестную минералогию *C. Hintze*, начатую еще в 1890 г., но до сих пор не законченную.

Одновременно с этим шло составление описательных топографических минералогий по отдельным странам, библиография которых прекрасно сведена в первом томе „Опыта“ *В. Вернадского*. (СПБ. 1914. стр. 48—113; дополнения стр. 717—739).

В Европе — Испания и Португалия топоминералогически изучены слабо, несмотря на незначительную территорию, доказательством чего могут служить хотя-бы открытия последнего времени — платины, солей калия, фосфатов урана и вольфрамовых руд.

Недурная работа *Calderon'a*, в двух томах, дала в 1910 г. сводку наших сведений о минералах большей части Пиринейского полуострова, но осталась в рамках сухих схем старой минералогии, дополнив и лишь видоизменив старую книгу 1902 г., вышедшую на немецком языке (совместно с *Tenne*).

Гораздо выше стоит минералогическое изучение Франции, благодаря огромной и прекрасной работе *A. Lacroix*, который, начиная с 1895 г. по 1915 г. дал превосходное исследование минералов Франции, единственное в своем роде во всей научной минералогии. Хотя в основу своего пятитомного труда он положил обычную классификацию по минеральным видам, но при описании каждого из них распределил материал по генетическим типам и при характеристике некоторых из них дал великолепные геохимические описания. Этот недавно законченный труд, с прекрасным справочным указателем, венчает большую описательную работу многочисленных французских минералогов, трудившихся над минералогией родной страны.

Гораздо меньше сведений имеем мы по топографической минералогии Англии в ее Европейских владениях. Описание родных минералов мало влекло к себе английских ученых и, потому, за исключением Шотландии, точно сведенной в посмертном издании *Heddle* (— *Goodchild*, *Mineralogy of Scotland*. 1906), мы не имеем сколько-нибудь полных сводок по этому вопросу (сводка *Greg and Lettson'a* 1858 — сильно устарела).

Как ни кажется неожиданным, сравнительно мало сделано по топографической минералогии в Германии, где имеются правда многочисленные и подчас прекрасные сводки по отдельным небольшим районам (Саксонии, Бадену, Силезии, Гарцу и друг.), но нет исчерпывающих описаний самих минералов и не сделано попытки в более широком масштабе связать эти минералы в общую генетическую картину. В этом отношении Германия стоит несомненно позади Скандинавских государств, где описание минералов Южной Норвегии *Brogger'a* (*Zeit. f. Kryst.* XVI. 1890 и *Skrifter af Videnskabs Selskab*. 1906. I. Christ.) является классическим. Обстоятельна, точна и полна новейшая сводка минералов

Швеции, издаваемая *Flink*'ом в шведском научном журнале (*Arkiv f. Kemi-Miner. och Geologi*. 1908 по 1914 г.).

Совершенно исключительною и единственною в своем роде полнотою отличаются наши сведения по минералогии Австро-Венгрии и Чехии. Огромное разнообразие минералов, любовь к коллекционированию и широкое изучение местной природы — все это создавало в Австрии тот интерес к камню, в результате которого и явился ряд превосходных детальнейших описаний минеральных богатств страны (Тироль — *Gasser*, Каринтия — *Hofer*, Трансильвания — *Koch* и др.), собранных воедино в классическом труде *Цефаровича*, вышедшем в течение почти полу столетия (*Mineralog. Lexicon*. 1859—1894. Wien. I—III). Эту же детальность изучения местной природы разделяет и соседняя Швейцария с ее хорошими, хотя и устаревшими, сводками *Wiser*'а (1838—1872) и *Kenngott*'а (1866).

Если оставить без внимания Бельгию, Сербию, Грецию и другие более мелкие государства Европы, то остается еще сказать лишь несколько слов об Италии, где разнообразие и своеобразие минералообразовательных процессов уже давно привлекало к себе не только итальянских ученых, но и приезжих натуралистов (v. *Rath*, *Lacroix* и многих других). Если для Италии в целом мы не имеем полной минералогической сводки, то во всяком случае для отдельных ее районов (Везувия, Эльбы, Каррары, Тосканы) описания минералов детальны, полны точных данных и дают прекрасный научный материал.

Наконец, мы кончим наш беглый обзор топоминералогических работ Европы указанием на то, что наиболее изученною ее частью является Финляндия, которая благодаря работам *Гадда*, *Н.* и *А. Норденшильдов*, *Виика* и сводкам *Куторги* и *Гольмберга* дает нам наиболее детальную и ясную картину распространения отдельных минералов на определенной территории.

Из азиатских стран недурно, хотя и не глубоко, изучена Япония — благодаря трудам *Вада*; Персия, благодаря сводкам немецких деятелей *Schmeisser*'а, *Tietze*, *Сталья* (русского исслед.), дает нам представление только о полезных ископаемых; Малая Азия тоже известна нам лишь в отрывках *Oswald*'а, (Армения), *Чихачева* (Северная часть), *De-Launay* (район Мраморного моря и Смирны); за время войны в период германской оккупации, немцами довольно обстоятельно изучены и сведены не только богатства Малой Азии, но и Балканского полуострова. Зато совершенно исключительно хорошо изучены в минералогическом отношении английские колонии, особенно Индия. Минералогия Индии *Малетта*, хотя и написана в 1887 г., дает превосходную и глубокую сводку, дополненную ежегодными новыми работами Индийского Геологического Комитета (особенно *Holland*'а 1908 г.). Недурно изучен и Цейлон, а также французские колонии (Индокитай).

В Северной Америке успехи минералогического изучения страны сделали за последние годы огромные успехи, и, хотя мы не имеем полной сводки для всей страны, составленной по одному типу и идее (кроме списков *Dana*), за то имеется очень большое количество отдельных описаний, среди которых последние работы особенно *Van-Hise*, *Lindgren*'а, *Emmons*'а и других заслуживают особого внимания по глубине проводимых в них генетических и геохимических идей. Не менее хорошо изучена Канада, но особенно детально Гренландия — благодаря классическим трудам *Ussing*'а (1898), *Bogild*'а (1905) и *Flink*'а.

Из центральных южно-американских государств недурно изучены Мексика, Аргентина (польским эмигрантом *Domeyko* 1879—1883), Перу и отчасти Бразилия.

Для Африки наши сведения очень отрывочны и неполны, если только исключить французские колонии (Алжир и Мадагаскар), для которых уже вышеуказанное многотомное сочинение *Lacroix* дает незаменимую сводку. В последние годы перед войною началось изучение колоний немцами, тогда как английские владения и вся центральная часть Африки, Абиссиния и даже Египет почти не дают нам сведений по вопросам минералогии.

Наконец, для Австралии мы имеем только частичную, но превосходную книжку *Liversidge* для Нового Южного Валлиса; для всех остальных районов Австралии мы имеем только ряд частных описаний, до сих пор еще не объединенных.

Таковы главнейшие данные по топоминералогическим работам, касающимся нерусских стран.

В каком-же положении находится топоминералогическое изучение России?

Я не буду останавливаться на частностях нашей литературы и степени изученности отдельных областей, так как именно этому вопросу посвящаю много внимания в специальных главах по отдельным геохимическим областям нашей страны. Здесь же я вкратце остановлюсь на главнейших сводках общего характера, касающихся России в ее целом.

Основной материал для минералогии России дали многочисленные академические экспедиции второй половины XVIII века: в первую очередь *Паллас* (1771—1785), затем целая плеяда натуралистов—*Георги*, *Лепехин*, *Гильденштедт* и др. дали первые сведения, правда очень отрывочные и разрозненные, о минералах России. Их дополнили и отчасти свели прекрасные работы *Германа* по Уралу (1789), *Попова* по Пермской губ. (1804—1811) и некоторых других. Оставалось лишь систематизировать все эти данные и свести их, расположив по минералогической системе. Этот труд взял на себя *Георги*, который с одной стороны непосредственно и близко знаком был с работами своих товарищей по Академии и с результатами их экспедиций, с другой, как хранитель геологической части Кунсткамеры и автор ее минералогического каталога, имел уже в руках систематический список минералов с их месторождениями. Все это дало ему возможность дать первую в России топоминералогическую сводку в своей „*Physikalische Beschreibung des Russischen Reiches*“ (1798). Хотя эта работа и представляла лишь сухой перечень минералогических и географических названий и лишь изредка дополнялась коротенькими примечаниями по существу, но именно она дала возможность известному академику *В. Севергину* положить начало более глубокому изучению русских минералов в его „Опыте минералогического землеописания Государства Российского“ (2 тома, 1809), впервые внося в него чисто географический принцип.

Первая половина XIX века дает нам относительно мало по сравнению с огромными успехами русской науки в Екатерининское время: шло накопление фактического материала, описание отдельных минералов, определенных районов. В это точное описательное знание огромную лепту вносило молодое Минерало-

гическое Общество, подготовливая новую эпоху в истории русской минералогии. Эта эпоха несомненно намечается классическим трудом *Н. Кокшарова* „*Materialien zur Mineralogie Russlands*“, одиннадцать томов которого выходили с 1854 по 1892 г. Этот огромный труд даля блетщую основу точному знанию русских минералов и вместе с тем свел воедино разрозненные сведения о распространении в России тех или иных минеральных видов. Почти одновременно с *Кокшаровым Д. Планер* задумал осуществление топографической минералогии, т. е. составление сводки о каждом минерале с указанием вкратце свойств, подробным и точным перечислением всех известных в России месторождений и подробными литературными ссылками. Этот труд был почти закончен к 1868 г., но *Кокшаров* увидел в нем конкуренцию своей работе и добился того, что труд *Планера* не был напечатан, а в виде рукописи, и притом не вполне переписанной, передан в архив Минералогического Общества. Должен сказать, что эта добросовестная и кропотливая работа и поныне сохранила свое значение и в значительной степени помогла мне при справках в настоящей работе.

После работ *Кокшарова* и *Планера* продолжалось накопление минералогических описаний, и лишь к началу XX века вновь оживились попытки связать разрозненные литературные данные в общую картину. Так, к Геологическому Конгрессу 1897 г. был подготовлен „*Guide des excursions du VII Congrès Géologique*“, в который вошел целый ряд очень ценных топоминералогических сводок. Потом наши сведения о полезных ископаемых были сведены *К. Богдановичем* в его „*Учении о рудных месторождениях*“ (1903—1912) и *Реутовским* в его „*Полезных ископаемых Сибири*“ (1905), а с 1916 года в специальном томе (IV-ом) сборника Академической комиссии: „*Естеств. производительные силы России*“ Начиная с 1908 г. стал выходить „*Опыт описательной минералогии*“ *Вернадского*, с ценнейшими и весьма полными сводками литературы и списками месторождений каждого минерального вида.

Так постепенно складывалось топографическое изучение минералов России, причем в основу отдельных работ ставились, как мы видели, разнообразные взгляды, и различные цели преследовались этими сводками.

## ГЛАВА ВТОРАЯ.

### Новые задачи топоминералогических исследований.

„Все более приходят к сознанию, что генетические взаимоотношения можно изучить только тогда, когда дружно совместно работают химия, геология и минералогия“.

*Бишоф. 1863.*

Как мы видели из вышеприведенного очерка топоминералогического исследования внерусских стран и самой России, до сих пор в них не было единства идеи, которая об'единяла бы разнородный минералогический материал и позволяла бы слить его в общее стройное целое—картину химической жизни земной коры. В настоящее время, когда минералогия выросла за рамки чисто описательной дисциплины и превратилась в химию земной коры, должны быть пере-

смотрены и те методы, и те точки зрения, с которыми раньше подходили к описанию минералов отдельных областей. Именно в изучение минерала в природе современная минералогия внесла совершенно новые идейные начала и перенесла центр тяжести его исследования из лаборатории, где минерал был оторван от своей естественной обстановки, к той природе, частью которой, и притом неразрывно, он сам является. Минерал перестал рассматриваться как самостоятельное тело земли, он сделался лишь частью космоса, тесными нитями связанною со всею жизнью земли, ее геологическою и космическою историею. Минералогия перестала быть наукою только о минерале самом, о продукте химических реакций земной коры, она стала изучать и самый процесс, т. е. ту физико-химическую и геологическую обстановку, в которой минерал образуется, существует и изменяется. До тех пор, пока минералогия занималась исследованием самих продуктов, ее объектом был минерал, как закономерный результат природных химических реакций и этот минерал, совершенно независимо от условий его образования, его спутников, его процессов изменения, был непосредственным и единственным объектом изучения и единицею систематики и классификации. Но как только в минералогию ворвались течения генетического характера, *Bischof*, *Roth*, *Sterry-Hunt* выдвинули химию осадочных пород, *Vant-Hoff* — химию осадков солей, а *Vogt* — физико-химию расплавленных масс, сам минерал перестал быть тою единицею, которою занимались исследователи, и на первый план выдвинулось изучение самой природной химической реакции и тех элементарных тел, которые принимают в ней участие.

Среди бесконечно и медленно текущих химических реакций природы сам минерал занял лишь временное место этапа в тех постоянных перемещениях химических элементов в земной коре, которые идут вокруг нас. В глубинах ли магм с их сложными процессами кристаллизации из расплавленной массы, в зоне ли метаморфизма, где идут постоянные реакции перекристаллизации и перегруппировки минеральных тел, на поверхности ли земли в явлениях выветривания, — всюду идут свои химические процессы накопления, соединения и нового распада. Слишком непостоянным является в этих представлениях понятие о минеральном виде, и внимание геохимика привлекает сам химический элемент, как наиболее постоянная, неизменяемая единица химических превращений.

Превратив таким образом минерал в изменяемый временный результат химических процессов земли, минералогия неизбежно должна была искать других более постоянных единиц, из которых бы сложилось минеральное тело, и которые были бы неизменными при смене химических процессов. Такими неизменными элементарными единицами современной минералогии явились сами химические элементы; и таким образом целые самостоятельные главы нашей науки должны были посвятить себя изучению элемента в естественной обстановке природы, его свойствам, распространению и судьбе его химических группировок. Создалась современная геохимия, как отрасль старой минералогии.

Таким образом, тройственными явились основные объекты исследования современной минералогической науки: минерал — процесс — элемент, и их гармоническое исследование на фоне общих геологических судеб земли и составило глубокий смысл современной науки. Нет никакого сомнения, что и это

содержание минералогии является временным, и что дальнейшие успехи научной мысли еще углубят и усложнят нарисованную схему. Уже сейчас минерал перестал быть эмблемой постоянства и неизменяемости, и глубокие химические превращения земли в ее продолжительной космической истории может быть скоро встанут в ином свете, нарисовав картины постепенного изменения и превращения самих химических элементов, их изотопов.

При современном состоянии наших знаний изучение минерала, процесса и элемента в природных условиях земной коры составляет основные задачи знания, и на фоне их каждая минералогическая проблема получает несколько иное, чем раньше, освещение. Безжизненные, сухие списки минералов с краткими географическими сведениями о местах их нахождения уже не могут удовлетворить современную научную мысль; не могут удовлетворить и детальные химические исследования месторождений минералов, без установления между ними связи и без выяснения природы тех пород, в которых они встречены и с которыми они теснейшим способом связаны.

Сообразно с современными задачами минералогии в новом свете вырисовываются и основные запросы топоминералогических описаний, и по отношению к ним совершенно одинаково должны быть поставлены те три основные вопроса, которые составили основу нашего современного минералогического мировоззрения. К детальному выяснению этих трех вопросов я перейду в дальнейшем.

О первом много говорить не приходится, на нем я останавлиюсь лишь вкратце, но за то второй и третьей задаче принужден буду посвятить специальные главы.

*Первая задача — описание минералов и их свойств*, т. е. то, что мы до сих пор называли минералогическим описанием.

Первую и по существу самую основную часть каждого минералогического описания составляет полное и по возможности детальное описание каждого минерального вида, встречаемого в данной области. Поэтому первую задачу топографических исследований представляется составление списка всех тех минералов, кои в данном районе встречаются или встречались.

Для каждого данного минерала необходим далее учет всех тех пунктов, в которых он наблюдался; в области же горных разработок — установление нахождения его в определенных глубинах или частях копи. Для каждого данного пункта должна быть нарисована картина количественного распространения данного ископаемого, т. е. в грубых чертах оценка его редкости или распространенности. Здесь же необходимо внимательное изучение, в каких породах минерал встречается, т. е. приурочение минерала к определенному геологическому телу, и выяснение взаимоотношения самого минерала с этим телом: таковым является непосредственное включение минерала в породу (как, например, порфирический полевой шпат в жильном граните), нахождение по трещине (в жиле кристаллы кварца) или на внешней поверхности (корочка кальцита) и т. д. Точное морфологическое описание самого минерала и условий его нахождения составляет одну из важных, но, к сожалению, сейчас часто пренебрегаемых задач минералогического описания. Особенно интересным является изучение изменений минерала при современных условиях, его выветривание, изменения в окраске и т. д.

Вторую группу вопросов топоминералогических наблюдений составляет изучение парагенезиса минерала и тех естественных минеральных ассоциаций, которые в данной области наблюдаются. До сих пор на эту сторону почти не обращали внимания и не пытались дать объективный и полный материал наблюдений. Между тем в каждой естественной группировке минерал занимает свое место не только территориально, но и хронологически. Последовательность осаждения минералов, совместное нахождение при одновременном процессе их образования, замещение одного минерального вида другим и т. д. — все это вопросы, имеющие огромное значение для выяснения тех процессов, кои положили им начало. Поэтому внимательное и полное изложение условий совместного нахождения минералов является первостепенною задачею исследователя. Лучшим способом этих наблюдений является графическое изображение последовательности по методу, намеченному еще французскою петрографическою школою и развитому позднее *Koenigsberger*'ом. В вертикальном направлении пишутся все наблюдавшиеся в данной естественной группировке минералы, а в горизонтальном, на уровне каждого, отмечается линией период его осаждения, иначе говоря — время. Если минералы встречаются одновременно, то их линии ложатся одна под другую; если один минерал начал свое образование в самые последние минуты осаждения первого, то его черта начнется немного раньше, чем окончилась черта первого. Если еще при этом звездочкою на черте отмечать периоды максимального роста минерала, то мы получим весьма наглядный способ изображения парагенетических отношений (см. примеры такого изображения в главах, посвященных Крыму или Уралу).

В дальнейшем парагенезисом мы будем называть комплекс условий, определяющих совместное нахождение ряда минералов, а самые минералы этого комплекса будем объединять под именем естественной минеральной ассоциации.

Под генерациею мы будем подразумевать совокупность минералов определенного момента минералообразования, а под фазою — определенные периоды этого процесса, объединенные рядом особенностей генетического характера.

Наконец, третью группу вопросов чисто минералогического изучения минералов составляет их детальное химическое исследование: качественный и количественный состав, содержание примесей, определяемых лишь точным анализом или спектроскопом, наблюдения над колебаниями состава в зависимости от цвета, места нахождения, момента образования, свежести образца и т. д. Этот цикл минералогического исследования должен дать базу для геохимических выводов, и без детальных и точных данных анализов минералов всякое геохимическое изучение области теряет почву под ногами.

*Вторая задача* — изучение происхождения и образования минералов, т. е. то, что мы сейчас называем генетическим описанием.

Эта сторона вопроса является совершенно исключительно важною при каждом топоминералогическом описании, так как вводит нас в ту химическую обстановку, при которой минерал образовывался и подвергался изменению в сложной геологической истории того участка земной коры, в котором он находится.

Такое генетическое описание, как это будет более детально разобрано в главе третьей, складывается из нескольких последовательных подходов, которые мы можем назвать: минералогическим, геологическим и физико-химическим. Под первым мы подразумеваем изучение парагенезиса данного минерала, связи его с определенными горными породами, последовательности осаждения а также изучение всех деталей взаимных отношений минералов с целью выяснения тех „первичных“ тел, из которых данный минерал образовался, и тех последовательных стадий, которые он при этом прошел. Попутно изучается форма залегания данного минерала среди других, намечающая собою часто определенный генетический тип.

Вторую задачу мы ставим выяснение, на основании всего комплекса имеющихся налицо условий, геологической обстановки всего района и в частности той непосредственной области, в которой минерал встречается. Это выяснение имеет целью определение генетического типа, т. е. в общих чертах того геологического процесса, который положил ему начало, например, поствулканический, магматический, катагенетический и т. д. Выяснение типа генезиса есть ни что иное, как приурочение химического процесса образования минерала к определенному комплексу геологических факторов во времени и пространстве. Таким образом этим путем устанавливается та термодинамическая зона (по *Van-Hise* или *Suess'y*), в пределах которой шло образование минерала, время, к которому в геологической хронологии относится данный процесс, и, наконец, та последовательность, в которой шли отдельные генетические процессы. Последнее намечает собою то, что я называю генетическим циклом. Под этим термином я подразумеваю совокупность тех генетических процессов, которые связаны определенной последовательностью, как естественный результат тех или иных геологических явлений: например, магматический процесс, после вулканические процессы, гидротермальные жилы и т. п. Подробнее все эти вопросы будут рассмотрены в следующих главах, см. стр. 33.

Наконец, третьей стороной генетических описаний является выяснение, на основании предыдущего определения геологического процесса, той физико-химической обстановки, в которой процесс протекал. К нахождению точных законов и точной математической формулировки величин основных факторов должно стремиться каждое научное описание минералообразовательных процессов. С этой точки зрения основными задачами в этом направлении являются: выяснение форм и источников энергии, как причин химических реакций, выяснение вероятных температур и давления, типа давления, концентрации реагирующих веществ, применение закона масс и закона *Оствальда* (о фазах неустойчивого равновесия), учет химических факторов и т. д. К сожалению, на этот путь точного анализа явлений природы мы можем становиться лишь в редких случаях, но частично разрешение этих физико-химических задач всегда возможно и необходимо

*Третья задача—распространение и роль отдельных химических элементов;* это та область современных исследований, которую мы называем геохимической.

Не меньшей важности задача при топоминералогических исследованиях лежит в определении распространения и роли отдельных химических элементов.

На этот путь научная работа становилась уже неоднократно, при изучении распространения каких-либо полезных элементов, тяжелых металлов, калия, фосфора и т. д., но никогда этот вопрос до сих пор не рассматривался безотносительно полезности того или иного тела. Между тем полная геохимическая картина каждого района может дать ключ к выяснению целого ряда вопросов большой научной важности, причем в первую очередь является необходимым точный учет всех встречаемых в данной области химических элементов, качественной и количественной оценки каждого из них. В этой области, конечно, точное знание может быть достигнуто только путем количественных определений отдельных элементов, а это в свою очередь может базироваться лишь на большом количестве точных аналитических данных.

Далее, задачей таких геохимических описаний должно явиться установление связи между отдельными элементами при генетических процессах, связь этих элементов с определенными участками земной коры, породами, геологическими явлениями и геологическими эпохами. В этом направлении мы подходим к ряду интереснейших вопросов и сообщений, позволяющих гораздо более определенно, чем раньше, подводить под основу геологических явлений определенные физико-химические начала.

Наконец, на основании изучения всей геологической и химической обстановки, представляется интересным и вполне возможным для каждого данного элемента нарисовать последовательные этапы его соединений в земной коре и нарисовать, таким образом, его историю и роль в геохимических процессах. Несомненно, что в этом случае изложение вопроса выходит за пределы самой твердой земной коры, и судьбы химических элементов на земной поверхности определяются в большой степени процессами биохимического характера, жизнью растений и животных и культурнохозяйственной деятельностью человека. С этой точки зрения полнота геохимических представлений может быть достигнута лишь путем привлечения к решению ее задач почвоведения, агрономии, метеорологии, бактериологии и т. д.

В этом направлении химия живого вещества дает нам еще ряд интереснейших данных.

---

Совокупность приведенных выше трех основных задач минералогического описания вводит нас в круг идей чисто химического характера, но приуроченных к определенным территориальным единицам.

Я считаю правильным такого рода описания называть химико-географическими, вкладывая в это понятие ту новую постановку идеи минералогических исследований, о которых я выше говорил.

Мне кажется, что значение такого рода исследований до сих пор недостаточно учитывалось. География в ее отдельных циклах и областях игнорировала до сих пор химизм земных процессов, не учитывая, что химические преобразования земли в каждом данном участке являются основой ее органической и очень часто физико-геологической жизни. В сложном комплексе природных процессов, где переплетаются деятели космического характера с деятелями организованной природы, химические процессы являются не столько результатом действия этих факторов, сколько их первопричиной. Большинство

природных процессов ведет к тем или иным перемещениям химических масс, их перегруппировкам, к выделению или поглощению того или иного вида природной энергии, а это в свою очередь создает новые генетические циклы.

Мы пытаемся на нижеследующих страницах сделать опыт таких химико-географических описаний, однако убеждены, что их глубокое и более удачное выполнение сможет быть дано лишь в том случае, если в будущих географических исследованиях химическая сторона каждого процесса природы будет учтена и изучена, если с точки зрения геохимика мы научимся подходить и к процессам жизни на земле, и к деятельности самого человека. А до тех пор, пока не будут даны количественные схемы тех мощных химических явлений, которые происходят на земной поверхности, пока количественно не будет изучена их энергия и их течение, до тех пор нам придется оставаться в рамках чисто внешних описаний, качественной оценки, часто субъективной и несовершенной.

И мне хотелось бы нижеследующими геохимическими описаниями России отметить тот огромный недостаток в чисто аналитическом материале и обратить внимание на необходимость более полного и более систематического обследования состава минерала и горных пород русской земли, чем этому до сих пор отводилось места в нашей литературе, к сожалению за последнее время не достаточно ценившей точный описательный материал.

## ГЛАВА ТРЕТЬЯ.

### Происхождение и образование минералов.

„Минералы, которые называют также телами ископаемыми, являются веществами, кои растут без того, чтобы обладать жизнью. и без видимых соков в их жилах или сосудах“.

*Валлепиус. 1747.*

Основные положения генетической минералогии.

Как было выше указано, вопросы образования и изменения минералов являются в современной минералогии тем более важными, что ими определяется само распространение и распределение в земной коре минеральных видов, а также их устойчивость или изменчивость в современных условиях. В этом направлении не только наше внимание привлекают чисто научные вопросы, открывая ряд новых закономерностей и связывая образование минерала со всею химическою жизнью земли, но и вопросы чисто практического характера правильно разрешаются лишь при учетывании генетических данных. Не даром обычная схема современной науки о месторождениях полезных ископаемых построена на генетической классификации.

Многообразие и сложность химических превращений земной коры в своих основных чертах зависит от двух главных причин: от факторов интрателлурического или теллурического (земного) происхождения и факторов космического

К первому фактору по существу относятся внутренние запасы тепловой энергии, как в виде таковой, так и в скрытой химической или молекулярной форме: таков сложный мир химических процессов, связанный с глубинами земли, с застыванием магм, выделением паров и газов, воздействием на другие породы и т. д. Второй цикл факторов прежде всего определяется солнцем, его огромной энергией, тепловой и химической (лучистой), которая вызывает к жизни целый ряд химических и физических процессов на поверхности земли: органическая жизнь с ее биохимическими реакциями, распределение воды и суши, циркуляция поверхностных вод, наконец, самый состав атмосферы и гидросферы является результатом глубоких воздействий извне.

Сообразно с этими двумя главнейшими факторами, обуславливающими перегруппировку химических элементов и образование минералов, мы можем наметить десять основных генетических типов, по которым в земной коре идут химические процессы <sup>1)</sup>.

Кристаллические и метаморфические породы	}	I.	1. Образования огненножидких магм.	}	выс. t, выс. или низк. p.
			2. Гидротермальные выделения в пустотах, миндалинах, жеодах и т. п.		
			3. Жильные образования: а) пегматитовые; б) гидротермальные (рудные); в) гидротермальные дислокационные (Альпийские жилы).		
			4. Пневматолиты: а) поверхностные (налеты, возгоны); б) глубинные (штокверки).		
Осадочные породы.	}	II.	5. Контактные образования: а) эндо- и б) экзо-контакта; в) мигматические.	}	средн. t и сред. p.
			6. Регионально-метаморфические образования (фальбанды).		
Осадоч. и изверженные породы.	}	III.	7. Нормальные осадочные образования (синхронические).	}	низкое p и низкое t
			8. Образования диагенеза.		
			9. Образования катагенеза (частью осадки вадозных вод в пустотах и трещинах).		
			10. Процессы поверхностного выветривания (поверхностного метаморфизма; выцветы, дендриты и т. д.; почвообразование) гипергенеза.		

Исследование генетических типов в минералогии, как ниже указано (стр. 25), опирается на два самостоятельных научных метода: первый, который можно было бы назвать эмпирическим, пытается связать минерал с комплексом определенных физико-географических, геофизических и геологических явлений; второй—пытается анализировать явление геохимического процесса с точки зрения законов общей и физической химии. Оба метода дополняют и развивают друг друга. Так второй, поставленный на экспериментальную почву позволил *Вант-Гоффу* построить стройную теорию осадков минеральных солей из озер; тогда как первый—путем аналогий выявил термические условия водных бассейнов прошлого и, опираясь на наблюдения *Калешинского* и особенно блестящие обобщения *Аррениуса* и *Бухе* над температурой

<sup>1)</sup> В этом виде систематика генетических процессов ближе всего примыкает к схеме *Koenigsberger'a* (1914—1920г.).

венгерских озер, внес серьезную термическую поправку в схемы *Вант-Гоффа*. Нет никакого сомнения, что хронологически первый метод должен предшествовать второму, тем более, что далеко не всегда возможен анализ природного геохимического процесса при помощи точных данных физической химии.

По отношению к первому методу наша задача сводится в каждом данном случае к определению генетического типа, к которому данный случай относится, к выяснению связи его с главнейшими геохимическими зонами земной коры и, в третьих, к установлению хронологии генетических процессов, как их последовательности, так и связи с определенными моментами геологической истории.

На этих трех вопросах мы должны несколько остановить наше внимание  
Определение генетического типа.

Мы условились называть генетическим типом тот геологический процесс, который в определенной причинной зависимости вызывает ряд столь же определенных химических превращений в данной области.

Однако, надо иметь в виду, что по отношению к каждому минералу выяснение геологического процесса, который положил ему начало, представляет нередко весьма значительные затруднения, и даже специальные исследования, поставившие себе целью на месте—в поле—изучение этого вопроса, далеко не всегда могут разрешить эту задачу с полной определенностью. Тем более затруднительным и часто весьма рискованным является отнесение минералов каких-либо районов к определенным геохимическим процессам тогда, когда эти соединения изучаются только в музейных собраниях или по литературе. В этом случае возможны лишь более или менее правильные догадки, основанные скорее на знании генетической характеристики данного минерального вида вообще, чем на оценке местных условий <sup>1)</sup>.

Дальнейшие трудности при отнесении той или другой минеральной ассоциации к определенным генетическим типам заключаются в многочисленных переходах одного в другой, в существовании целого ряда промежуточных процессов, одинаково примыкающих к нескольким из намеченных типов. Так, напр., пневматолитические процессы очень часто являются лишь формой экзо-контактных, гидротермальные выделения в пустотах и жеодах связаны с мариолитическими пегматитами и т. д. С другой стороны для каждого данного района обычно приходится наблюдать целую последовательность, и притом строго закономерную, генетических процессов, что еще более осложняет задачу (см. стр. 33).

Таким образом определение генетического типа является нередко задачей нелегкою, требующею учета целого комплекса разнообразных явлений и при-

---

<sup>1)</sup> Именно с этою трудностью встретился и я при изучении генетики минералов России, и, потому, эта часть дальнейшего моего изложения во многих отношениях может оказаться неудовлетворительною и нуждаться в дополнении и исправлении. Более доступна и легка она была для меня при описании тех областей, которые лично мне известны по полевым исследованиям и экскурсиям. Таковы: область фено-скандинавского массива, кембросилурийских отложений Петроградского края, центрально-русской каменноугольной платформы, пермских отложений Поволжья, Крым, Урал и некоторые части Алтая, Саян и Забайкалья.

знаков и часто основанной лишь на детальном геолого-минералогическом исследовании как самого минерала, так и окружающей его обстановки.

Связь генетического типа с зонами земной коры.

Отнесение отдельных генетических процессов к разным зонам земной коры устанавливается на основании данных *Van Hise*, сведенных мною в диаграмме, впервые напечатанной в журнале „Природа“ в 1913 г. в несколько упрощенном виде. См. рис. на таблице I.

В основу этой диаграммы положено установление в земной коре нескольких зон на основании трех основных геохимических факторов: температуры, давления и главных химических деятелей:  $O$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $SiO_2$ . Каждая зона характеризуется определенными величинами (вернее говоря интервалами величин) этих трех групп физико-химических факторов и определяет ту форму равновесия, которая господствует в данной области земной коры. Граница зоны цементации и анаморфизма, вообще говоря, приближается к границе сжатия и растяжения, т. е. отвечает по преимуществу поясу спокойствия в представлении современных геофизиков. Все, лежащее выше ее, захвачено явлениями образования трещин, сжатия, сдвигов и процессов тангенциального (бокового) давления. Эти процессы генетически совершенно обособлены, так как носят поверхностный характер, и в них по преимуществу являются деятелями вода и угольная кислота чем обуславливается тот тип минералообразовательных процессов, который мы выше назвали катагенезом в одних случаях или альпийскими жилами в других.

В противоположность этому, более поверхностному, типу явлений, мы отличаем ряд процессов, связанных с областями ниже уровня спокойствия, с глубинными очагами изверженных магм (базальтовой постелью *Daly*) и тех скоплений тяжелых металлов, источник коих мы должны условно с ними связывать: это цикл геохимических явлений, связанных с вулканизмом и рудными жилами. Дальше глубин в 20—30 (может быть 40) километров мы не идем, и за пределами этой границы наши геохимические представления могут быть основаны лишь на косвенных данных. На рис. таблицы II даны те же взаимоотношения согласно данным *V. M. Goldschmidt'a* (1912), несколько переработанным *F. Veske*.

Таким образом вышеустановленные генетические типы приурочиваются к определенным глубинным зонам *Лукашевича* следующим образом:

- I. К зоне биосферы и катаморфизма относятся типы — 4а, 7, 8, 9, 10 (см. стр. 14).
- II. К зоне цементации и анаморфизма относятся типы — (2), 3б, 3в, 5а, б, в, 6.
- III. К зоне магматической относятся типы — 1, 2, 3а, 4б, 5а, в.

Блестящая работа *Leith'a* и *Mead'a* (*Metam. geology*, 1915) внесла значительный корректив в эти представления: она показала, что одни и те же генетические типы могут осуществляться в разных зонах, и что поэтому связь с определенными глубинными областями есть лишь упрощенная схема земных процессов. Значение этой идеи еще ранее защищалось *F. Veske* и мною, на основании применения закона *Оствальда* (см. дальше) к земным процессам.

Каждая из этих зон, вернее говоря областей, характеризуется некоторыми типическими чертами связанных с нею генетических типов, и на них мы вкратце остановим наше внимание.

### I. Зона поверхностных типов.

Область атмо-гидросферы и верхней части литосферы, отвечая в общем низким температурам, в ходе своих химических реакций характеризуется прежде всего образованием соединений с выделением тепла, т. е. с меньшим содержанием свободной энергии, чем ее сумма в веществах реагирующих. Таким образом, в принципе общее направление возможных геохимических реакций поверхностных частей определяется термохимическими взаимоотношениями между самими соединениями. Однако, в этот общий закон химия земной коры вносит свой корректив, отвечающий в химии накоплению веществ, выходящих из поля реакций: а именно в природе наблюдается образование и накопление именно тех соединений, которые лучше других сохраняют равновесие при соприкосновении с главными активными химическими агентами земли: водой, угольной кислотой и кислородом. Таким образом, мы получаем для этой зоны земной коры следующее эмпирическое правило: в земной коре по преимуществу накапливаются те химические соединения, которые образуются с максимальным выделением тепла и которые устойчивы по отношению к кислороду, угольной кислоте и воде. Всякое нарушение этих двух основных положений может быть вызвано лишь наличием каких-либо особых физико-химических или геологических явлений; так, напр., скопление легко растворимых галоидных солей натрия и калия возможно лишь под покровом илистых осадков, образующих водонепроницаемый слой над осадком соли; накопление каких-либо самородных элементов (напр., железа или углерода) возможно лишь в случае воздействия каких-либо источников энергии извне—напр., органической жизни, солнечной инсоляции, человеческой деятельности и т. д.

Основными чертами этих генетических типов являются, кроме того: широкое распространение коллоидального состояния материи, образование малоустойчивых изменчивых соединений, часто не отвечающих точным стехиометрическим отношениям (так называемые, мутабильные соединения), и вообще большая подвижность химических реакций и химических равновесий, отвечающая постоянным колебаниям поверхностных факторов—температуры, давления, влажности, жизненных процессов и т. д. Более подробно об этих процессах см. ниже стр. 36.

### II. Зона метаморфических типов.

Целый ряд промежуточных зон между магматической в глубине и биосферой на земной поверхности объединяется рядом общих геохимических закономерностей. В верхних частях мы видим еще преобладание воды и угольной кислоты, но ниже они замещаются кремневою кислотой, вытесняющей углекислоту из ее соединений. В этой зоне мы наблюдаем повышение с глубиной и давления, и температуры, но благодаря противоположному влиянию этих двух факторов действие каждого из них частично ослабляется. В верхних частях реакции идут в водных растворах по капиллярам и ультракапиллярам горных пород, в более глубоких—наблюдается постепенный переход в зону пластического состояния вещества, где реакции идут в твердом состоянии. В верхних частях мы встречаемся с местными натяжениями, сжатиями, образованием складок и вообще боковых тангенциальных движений (боковые давления, стресс американской школы); в глубинах, наоборот, в зоне растяжения мы наталкиваемся на процессы разрыва земной оболочки, образования трещин с жильными процес-

сами, внедрением магмы (батолитов) и т. д. Наконец, в еще более глубоких зонах мы переходим к давлению гидростатического характера.

Все эти данные определяют общее направление геохимических реакций, носящих явно экзотермический характер на поверхности и более безразличный с термической точки зрения—в глубине. В первых преобладают вещества с содержанием воды, обладающие малыми удельными весами, во вторых—соединения безводные, высокого удельного веса, с преобладанием кремнекислых соединений и выделением газообразных продуктов.

### III. Зона магматических типов.

Эта область, более подробно описываемая ниже, характеризуется в большинстве случаев высокими давлением и температурой, преобладанием кремнекислых соединений и подчинением законам физической химии, устанавливаемым для расплавов, согласно новой терминологии. Мы встречаемся здесь преимущественно с веществами кристаллическими, высоких удельных весов; сочетания минералов подчиняются физико-химическим законам равновесия, правилу фаз, закону *Оствальда* и основным законам неионизированных растворов.

### Последовательность генетических типов (циклы) и их хронология.

Изучение природных процессов нам показывает, что генетические типы в истории земной коры следуют в определенной постепенности, создавая целые серии, которые мы будем называть циклами. Нам прекрасно, напр., известна история минералообразовательных процессов, связанных с магматическими процессами, за которыми следуют стадии: эпимагматическая (по терминологии *F. Becke*), затем пегматитовая, вслед за которой начинаются явления пневматолита и гидротермальных процессов, т. е. то, что объединено было *Вейншенком* под именем поствулканической деятельности.

Таким образом, всякий застывающий массив вокруг себя в известной хронологической и топографической последовательности вызывает ряд различных генетических процессов, часто очень сложно переплетающихся между собою и обычно идущих скачками с частичными возвратами к ранее бывшим стадиям. В таких месторождениях запечатлены, таким образом, целые циклы генетических процессов, и задачей геохимического анализа является разделение минеральных ассоциаций на отдельные фазы и приурочивание каждого минерала к какой-либо определенной фазе длительного природного процесса. Конечно, эта задача выполнима лишь в тех случаях, когда мы имеем дело не с одним минеральным телом, а с целым комплексом, т. е. с тем, что мы назвали минеральной ассоциацией (см. выше стр. 10). Чем лучше изучен парагенезис каждого минерала и последовательность осаднения, тем легче решение вопроса о генетическом типе и о том цикле, к которому данный тип относится.

Изучению генетических циклов необходимо придавать большое значение, и, потому, на их характеристике (стр. 25) я останавлиюсь с большою детальною в особой главе.

Отчасти с вопросами циклов связан и другой вопрос о хронологии процессов минералообразования и о возрасте отдельных минералов.

При исследованиях генетических типов, особенно в породах осадочного происхождения, обычно приходится решать вопрос о возрасте данного минерального тела, т. е. об установлении хронологической связи генетического процесса с определенными эпохами геологической истории. Для изверженных пород этот вопрос заключается в определении времени образования данного массива, лакколита или потока путем анализа взаимоотношений кристаллической и тех пород, которые его окружают. Для заполнения трещин и жил этот вопрос приобретает особое значение, но и особые трудности, так как в этом случае является интересным не столько определение возраста образования самой дислокации (напр., разломов герцинской системы, т. е. конца каменноугольной эпохи), сколько времени заполнения трещины минеральными продуктами (так, заполнение герцинских трещин металлическими соединениями может быть отнесено к тому-же периоду, что и образование самой трещины, или-же к гораздо более новым процессам—напр., третичной эпохе). Наконец, в одном и том-же районе мы обычно встречаемся с наложением дислокационных систем разного геологического возраста, что еще более запутывает картину.

В осадочных породах определенной стратиграфической серии образование минерала может быть синхроничным с вмещающей породой, и в этом случае возраст минерала датируется самим горизонтом, в котором он находится, или-же более позднего происхождения: в последнем случае мы можем наблюдать несколько различных типов: если образование минерала можно отнести к диагенетическим процессам, идущим еще на дне самого водоема, в котором осадок превращался в горную породу, то можно без большой ошибки признать за минералом приблизительно тот-же возраст, что и вмещающей породы (осадок); если же возникновение минерала приходится связывать с позднейшими явлениями—перекристаллизации, химической перегруппировки и внедрением посторонних химических деятелей (напр., привнесением новых веществ), то вопрос о времени возникновения этого нового для осадочной породы процесса обычно является очень сложным и далеко не всегда может быть разрешен с достаточной определенностью лишь на основании изучения всех деталей геологической обстановки.

Хронология геохимического процесса может быть, однако, в некоторых случаях определена точнее: целый ряд весьма любопытных методов, основанных частью на явлениях радиоактивности, устанавливает хронологию и возраст минерала на основании количественных соотношений некоторых входящих в него элементов. Так, еще *Carnot* предложил учитывать возраст горизонтов по взаимному отношению фосфора и фтора, содержащегося в костях. Это отношение обычно только в древних отложениях отвечает составу апатита, постепенно приближаясь к нему по мере того, как мы от современных остатков переходим к более древним. Вероятно, некоторое определение возраста могло-бы быть сделано путем изучения раковин современных и разных возрастов третичной и четвертичной эпохи, ибо слагающее их вещество (конхит, близкий к арагониту) постепенно переходит в кальцит, с которым мы только и встречаемся, когда исследуем мезозойские или палеозойские раковины.

Наконец, наиболее точный метод дают нам современные идеи радиоактивности, на основании которых устанавливается определенное во времени взаимо-

отношение между конечными и боковыми элементами распада с одной стороны и первоначальными материнскими—с другой. В этом направлении целый ряд интереснейших данных позволяет в абсолютной мере определять возраст радиоактивных соединений и этим путем ближе подходить к точной хронологии и генетических типов, и связанных с ними геологических процессов.

Во всяком случае отнесение генетических процессов, наблюдаемых в данной области, к определенным геологическим эпохам и определение их возраста есть необходимейшее условие, чтобы связать минералогию данной области с ее геологией и поставить в связь химические превращения земли с теми физико-химическими факторами, которые во всей истории ее постепенно видоизменялись и этим видоизменяли и ее лик, и ее животный и растительный мир, и ее химизм.

История химических процессов земли в их геологической последовательности нас учит, что, подобно развитию органического мира, химические явления развивались и текли, непрерывно видоизменяясь и находя новые формы равновесия при новых условиях, но что в общем были периоды, когда ход химических процессов был замедленным, и, наоборот, — другие, когда генетические циклы с особо интенсивностью видоизменяли и перегруппировывали химические элементы природы.

Подобно тому, как в геологии современные научные течения стремятся установить периоды относительного покоя (эволюционного хода развития) и периоды революционных вспышек, так и в геохимии мы можем наметить ряд моментов крупной вулканической и дислокационной деятельности, полагавшей начало новым генетическим циклам и новым элементогенетическим периодам (см. ниже стр. 51).

### Энергетика геохимических процессов.

Мы уже имели случай (на стр. 13) отметить двойственность источников энергии геохимических процессов: именно интрателлурическую и космическую; остановимся на этом вопросе подробнее.

К первой группе видов энергии мы относим прежде всего внутреннюю теплоту земли, как крупнейший фактор природных минералообразовательных процессов. Эта энергия, повидимому, лишь частично является остатком космической, в значительной степени (может быть, в бóльшей) она является результатом химических экзотермических реакций, идущих в поверхностной зоне окисления более глубоких областей земли. Таким образом косвенно сама химическая энергия является одним из важнейших источников новых геохимических процессов земной коры.

С тепловой энергиею связана энергия механическая, проявляющаяся в разломах, образовании складок, натяжениях и растяжениях земных оболочек, эпифрогенетических и орогенетических движениях и т. д. Большое геохимическое значение имеет и сила тяжести, обуславливающая повышение нормального давления в глубинах, перемещение веществ в огненножидких растворах, согласно удельному весу, и такое же накопление в водных бассейнах земной поверхности. Крупным источником химических превращений является тепловая энергия, выделяемая при распаде радиоактивных веществ, пови-

димому накопленных лишь в верхних частях магматической зоны земной оболочки. Если мы примем радиоактивность, что весьма вероятно, за общее свойство вещества, то этим мы получим огромный и довольно постоянный источник тепловой энергии в менее глубоких зонах земли. Большое значение, но еще далеко не выясненное, играет магнитная и электрическая энергии, причем последняя проявляется в явлениях электролитического распада, столь частых в разбавленных растворах земной коры, и в своеобразных электротоках рудных жил при осаждении разнородных самородных и сернистых металлов.

Вторую группу видов энергии составляют космические силы, по существу лежащие в основе и вышеприведенной группы. Нет никакого сомнения, что космос незаметными нитями связан со всеми только что перечисленными видами энергий, действуя на них непрерывно. Так сила тяжести неизбежно регулируется и согласуется с силами космических напряжений, играющих в явлениях прилива и отлива не только механическую, но и химическую роль. Само внутреннее интрателлурическое тепло есть частью остаток космической энергии, скованной внутри земли, и таким-же остатком старых космических процессов мы должны признать в общих чертах основное распределение химических элементов по отдельным зонам земной коры. Да и самый состав поверхностных частей земной коры в значительной степени регулируется постоянным притоком вещества в виде метеоритов и метеорной пыли. И обратно: часть энергетики земли теряется, уходя обратно в космические пространства, таков полет за пределы земной атмосферы быстродвигающихся частиц легких газов.

Однако, основным видом энергии космоса, получаемым землею, являются лучи солнца.

Было-бы большою ошибкою недооценивать геохимическое значение этого вида энергии, обуславливавшего с самых первых моментов зарождения твердой пленки сложный мир химических реакций. В лучах солнца мы прежде всего различаем химические лучи, под влиянием которых складывается жизнь растительного мира, а через нее и животного. Весь комплекс углекислых пород, накопление угля, все генетические циклы земной поверхности в своей основе регулируются химическими силами космоса. Но не только через посредство биохимических реакций проявляет свое влияние солнце на неорганизованную природу земли: целый ряд химических процессов непосредственно возникает в группировках элементов земной поверхности, как, напр., разложение галоидных соединений серебра, окисление водорода, выделяемого некоторыми бактериями, изменение блеклых руд и т. д.

Наравне с химическими лучами солнце действует и своими теплыми. Благодаря оболочке атмосферы космическое тепло поддерживает современный термический режим земной поверхности, и можно считать доказанным, что начиная с кембрия внутреннее интрателлурическое тепло, вне вулканических процессов, не оказывало никакого заметного влияния на тепловые процессы самой поверхности. Подобно химическим лучам и тепловые действуют частью непосредственно на земные процессы, согласно положению *Оствальда* вдвое ускоряя каждую химическую реакцию при повышении температуры ее течения на  $10^{\circ}$  C. Но значительно большее количество реакций идет чрез посредство *организованного мира*, еще гораздо более чутко реагирующего на колебания или

изменения теплового режима. И перед нами встает вся картина зонального расположения геохимических реакций земной поверхности, начиная с медленных, почти незаметных изменений полярных стран и кончая пустынным поясом или субтропиками. Энергия живого вещества обуславливает этот новый мир химических реакций, и вся осадочная толща земной коры является результатом взаимодействия космоса, земли и живой природы. *Я. Самойлов* очень удачно назвал каждое минеральное тело, в своем образовании прошедшее через организм,— **биолитом**.

Среди видов энергии, создаваемых лучами солнца, мы не должны забыть и все более и более усиливающуюся деятельность *человека*. В своей культурной и промышленной деятельности человек сделался, наравне с полипами и бактериями, крупнейшим фактором, направляющим химические процессы земной поверхности: создавая свои научные, культурные и промышленные ценности, сжигая уголь и нефть и выплавляя металлы, человек занял определенное место в геохимии, стремясь накопить энергию в этих ценностях и жизненным процессом создания эндотермических соединений замедлить темп нормального геохимического процесса, идущего неуклонно в сторону максимального выделения тепла.

#### Физико-химический анализ генетических типов.

Очевидно, что выяснение генезиса данного минерала есть ни что иное, как определение по ряду ныне наблюдаемых признаков и явлений той физико-химической обстановки, в которой шло его образование и дальнейшее преобразование. Таким образом, отнесение данного минерального вида в данном месторождении к определенному генетическому типу является первым подходом к разрешению этой задачи. Более точная характеристика бывших физико-химических условий не всегда возможна, и лишь в единичных случаях может быть дан более точный количественный учет некоторых геологических факторов. Так, по отношению к температуре, в настоящее время на основании ряда явлений, объединенных *Райтом*- термином геологического термометра, иногда возможен более точный ответ: такими геотермометрами могут явиться, диссоциация карбонатов щелочноземельных металлов, совместное нахождение каких-либо тел, пары которых хорошо изучены термически в лабораторной обстановке, и, наконец, в качестве одного из самых интересных геотермометров, разности кварца, намечающие весьма определенно границу в  $575^{\circ}$  С. Правильный учет всех физико-химических факторов и применение их к анализу той или иной природной ассоциации составляют одну из важнейших задач генетической минералогии, и, только благодаря трудам современной американской школы, удается иногда расшифровать природные процессы и вложить их в точные формулы химической реакции.

Уже указано было выше, что температура каждого природного процесса сейчас начинает уже вырисовываться при помощи тех специальных методов, которые введены Геофизической Лабораторией в Вашингтоне. Равным образом, опытами *Adams'a* положено начало пониманию процессов давления и его количественному учету. Метод непосредственных наблюдений над современ-

ными процессами и здесь, как и в общей геологии под влиянием *Вальтера*, проливает свет на третью группу факторов: распределение химических масс, концентрацию природных растворов и их электролитический распад. Широкое развитие органического синтеза вводит нас в цикл вопросов о каталитическом действии отдельных элементов и их соединений, подводя более прочный фундамент под те таинственные *agents minéralisateurs*, которые введены были французскими исследователями для объяснения кристаллизации глубинных пород.

Менее удачно протекает сейчас учет электромагнитных сил, роль которых в геохимии несомненно больше, чем это до сих пор предполагалось. Степень электролитического распада магм нам совершенно неизвестна, и потому мы совершенно не можем учесть, несомненно идущих в глубинах, процессов переноса вещества под влиянием электромагнитного поля земли. Наконец, не поддаются еще физико-химическому анализу явления жизни и играющие огромную геохимическую роль.

Таким образом, лишь постепенно расшифровывая природные процессы, мы научаемся разлагать их на составные части и анализировать в отдельности каждый фактор, из которых слагается физико-химический комплекс явлений.

Физико-химическое толкование процессов минералообразования нашло себе место лишь после работ *Vant-Hoff'a* над солями, *Vogt'a* над минералами магм и *V. M. Goldschmidt'a* и *Niggli* над образованиями контактов и метаморфизма. При этом выяснилось, что с точки зрения физико-химии мы можем установить в природе несколько типов процесса. В одних случаях мы имеем дело с уже установившимся равновесием при известном длительном процессе, которое создано под влиянием определенного и установившегося режима: напр., таковым мы можем признать химическую и минералогическую природу какой-либо кристаллической породы, видоизмененной до конца контактом, или же серии осадков на дне минерального озера. В таких случаях строго определенных процессов с о с у щ е с т в о в а н и е минералов определяется законом фаз (отчасти в формулировке *V. M. Goldschmidt'a*) или законом химического равновесия между парами солей в растворе и осадке (по *Vant-Hoff'у*); с другой стороны последовательность образования отвечает основным законам физической химии, найденным для изменения равновесия при кристаллизации или при переходе из одного агрегатного состояния в другое.

Повидимому, такое применение законов физической химии вполне успешно приложимо к четырем большим областям минералообразования: минералам кристаллических пород, минералам контактного и регионального метаморфизма, минеральным осадкам озер и диагенетическим образованиям дна моря.

Однако, и в этих случаях мы часто наблюдаем ряд явлений, при которых группировка не отвечает конечным условиям физико-химического равновесия, а лишь частично приближается к нему (напр., образование контактных минералов в известняке при сохранении частей последнего).

Гораздо сложнее представляется с физико-химической точки зрения вторая группа явлений, связанных с длительными изменениями физико-химического режима или с изменением притекающих со стороны химических веществ. В этом случае мы наблюдаем комплекс минералов, из которых каждый в отдельности отвечает определенным условиям физико-химической обстановки, находясь

В состоянии равновесия только по отношению к ним, а вся совокупность минералов отвечает в определенной последовательности последовательному изменению этой обстановки: таковы, напр., образования минералов в жилах. Если при этом нет приноса нового вещества, а изменение внешних условий идет путем правильного и постепенного изменения какого-либо фактора (например, что очень обычно, понижения температуры), то мы получаем переход к первой группе явлений: так, напр., постепенное изменение концентрации соляного раствора в озере приводит к определенной последовательности осаждения; такая же последовательность наблюдается в магматическом бассейне при постепенном падении температуры. Оба эти примера прекрасно укладываются в рамки определенных физико-химических законностей при учетывании постепенного изменения некоторых из факторов, определяющих равновесие.

Но если при таком длительном процессе (в котором изучается последовательная ассоциация минералов, а не одновременный комплекс) происходит и изменение в химической обстановке путем изменения природы реагирующих веществ, то мы получаем весьма сложную генетическую картину, в которой приходится учитывать законности не столько чисто химического, сколько геологического характера. Так, напр., изменение в составе рудной жилы может быть обусловлено: с одной стороны, понижением температуры протекающего раствора, с другой — изменением химического состава раствора в сторону замены сульфатных (сернистых) соединений — соединениями моффетного типа, т. е. заменю сульфидов карбонатами и сульфатами. В этих случаях общие законы равновесия физико-химических систем не применимы в чистом виде.

### Поля равновесия минеральных тел.

Исходя из выше приведенных физико-химических представлений, всякое природное тело рассматривается, как продукт определенных химических реакций и, так или иначе, по своему генезису связано с определенными термодинамическими условиями, определенными сочетаниями элементов (или их радикалов) и определенным соотношением их масс. Эти три группы факторов закономерно вызывают к жизни то или иное химическое соединение, которое мы называем минералом. Устойчивость минерала обуславливается определенными пределами изменения этих трех факторов, и чем шире могут колебаться математические выражения этих факторов при сохранении равновесия образовавшегося тела, тем устойчивее этот минеральный вид. Мы будем называть эту степень устойчивости „*полем равновесия*“. Чем больше поле равновесия, тем устойчивее данное тело, и тем большее изменение одного из этих регулирующих факторов необходимо для того, чтобы вывести данное соединение за пределы этого поля.

Мы знаем, однако, что „*поле существования*“ химических соединений в общем много шире теоретического поля равновесия. Таким образом, в природе, наравне с формами истинного равновесия, существуют ложные неустойчивые системы, и одинаково в наших руках лежит алмаз и графит, пирит и марказит. Часть этих неустойчивых тел сохраняется ввиду изменения термодинамической обстановки, другая часть образуется наново в качестве промежуточного продукта при природном химическом процессе.

В образовании последних мы видим проявление того основного природного

закона, который был формулирован кратко W. Ostwald'ом в следующих словах: „von einer Reihe möglicher Veränderungen findet stets zunächst die der Stabilität nach am nächsten liegende statt“. В ряде каких-либо возможных изменений наблюдается всегда то, которое по своей устойчивости ближе всего к начальному положению. Развивая дальше этот закон, мы видим, что в процессе не сразу достигается конечное равновесие, а сначала наиболее близлежащее промежуточное образование, хотя бы и с меньшим полем устойчивости. Этот закон красною нитью проходит через всю химию земной коры, и в нем я вижу не только объяснение, но и теоретическое обоснование целого ряда важнейших и спорных минералогических проблем.

## ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ.

### Генетические типы (краткая характеристика) <sup>1)</sup>.

Наша земля—великая химическая лаборатория, в которой с самого создания мира непрерывно текут химические реакции и до тех пор будут течь, пока земля будет описывать свои пути вокруг солнца.

*Бишоф. 1863 г.*

Согласно приведенной на стр. 14 схеме, нами намечены те основные генетические типы, к которым можно свести все многообразие природных генетических процессов. Хотя их характеристика уже вошла в обиход современной минералогической и геологической литературы, тем не менее я считаю нужным для справок при дальнейшем изложении описательной части вкратце охарактеризовать эти генетические типы и наметить основу для их дальнейшего исследования.

#### 1. Образования огненножидких магм.

Минералы магматического происхождения носят на себе ряд своеобразных черт, детально изучаемых в петрологии. В то время, как для глубинных пород характерной является более крупная кристалличность <sup>2)</sup>, минералы, связанные с поверхностными выделениями лав, отличаются меньшим размером кристаллов или даже являются стекловидными. Последовательность осаждения минералов в кристаллических породах обычно хорошо решается при микроскопическом исследовании, причем особенно важным для пород интрузивных является установление нескольких фаз в образовании: интрателлурической и поверхностной. Последние стадии магматических процессов обычно связаны с большим коли-

<sup>1)</sup> Главнейшую литературу см. в конце пятой главы, на стр. 42.

<sup>2)</sup> Интересно отметить, что особенно крупная кристаллизация намечается в описываемых ниже пегматитовых жилах, в которых чисто магматические процессы сочетаются с обильными газовыми выделениями.

чеством паров воды и летучих соединений, и, потому, в последние моменты проведение резкой границы между магматической фазой и последующей гидротермальной не всегда является возможным. Для этих образований очень удобным является новый термин *F. Vecke*—эпимагматических процессов, обнимающий те минеральные ассоциации, которые должны быть отнесены к переходной фазе: таково, напр., образование некоторых цеолитов, как анальцима, в щелочных породах. В остальном см. *Harker'a* или *A. Daly*.

## 2. Гидротермальные выделения в пустотах изверженных пород.

Образование минералов в пустотах резко распадается на две группы: в одних случаях идет постепенное заполнение газовых пустот в породах большею частью основного характера, с послойным отложением отдельных минеральных тел по мере охлаждения массива: таковы миндалины с цеолитами, жеоды агатов и т. п. Второй тип представляют, так называемые, миаролитические пустоты, по большей части образующиеся вследствие уменьшения объема породы при переходе в твердое состояние. Этот тип, особенно обычный в вязких магмах кислого характера, дает неправильной формы пустоты, в которых непосредственно выкристаллизовываются минералы самой магматической фазы и, потому, связанные постепенными переходами с самою кристаллическою породою. Будучи приурочены обычно к зонам охлаждения и к возникающим в магме при её застывании разломам, эти пустоты иногда располагаются целыми сериями и в некоторых случаях сливаются в жильные процессы, которые мы называем пегматитовыми жилами. Проведение резкой границы между этими двумя явлениями почти невозможно, хотя для последних является типичным существование, если не сплошной полости, то все же непрерывающегося, хотя-бы и очень узенького, канала, по которому идет циркуляция горячих паров и газообразных продуктов. Образование миаролитических пустот нередко связано с вплавлением кусков посторонних пород, особенно известняков в гранитных породах, и с вызванной этими процессами дифференциацией магмы.

## 3. Жильные образования.

### А) Пегматитовые жилы.

К этим жильным процессам мы относим те крупнокристаллические образования магматических пород, которые образуются в последние моменты их магматического застывания в обстановке, насыщенной перегретыми парами воды и летучими соединениями. Характерными чертами пегматитовых жил является бóльшая или меньшая одновременность всех минеральных тел, вплоть до образования совершенно одновременно кристаллизующихся минералов, образующих частью эвтектические смеси. В пегматитовых жилах, подобно миаролитическим заполнениям, нельзя установить резкой границы между самою породой и гидротермальными образованиями, наблюдаемыми в самих полостях. Тем не менее весьма часто пегматитовые жилы могут выходить за пределы самой материнской породы и проникать в окружающий покров. Повидимому, для пегматитов намечается и другой тип минералообразования: согласно *Adams'у*, отчасти и *Sederholm'у*, часть пегматитов может образоваться путем перекристаллизации и перегруппировки

каких-либо осадочных или кристаллических образований, попавших в условия высокой температуры. Этим путем возможно объяснение некоторых пегматитов образующих пластовые жилы в кристаллических сланцах архейского и катархейского возраста. Минералогически пегматиты, благодаря крупности зерна и богатству разнообразными элементами, составляют один из наиболее интересных генетических процессов.

### В) Гидротермальные жилы.

Заполнение трещин осадками восходящих горячих источников приводит нас к гидротермальным и рудным жилам. Систематика этих жильных процессов различна в зависимости от того, какие элементы жильного процесса нами будут положены в основу классификации: с одной точки зрения можно различать жилы по форме и типу заполнения трещины — жилы конкреционные, брекчеевидные (=трения) и т. д.; с другой, и это наиболее обычный способ систематики, различают жилы по типу преобладающих элементов — рудные жилы тяжелых металлов, титано-апатитовые жилы, цеолитные жилы; наконец, при классификации жил учитывают целый комплекс характерных признаков процесса и различают жилы по типичным их представителям: альпийского типа, норвежского типа, метасоматические и т. д.,

Очень важным моментом в изучении жилы является выяснение природы и происхождения тех веществ, кои ее заполняют; нам известны жилы рудные, тело которых образовано соединениями, принесенными исключительно из глубин; в других случаях сущность гидротермального процесса сводится лишь к извлечению некоторых составных частей из боковой породы и выкристаллизовывании из них новых минеральных видов в самой жиле. Наконец, по стопам *Rosemary*, американские геологи познакомили нас с метасоматическими жилами, образующимися путем проникновения по тоненькой трещине термальных растворов и постепенного видоизменения стенок в направлении от жилы к породе (см. дальше).

Как бы то ни было, жильные процессы в минеральном мире играют огромную роль, и их анализ представляет для геохимических и минералогических исследований огромное значение.

Согласно основным чертам этого генетического типа мы отличаем:

1. Жилы рудные, в которых минералы принесены извне, и кои обычно являются связанными с дисъюнктивными дислокациями, принесшими из глубин тяжелые элементы. Их связь с тектоническими процессами с одной стороны и глубинными очагами магм весьма вероятна.

2. Жилы гидротермальные и альпийского типа заключаются в проникновении водных растворов, насыщенных угольной кислотой, но лишенных большинства глубинных элементов, т. е. исключительно связанных с деятелями зоны цементации. Как и в первом случае, они проникают по дислокационным трещинам, связаны с тектоническими процессами в зоне цементации, но не зависят непосредственно от очагов магм, протекая в области зоны сжатия. Образование их может наблюдаться в самых разнообразных породах и связано главным образом с выщелачиванием и перегруппировкою элементов боковых стенок окружающей породы. Эти образования особенно типичны для складчатых горных хребтов, лишенных крупных дисъюнктивных дислокаций.

3. Как крайний случай изменения вмещающих пород, мы различаем третий тип жил — метасоматические, при котором окружающая порода подвер-

гается обменным реакциям со стороны растворов, притекающих снизу, реже—сверху и притом сильно минерализованных.

#### 4. Пневматолиты.

Образования, связанные с переходом газообразных тел в твердые или жидкие, обнимают собою большую область явлений, еще до сих пор недостаточно выясненную с физико-химической точки зрения. В одних случаях летучие соединения оказываются связанными с более поверхностными зонами земной коры: это возгоны и процессы сольфатар и вулканов, возгоны и налеты при подземных пожарах и т. д. В других, повидимому, гораздо более крупных по масштабу и распространению геологических процессах мы встречаемся с деятельностью летучих элементов и соединений в глубинах, причем конечными продуктами химических реакций являются, или более простые химические соединения, которые образуются в результате поверхностных возгонов (как  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$  и т. д.), или же новообразования ряда весьма устойчивых и химически сложных тел (напр., слюд, оловянного камня, топаза и т. д.). Целые зоны и области горных пород могут по трещинам и капиллярам подвергаться воздействию продуктов возгонки, в результате чего получают комплексы глубокоизмененных пород—што кверки. Нет никакого сомнения, что могут наблюдаться незаметные переходы между гидротермальными жилами и пневматолитами.

#### 5. Контакты.

Под явлениями контактного метаморфизма мы будем подразумевать весь комплекс литогенетических явлений, которые наблюдаются при соприкосновении или внедрении магмы в другую горную породу. Мы различаем под именем эндоконтакта все те явления, кои происходят в самой изверженной породе, экзоконтакта — в породе воздействующей.

Область явлений первого порядка может быть весьма различною: в простейшем случае порода застывает, не включая и химически не перерабатывая соседней; в ней лишь наблюдается некоторое ускорение кристаллизационного процесса, изменение в зерне, изредка накопление металлических окислов в зоне контакта. В других случаях магма обволакивает обломки соседних пород (enclaves), частью их контактно видоизменяя, частью совершенно растворяя и перерабатывая. В последнем случае мы переходим в область тех сложных, химических превращений, которые порода испытывает при дифференциации. Этим путем объясняется иногда накопление окислов железа и магнетита в верхних частях месторождений, образование щелочных элеолитовых магм (*Daly*) и т. д.

Совершенно особым типом контактных явлений, в которых сливается и экзо- и эндоконтакт, являются, так называемые, мигматические явления; они были намечены еще старой французской школой, подробнее описаны *Sederholm*'ом и заключаются во взаимном проникании осадочной свиты и вязкой магмы и почти полного химического слияния их при сохранении внешней структуры.

Явления экзоконтакта в одних случаях протекают без привноса новых элементов со стороны магматического бассейна и тогда вполне подчиняются минералогическому правилу фаз *В. М. Гольдшмидта* или-же, что чаще бывает,

обогащаются летучими соединениями, растворами кремнезема и т. д. Этот последний процесс может настолько усиливаться, что чистый пневматолитический, контактный метаморфизм переходит в процесс изменения соседней породы, вплоть до полного замещения ее элементов привнесенными элементами магм. В этом случае мы получаем контактный метасоматизм.

#### 6. Регионально-метаморфические образования.

На этом типе минералообразования не приходится останавливаться детально, так как он уже с большою полнотою выяснен работами *Грубенмана*, *Ниггли*, *В. М. Гольдшмидта*, *Беке* и других.

С геохимической точки зрения надо отметить, что эти образования в общем подчиняются закону фаз *В. М. Гольдшмидта* и характеризуются большими удельными весами при малом содержании летучих элементов, как-то фтора, воды, угольной кислоты и т. п. Условно сюда можно отнести и фальбанды, рудные обогащения, отчасти магматического происхождения, в архейских и катархейских свитах. В последнее время (1916 г.) *Becke* предложил термин геотермического метаморфизма для очень обычных, но мало изученных процессов изменения по преимуществу химических осадков под влиянием геотермического повышения температуры с глубиною, не достаточной еще для выявления роли давления, но уже вполне достаточной для повышения температуры на несколько десятков градусов; частично этот процесс перекрывается с тем, что я дальше для осадочных пород называю катагенезом.

#### 7—8. Водные осадки, синхроничные и диагенетические.

(Минералы сингенеза и диагенеза) <sup>1)</sup>.

К этим двум группам я отношу огромную область литогенеза при образовании осадочных пород. Благодаря работам *Sterry-Hunt*, *Walther'a*, *Cayeux*, *Collet*, *Andrée*, *Архангельского* и многих других начинает выясняться химизм процессов, сопутствующих образованию осадка на дне водных бассейнов и превращению его в твердую горную породу. В настоящее время мы определенно различаем два момента в истории осадочной породы: образование самого осадка и его диагенез; все минералы, образовавшиеся, как составная часть самого осадочного процесса, мы называем первичными (синхроничными) минералами осадка. Таковы, напр.,  $\text{CaCO}_3$  раковин или береговых оолитов, свободное образование горшинок болотных руд в озерах и т. д. Однако, гораздо важнее нам представляется второй момент в истории образования породы, который мы называем диагенезом. Под этим термином мы обобщаем совокупность всех тех процессов, которые происходят на дне водоемов в первичном или еще не связанном осадке и которые, до момента осаждения нового слоя, под непосредственной поверхностью воды превращают осадок в горную породу. Я определяю конечный момент этой стадии в жизни осадочной породы налеганием на нее нового слоя осадка, петрографически отличного от предыдущего, и отделением таким образом старого осадка от непосредственного соприкосновения с

<sup>1)</sup> Сюда-же относятся осадки соляных озер. О них см. стр. 39.

водою. С этого момента начинается область новых химических реакций породы, которую я называю катагенезом (см. ниже).

С вышеприведенной точки зрения образование осадка и его диагенетическое перерождение на дне бассейна можно поставить в аналогию с процессами почвообразования на материке.

Синхроническое образование осадков является результатом сложных реакций трех типов: чисто физико-химического характера, биохимического и, наконец, чисто механического. В процессах диагенеза вся эта масса осажденного вещества начинает перегруппировываться, согласно законам физико-химического равновесия, причем средою для переноса вещества является водный раствор, пропитывающий рыхлый осадок и, в случае соленых бассейнов, содержащий в себе ряд химических веществ. Эта перегруппировка в общем складывается по преимуществу из двух процессов: образования цемента и возникновения центров кристаллизации—конкреций, радиальнолучистых сростков и т. п.

### 9. Процессы катагенеза.

Как выше отмечено, именем катагенеза я называю всю совокупность химических преобразований породы после того, как она оказалась отделенною от водного бассейна слоем нового осадка, и вплоть до того момента, когда она сделалась поверхностью материка, т. е. оказалась на границе с атмосферой. Этот большой промежуток времени обнимает собою весь цикл явлений от „почвообразования“ на дне бассейна до почвообразования на поверхности земли. Конечно при этом я исключаю процессы, связанные с действием высокой температуры и давления, т. е. всю область контактного и глубинного метаморфизма, но не могу не отметить, что частично катагенез протекает при несколько повышенных температурах, согласно геотермическому градиенту земли.

Если явления диагенеза, как показывает само слово, заключались в перегруппировке элементов внутри того же слоя, то катагенез связан как раз с обменом растворов между петрографически разнородными слоями или горизонтами. Главными деятелями в этом случае являются: кислород, угольная кислота и вода, отчасти кремнекислота, сернокислые растворы и т. д.; биохимические реакции отходят сильно на второй план; таким образом катагенез отвечает тому комплексу явлений, который характерен для более глубоких частей зоны катаморфизма *Van-Hise*. Таковы образования пустот с натеками кальцита (сталактиты), вторичное возникновение конкреций, образование трещин, заполненных кальцитом, кварцем, окремнение пород, обогащение магнием с образованием доломитов и т. д.

Таким образом, катагенез породы обнимает огромную область явлений приспособления осадочных минералов к новым условиям *вне* залегания их под поверхностью водного бассейна. С точки зрения явлений химического равновесия мы имеем здесь область весьма изменчивых реакций, часто не достигающих полного равновесия. Понятие о катагенезе не отвечает терминам *Van Hise* о катаморфизме, но несколько сближается с тем определением, которое дает этому процессу *Leith и Mead*.

## 10. Процессы поверхностного разрушения — гипергенез <sup>1)</sup>.

Под этим термином мы подразумеваем весь комплекс химических и физико-химических явлений, которые протекают на границе между атмосферой и твердой земной оболочкой. Если именем диагенеза мы обозначали процессы, стремящиеся к установлению химического равновесия между водным раствором бассейна и осадком, под именем катагенеза — такие-же процессы в области установления равновесия в разнородной свите осадочных пород, то под именем гипергенеза мы будем обозначать все то, что стремится к равновесию между лито — и атмосферой, т. е. приводит к образованию почвы или нового осадка. Это область огромного геохимического значения, в которой принимают участие и вся наземная органическая жизнь земли, и сам человек с его культурною и фабрично-заводскою деятельностью, — область, совершенно справедливо называемая биосферой.

Нижние границы этих процессов не могут быть определены с точностью, и постепенно явления поверхностного метаморфизма с глубиной переходят в процессы катагенетического характера. Надо, однако, иметь в виду, что разбираемому циклу геохимических явлений подвержены не только осадочные, но и кристаллические породы и даже в гораздо большей степени именно эти последние, так как они по условиям образования наиболее далеки от равновесия системы: — атмосфера — твердая кора.

К процессам гипергенеза мы прежде всего относим явления, связанные с образованием почвенного покрова и всех подготовительных стадий к нему: поверхностного разрушения эруптивных масс, элювиального накопления продуктов выщелачивания и т. д. Из процессов почвообразования мы особенно назовем: накопление остатков растительной и животной жизни, фиксацию некоторых элементов биохимическими реакциями (азот, калий), накопление подзола ( $\text{SiO}_2$ ) и ортштейновых горизонтов (Fe) и т. д.

Весь этот мир явлений, стоящий на границе между минералогией и химическим почвоведением, до сих пор еще мало изучен с точки зрения самого минералообразовательного процесса, да и самое понятие о минерале получает в этих условиях особый смысл. Учитывая неустойчивость и быструю изменчивость геохимической обстановки почвенного покрова, мы, как показали мои исследования, имеем здесь часто дело не с настоящими равновесиями, а лишь с ложными или неполными, а самый минерал нам представляется, как подвижная физико-химическая система, постепенно без скачков изменяющая свой состав при изменении внешних условий. Сообразно с этим мы можем наблюдать в условиях поверхностного разрушения целый ряд не конечных продуктов изменения, а промежуточных членов, лишь временно устойчивых согласно закону *Отвальда*. Так, при разрушении оливиновой породы — конечною группировкою, отвечающей системе: деятели атмосферы — оливин, должны быть образования кварца, магнезита и лимонита; потому, если-бы процесс выветривания шел сразу до конечного равновесия, в покрове изменяющегося оливинового массива мы бы

---

<sup>1)</sup> Еще *Merrill* предложил совокупность всех продуктов, получаемых при выветривании, называть *реголитом*: я считаю этот термин совершенно излишним.

встретили только оливин + магнезит + кварц + лимонит. Однако, наблюдения нам показывают, что это не так, и что; наравне с конечными продуктами, встречается и змеевик, и опал.

С другой стороны в этой-же области гипергенеза идет накопление, так называемых, мутабильных соединений или соединений переменного состава. Еще в 1913 г. мною было подчеркнута огромное значение этих соединений в почвенном покрове, соединений совершенно однородных и тем не менее изменчивых по своему составу. Эти-же соединения мы должны допустить и на дне водных бассейнов, среди первичных осадков дна озер или морей. До сих пор изучение этих подвижных систем еще не произведено, и только область цеолитов и коллоидальных веществ немного проливает свет на основные свойства этих тел.

### Генетические типы в осадочных породах.

По отношению к осадочным породам идеи литогенеза не получили до сих пор достаточно ясного выявления и формулировки. В виду этого я считаю необходимым подчеркнуть основные типы образования соединений в осадочных сериях.

В общем, с генетической точки зрения мы можем различать в осадочных породах три группы образований:

- I. Сингенеза и диагенеза . . . . . водный бассейн с его биохимией + осадок на дне водоема.
- II. Катагенеза . . . . . серия разнородных слоев.
- III. Гипергенеза (как современного, так и древнего—в периоды материковых перерывов) . . . . . атмосфера и биосфера + порода.

Мы видим из сказанного, что указанные выше три типа сочетаний разнородных химических средин и приводят нас к разнообразию химических процессов в осадочных породах при довольно сходных в общем физико-химических условиях (т. е. при низких температурах и низких давлениях).

Обменные реакции между этими разнородными средами приводят нас ко всему разнообразию минералов осадочной свиты, причем в последней могут идти или процессы перегруппировки элементов без привноса вещества извне (диагенез, перегруппировка при катагенезе), или-же с привносом новых веществ: в первом случае из водного бассейна, во втором—из свиты пород, в третьих—из земной поверхности и атмосферы.

Я подчеркиваю совершенно исключительное значение явлений катагенеза, на который не обращали до сих пор достаточно внимания. Такие комбинации, как описываемое ниже налегание юрских черных глин на известняки, в достаточной мере доказывают значение для всей русской платформы явлений катагенеза. Особого внимания заслуживает древний гипергенез, т. е. поверхностное и элювиальное изменение минералов и пород во время перерывов накопления осадков. Отвечая перерыву или несогласию в напластовании, он тем не менее легко может быть смешан с явлениями катагенеза, которые особенно резки как раз на поверхностях соприкосновения различных пород. Благодаря

этому древний гипергенез очень часто маскируется новейшими процессами катагенеза.

В дальнейшем комбинацию двух геохимических разнородных сред я буду называть геохимической парой; смена одной из них, напр., замена верхней (атмосферы, или водного слоя) новой средою, вызывает начало новых обменных реакций. Об этом детальнее см. в следующей главе и в заключительных главах описания Европейской России.

## ГЛАВА ПЯТАЯ.

### Генетические циклы.

В предыдущей главе мы рассмотрели различные типы минералообразовательных процессов; здесь же намерены обратиться к вопросу о том, какие минералообразовательные процессы вызываются определенными геологическими явлениями. Нет никакого сомнения, что каждое крупное геологическое явление, в чем-бы оно ни заключалось, вызывает ту или иную химическую перегруппировку; но особенно важным является проследить то химическое воздействие, которое оказывают наиболее крупные геологические явления.

При этом необходимо отметить, что крупные геологические процессы сопутствуются обычно целым рядом разнообразных физико-химических явлений, связанных между собою известною причинностью и хронологически следующих одно за другим. Так, напр., вулканические извержения вызывают ряд магматических процессов, выделения паров или горячих водных растворов, контактного воздействия на боковые породы и т. д. Совокупность таких минералообразовательных процессов, связанных общею причинною зависимостью и определенной хронологическою последовательностью, мы будем называть генетическим циклом.

Строго говоря, область этого вопроса является лишь частью физической геологии, изучающей строение и превращения земли; но, как показывает само наименование этой научной дисциплины, исследователи обращали по преимуществу внимание лишь на физические изменения земной коры, не отводя достаточно места и наблюдения явлениям химического характера. Очевидно, что в физическую геологию следовало-бы включить специальные главы чисто химического характера и этим несколько исправить односторонность освещения в современном изложении этой науки.

Мы различаем в настоящее время генетические циклы, связанные со следующими основными геологическими процессами <sup>1)</sup>:

1. Проявления вулканизма на поверхности.
2. Магматические бассейны глубин.

<sup>1)</sup> Нет никакого сомнения, что приводимый ниже список охватывает лишь главнейшие генетические циклы земной коры

3. Дис'юнктивные и пликативные дислокации (разломы и складки).
4. Горячие источники.
5. Метаморфизм давления.
6. Деятельность атмосферы и климатического режима.
7. Деятельность льда.
8. Текучие наземные воды.
9. Подземные воды.
10. Болота и озера.
11. Соляные озера.
12. Моря и океаны.
13. Перемещения береговой линии (трансгрессии и регрессии).
14. Деятельность органического мира и человека.

Перехожу к краткому описанию главнейших генетических циклов.

### 1. *Вулканическая деятельность.*

Химическая деятельность вулканов, как аппаратов земной поверхности характеризуется—слабым развитием химического влияния на соседние образования, обилием газообразных продуктов, выносящихся в атмосферу ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ), образованием пористых горных пород (пемзы, пепла) и накоплением продуктов поствулканической и сольфатарной деятельности в пустотах и трещинах. Особенно интересны химические реакции, вызываемые вулканическими извержениями под водою.

Генетический цикл обычного вулканического процесса может быть представлен так:

- 1) Застывание расплавленной лавы.
- 2) Сольфатарная деятельность с выделением восгонов и налетов, химически изменяющих как самую лаву, так и другие породы.
- 3) Мофетная деятельность с выделением угольной кислоты и каолинизацией по трещинам.
- 4) Поствулканическое (гидротермальное) заполнение пустот и миндалин.

Согласно *Arrhenius'у*, вулканическая деятельность косвенно вызывает еще более сложный генетический цикл: обогащение атмосферы угольной кислотой, повышение теплового режима земной поверхности, усиление растительной жизни, поглощение последнею угольной кислоты, понижение температуры поверхности и ледниковые процессы. Не трудно видеть, как велики геохимические преобразования, вносимые этим циклом в природу!

2. *Магматические процессы в глубинах* характеризуются выделением минералов из расплавленной массы в определенной последовательности, частичным поглощением соседних пород, дифференциацией магмы на химически разнообразные части, накоплением летучих и парообразных соединений в трещинах с образованием эвтектических смесей и энергичным воздействием летучих соединений на боковые породы. Для магматических процессов неглубинного типа, т. е. жил, лакколитов, батолитов и т. д., характерно более слабое проявление летучих соединений, слабый контактный метаморфизм и две фазы в кристаллизации магматической части—интрателлурическая и жильная.

Обычный генетический цикл:

- 1) Выделение магматических минералов (часто в две фазы).

2) Пегматитовые жилы.

3) Образование миаролитических пустот и миндалин с заполнением их продуктами поствулканической деятельности.

4) Поствулканические гидротермальные процессы в самом эруптиве и в соседних породах.

Одновременно с этими процессами идет контактное, притом иногда взаимное, проникновение химических веществ между магматической породой и окружающей (контактный метаморфизм и мигматизм).

Как обычная черта физико-химической обстановки этого генетического цикла—постепенное понижение температуры с заменю магматических процессов газообразными, а потом и гидротермальными, и, в заключение, воздействие вадозных вод.

3. *Дислокационные и горообразующие процессы* являются первоисточником разнообразных и сложных генетических циклов, для которых был предложен довольно удачный термин—посторогенических. Спокойные складчатые образования, идущие в зоне сжатия, без резко выраженных дис'юнктивных дислокаций (напр., Альпийская горная система), не создают особенного разнообразия минералообразовательных процессов и ограничиваются лишь возникновением в местах давления метаморфических сланцев и горячих растворов без богатой минерализации (лишь при участии угольной кислоты и перегретых паров воды). Наоборот дис'юнктивные дислокации, сбросы и трещины по зонам опускания вызывают сложный цикл генетических процессов со всем разнообразием и богатством участвующих в них химических элементов.

В первом случае генетический цикл ограничивается гидротермальными процессами альпийского типа (см. стр. 27), во втором мы имеем: вулканические выделения и гидротермальную глубинную деятельность с ее генетическим циклом (стр. 38). Во всяком случае процессы минералообразования весьма различны в областях тангенциальных и вертикальных движений земной коры, и, потому, более точное выяснение, в каждом данном случае, связи между орогеническими движениями и минералообразованием составляет весьма важную область современной генетической минералогии.

В общем намечается два типа *посторогенических явлений*: поверхностного и глубинного характера.

4. *Горячие источники* (большую частью ювенильные воды по Зюссу).

Гидротермальная деятельность характеризуется: связью с тектоническими процессами и дислокационными трещинами, происхождением части химических элементов из более глубоких зон земной коры. В случае поверхностного типа процесса (при складчатых образованиях) минеральный источник отличается отсутствием глубинных элементов и повышенной деятельностью  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ : в этом случае происхождение термы может быть связано с вадозными (поверхностными) водами; эти воды некоторыми авторами называются фреатическими. В случае более глубоких дислокаций (дис'юнктивных), горячие источники характеризуются наличием глубинных тяжелых элементов и в качестве химических деятелей—фтором и сернистыми соединениями

Оба типа обычно отличаются постепенным падением температуры процесса, второй характеризуется частым изменением состава раствора (без особых ви-

димых причин), тогда как первый — большую правильностью в порядке падения температуры, постепенною заменою щелочных силикатов щелочно-земельными, а потом и карбонатами (альпийский жильный тип).

Генетический цикл: разломы земной коры, пневматолитические процессы, чисто гидротермальные, с понижающею температурою вплоть до нормальных холодных растворов.

В обоих типах мы часто не наблюдаем правильного генетического цикла, благодаря неровному ходу самого процесса, повторению более высоких температур (Nachschub немецких авторов, *remise en mouvement De-Launay*) и общему извилистому характеру кривой главнейших физико-химических факторов.

5. *Метаморфизм давления* характеризуется слабо повышенной температурою и высоким давлением. В зависимости от высоты температуры мы имеем или процессы образования кристаллических сланцев (особенно при тангенциальных движениях) при сравнительно низких температурах и одностороннем давлении (стресс), или же образование гнейсов при более высоких температурах и пластичности минералообразовательной среды (частично гидростатическое давление). В этой области образование минералов регулируется законом образования минералов с большим удельным весом, законом *Рика* о расположении минералов перпендикулярно давлению, и, наконец, всеми теми уравнениями физико-химического равновесия, в которых имеет значение величина давления.

Весьма удачный термин ввел в 1920-ом году *Веске* для понятия о химическом изменении осадков под влиянием геотермического повышения температуры. На примере солевых месторождений он показал, что во всякой серии осадочных пород, достигающей мощности хотя бы только 500—1000 метров, внизу начинает сказываться влияние геотермического градиента, благодаря повышению температуры процессов на 20—30° С. Такой геотермический метаморфизм, без каких-либо ясно выраженных процессов превращения в сланцы и гнейсы, может и должен наблюдаться в низших частях каждой серии осадочных пород и даже для Европейской России должен быть принят во внимание.

#### 6. *Атмосфера и климатический режим.*

Атмосфера является одним из главнейших деятелей земной поверхности, вызывая целый ряд разнообразных генетических циклов. Роль атмосферы не ограничивается газообразною оболочкою, окружающею землю, но в еще большей степени сказывается в проникновении ее элементов в твердую земную кору и почву (по законам капиллярности и адсорбции) и в зону гидросферы как больших водоемов, так и текучих подземных вод. Основными геохимическими факторами атмосферы являются: химические элементы и соединения,  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $N_2O$ , механическое передвижение частиц атмосферы, колебания и изменения в температурных условиях, колебания и изменения в величинах влажности, электрические разряды. Совокупность этих химических и физических факторов обуславливает химическое действие климата. Распространение каждого из перечисленных выше элементов в глубину подчиняется своим собственным законам: вода насыщает всю глубину земли массой капилляров и системой, так называемых водоносных горизонтов, вплоть до определенной поверхности, называемой уровнем грунтовых вод; угольная кислота, так называемая, валоз-

ная, в противоположность ювенильной, проникает в глубину земли не свыше 2—3 километров, очень быстро исчезая из обихода химических превращений, благодаря образованию устойчивых и мало растворимых соединений; азот, благодаря электрическим разрядам и жизнедеятельности организмов, фиксируется в самых верхних частях литосферы в виде азотнокислых и аммиачных соединений, не проникая (или почти не проникая) ниже подпочвенного слоя; наконец, кислород, важнейший химический деятель атмосферы, не ограничивается только своею деятельностью окисления на поверхности и в биосфере (вместе с озоном), но проникает глубоко в земную кору, на пути используя и постепенно исчезая с глубиной. И теоретически, и практически можно наметить в глубинах границу его распространения, так называемую кислородную поверхность, только выше которой идут процессы окисления. Эта кислородная поверхность в зависимости от скорости эрозии или климатических факторов может находиться на разных глубинах от 0 до 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub> километров, и изучение ее положения играет огромную роль в общем генетическом цикле данной местности.

Механическое движение атмосферы является химическим фактором постолько, поскольку ветер переносит соленые брызги моря на далекие пространства материка, обогащая хлористым натрием дождевую воду, путем дефляции облегчает доступ химических деятелей поверхности к более глубоким зонам литосферы, а у берегов моря, создавая движение волн, изменяет газовый состав морской воды и его влияние на прибрежную полосу.

Таким образом, намечается серьезная и интересная роль самого климатического режима в геохимических процессах. Характеризуясь прежде всего определенным сочетанием температуры и влажности, климатический режим обуславливает то зонарное распределение поверхностных химических процессов, которое было выдвинуто в почвоведении *В. Докучаевым*, *Сибирцевым* и развито *К. Глинкою*. Все разнообразие почвенного покрова есть частью прямой, частью косвенный результат климатического режима (и зависящих от него биохимических особенностей): слабый химизм в полярных широтах, почвенные зоны средних—и сложный химизм пояса пустынь являются тремя крупными генетическими циклами, причем каждому из них свойственны и свои химические явления и свой темп химических перегруппировок земной поверхности. Совершенно особенным химизмом отличаются области с вечною мерзлотою, где слой вечного льда образует трудно проницаемую броню для поверхностных растворов и химических деятелей атмосферы.

Наконец, влияние климатического режима на ход химических реакций земной поверхности проявляется еще в годовой периодичности некоторых химических реакций, очень чувствительных к изменениям температуры (таковы годовые кольца соли и ангидрита в осадках соляных озер, появление гидратов хлористого натрия в соляных источниках, выцветы солей в пустынном климате, сезонные изменения цеолитов и т. д.).

Последним деятелем в области атмосферы являются электрические разряды, которые в некоторых условиях должны быть рассматриваемы, как важный геохимический фактор: окисление кислорода в озон и образование солей азотной кислоты в субтропической зоне или осаждение самородных металлов в

жильных процессах являются главными примерами такого минералообразования.

Наметим несколько главнейших генетических циклов, связанных с деятельностью атмосферы.

А. Цикл средних широт.

- 1) Накопление гумусовых веществ.
- 2) Поверхностное разрушение силикатов.
- 3) Биохимическая фиксация азота воздуха и калия почвы.
- 4) Накопление кремнезема (подзола) с образованием в глубине зоны ортштейна (накопление Fe).
- 5) Вынос гуминовых соединений железа реками.
- 6) Накопление и осаждение железа в озерах и болотах.

Б. Цикл пустынный.

Фиксация азота воздуха разрядами электричества—механическое разрушение—накопление кварца (механическое) и красноземов (химическое)—энергичный перенос растворимых солей—начало генетического цикла соляного озера (см. ниже).

7. Деятельность льда.

Химическая деятельность льда вообще уступает его механическому действию. Однако, льдом производится огромная подготовительная работа истирания вещества, облегчающая дальнейшее течение химических реакций (ледниковая мусть). Особое значение имеет вечная мерзлота (см. стр. 37).

8. Наземные текущие воды.

Химическая деятельность наземных текущих вод достаточно общеизвестна: огромное выщелачивание, производимое текущими водами, и перенос растворимых солей Na, Mg, Ca, а также Cl, SO<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> и органических соединений составляет основные черты этого генетического цикла, отличающегося отсутствием твердых новообразований химического характера. Изменение базиса эрозии имеет огромное влияние на изменение водного режима водоемов, а тем самым на их геохимические процессы.

*Smyth* (Journal of Geology, 1913) вывел следующую относительную растворимость окислов и % выноса их из пород, приняв за 100 растворимость известня:

CaO	—	100
Na <sub>2</sub> O	—	96,1
MgO	—	36,3
K <sub>2</sub> O	—	11,7
SiO <sub>2</sub>	—	3,9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	2,6.

Весьма любопытный материал, показывающий в цифрах деятельность текущих вод.

9. Подземные воды.

Огромная роль подпочвенных вадозных вод тоже хорошо известна, причем ее химическая деятельность в значительной степени определяется глубиной залегания поверхности грунтовых вод и отчасти положением кислородной поверхности. Равным образом играет роль и глубина углекислотной поверхности, определяющей границу проникания сверху вадозной угольной кислоты. Раство-

ряющая деятельность поверхностных горизонтов сменяется цементирующей— в более глубоких. Основные химические деятели, кроме самой воды:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  и др. Для газообразных продуктов, особенно  $\text{CO}_2$ , играет роль давление, насыщения этим газом, так как при выделении угольной кислоты происходит реакция выпадения карбонатов (сталактиты в пещерах).

10. *Болота* отличаются обилием органического материала, накоплением соединений N, H, C, P, S, Fe, отчасти Mn и K, окислительным ходом процесса при накоплении осадка и восстановительным типом реакций при его диагенезе.

Генетический цикл обычно таков: накопление продуктов распада органического вещества (гуминовые вещества)—фиксация сернистого железа в виде гидротроилита и мельниковита, а потом пирита и фосфорно-кислого железа в форме вивианита—образование торфа.

В озерных бассейнах с меньшим количеством перегнойного материала, где не наблюдается накопления торфа, генетический цикл нередко протекает так: принос реками гуминовых соединений—осаждение соединений железа (марганцевых и фосфористых)—бобовых и озерных руд.

#### 11. *Соляные озера.*

Основными чертами геохимических реакций являются: относительно высокая (до  $70^\circ\text{C}$ ) температура, строгая закономерность последовательности осаждения и совместного нахождения разных солей (согласно ряду физикохимических закономерностей *Vant-Hoff'a* и *Курнакова*).

Генетический цикл: выщелачивание почвы и горных пород текучими водами—концентрация солей в бассейне в последовательности: сульфат кальция—хлористый натрий—двойная сернокислая соль калия и магния—двойная соль хлористого калия и магния (карналлит)—хлористый магний и соли брома и йода.

12. *Океаны* являются фактором исключительной важности в литогенезе, причем отличаются вообще низкой температурой главнейших геохимических процессов, огромным значением биохимических реакций в меньших глубинах и реакций, вызванных продуктами распада органического вещества,—в больших ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ); далее, отличительной чертой океанических процессов является механическое накопление на дне четырех типов продуктов: космического происхождения (пыль), вулканического (пыль, пепел, подводные извержения), биохимического (раковины, скелеты, иглы, кости и т. д.) и сапрогенного (продукты гниения и распада).

С геологической и геохимической точки зрения океан подразделяется на зоны: 1) литоральная (от уровня до 40—80 метров)—область прибрежья; 2) сублиторальная (до 200 метров), образующая вместе с первой континентальное плато; 3) батинальная (или пелагическая)—зона крутого падения до 1000 метров и 4) абиссальная зона больших глубин.

Геохимический характер осадков определяется в первую очередь глубинами, во вторую—характером и близостью береговой линии, в третью—широтой местности, т. е. биогеографическими факторами. С глубиной вообще наблюдается уменьшение роли углекислых соединений и увеличение накопления кремнистых соединений и соединений марганца.

13. *Перемещение береговой линии* (трансгрессивное или регрессивное).

Главное значение этого важнейшего геологического процесса заключается во влиянии его на биогеографическое распределение организмов и в вызываемом резком изменении режима, вымирании или даже массовой гибели одних и миграции других. Прекрасный пример такой массовой гибели и накопления органического вещества представляет накопление фосфоритов в русских меловых и юрских отложениях, для которых *Архангельский* приурочивает скопления фосфора как раз к тем горизонтам, которые отвечают быстрому трансгрессивному перемещению береговой линии.

Изучая минералы наших осадочных образований, мы приходим к интересным выводам о значении в геохимии перемещения береговой линии. Мы знаем, что самым типичным образованием минерала является одновременное с тем горизонтом, который его включает, или же диагенетическое, в нем самом. Такой процесс минералообразования находится в тесной зависимости от батиметрических условий, с одной стороны, и биохимических—с другой. Однако, если бассейн подвергается быстрому регрессу, то наблюдается строго определенная последовательность геохимических явлений, и наиболее типичный цикл сводится к серии: известняк—глауконитовые отложения—пески. Как крайняя форма быстрого регрессивного движения, является полное обмеление и непосредственное обнажение осадка в зоне атмосферы. Наступает момент катагенеза перерыва, в котором осадочная толща подвергается разрушению и геохимическому превращению, т. е. тому, что я называю гипергенезом.

Если в дальнейшем вновь наступает трансгрессия моря, то начинается наступание бассейна на материк, и на зону катагенеза перерыва начинает налагаться серия трансгрессивных осадков в последовательности: продукты переработки почвенного или мелководного покрова моря и образование основного конгломерата из них у берега (= катагенез трансгрессии), затем следуют песчаники и известняки.

Таким образом, обычный генетический цикл осадочной свиты можно выразить следующей схемой:

Известняк . . . . .	глубокое море.	
Известково-глауконитовая фация	} обмеление--регрессия.	
Глауконито-песчанистая фация .		
Пески (угольные прослойки, гли-		
ны), гипсы, соль . . . . .	перерыв отложений = гипергенез материковый.	
Основной конгломерат . . . . .	берег моря . . . . .	} трансгрессия.
Пески . . . . .	прибрежная зона. . . . .	
Известняк . . . . .	глубокое море . . . . .	

Понятно, что в природном обнажении — последовательность указанных выше слоев будет обратная.

Таким образом, нормальная последовательность отложений должна характеризоваться особою геохимическою группировкой: внизу зона гипергенеза — выше катагенез трансгрессии, т. е. основной конгломерат. Конечно, и первый, и второй могут отсутствовать, быть совершенно размыты и унесены, но в схеме последовательность ясная. Надо, однако, иметь в виду, что наличие основного конгломерата не всегда знаменует начало трансгрессии, иногда лишь обнару

живая не материковый, а глубоководный перерыв отложений (по *Andrée*), чаще всего обусловленный размывом морскими течениями.

#### 14. Органический мир и человек.

С геохимической точки зрения биохимические реакции природы, равно как и культурная деятельность человека, в основных чертах своих направлены против основного закона минералообразования поверхности, а именно, против накопления веществ с минимумом внутренней энергии.

Хотя рост организма заключается в накоплении соединений большой теплотворной способности, а сам процесс жизни обычно обозначают, как постоянный процесс сжигания веществ внутри организма, все же такое определение по существу неправильно, ибо сущность жизненных явлений в высших ее формах заключается в накапливании энергии, расходование которой есть лишь постепенное и неуклонное приближение к смерти, т. е. к физико-химическому равновесию в условиях земной поверхности.

Этими особенностями жизненных явлений отличается и жизнь человека, который в своей фабрично-заводской деятельности производит именно ряд таких реакций, которые с точки зрения хозяйства природы идут в разрез ее законам,—такова выплавка самородных металлов, химическая промышленность и т. д.

Таким образом, деятельность биологических факторов обуславливает особый генетический цикл химических реакций, которые идут в сторону или прямо противоположную обычному течению физико-химических процессов, или же, все-таки необычную для нормальных взаимоотношений природных факторов. Этими причинами обуславливается, вообще говоря, кратковременность и неустойчивость многих биохимических продуктов и сохранение их лишь в периоды самого жизненного процесса или же под влиянием специальных забот человека (например, оцинковывание листового железа и т. д.). С окончанием жизненного процесса в первом случае и прекращением предохранительного действия, созданного человеческою техникою, начинается быстрая перегруппировка остатков жизненного или культурного процесса с быстрым приближением к конечному равновесию. Этот второй момент в генетическом цикле биохимических реакций создает особые накопления некоторых продуктов в количествах, не вызываемых никакими другими причинами: таково, например, накопление  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$  и  $\text{CO}_2$  в продуктах гниения животного вещества на дне морских бассейнов, или же массовые скопления селенистых шламов в отбросах сернокислотных заводов.

Геохимическая роль биохимических и культурно-химических реакций еще не оценена в достаточной мере: оценка первых сейчас производится, благодаря инициативе *В. И. Вернадского*, но для последних, как для совершенно новой страницы в геохимии, не сделано еще самых элементарных подсчетов, и до сих пор не было попыток выразить всю двадцативековую жизнь культурного человечества в цифрах геохимических реакций и дать количественную оценку промышленного переноса (миграции) и превращения химических веществ.

### Главнейшая литература по генезису минералов.

(См. также литературу в конце шестой главы, стр. 59).

1. *A. Breithaupt*. Die Paragen. d. Mineral. Freiberg. 1849.
2. *Saint-Claire-Deville*. Mémoire s. l. émanat. volcaniques. Compt. Rend. 1856. 43. 955.
3. *J. Walther*. Einleit. in die Geologie als histor. Wissensch. Iena. 1893 — 1894. (ч. III. Lithogenesis d. Gegenwart).
4. *E. Weinschenk*. Minerallagerstätten. d. Gross-Vened. Stocks. Zeit. f. Kryst. 1896. XXVI. 337.
5. *Cayeux*. Contribut. étude micrograph. d. terr. sédim. Mém. Soc. Géolog. du Nord. 1897. IV. 2.
6. *J. Koenigsberger*. Minerallagerstätten-Schweiz. N. Jahr. f. Miner. 1901. BB. 43; ibidem. 1908. XXVI. 488.
7. *Van-Hise*. Treatise on metamorphism. Monogr. Unit. Stat. Geolog. Survey. 1904. XLVII. 932.
8. *A. Pelikan*. Entst. d. Zeolithe. Tsch. Miner. Petr. Mittheil. 1906. XXV. 113.
9. *A. Gautier*. La gènesè des eaux minerales. Annales d. Mines (10), mem. IX. 1906. 316.
10. *C. K. Leith*. The metamorphic cycle. Journ. of Geology. 1907. XV. 303—313.
11. *E. C. Sullivan*. Interact. betw. minerals of water solut. Bull. Geol. Survey U. St. 1907. № 312.
12. *W. H. Emmons*. Genetic. classificat. of minerals. Econom. Geology. 1908. 111. 611.
13. *Delkeskamp*. Mineralquellen. Zeit. f. prakt. Geologie. 1908. XVI. 401—443.
14. *K. Andrée*. Ueber stettige u. unterbroch. Meeressedim. Neues Jahrb. 1908. BB. XXV. 366.
15. *E. Philippi*. Ueber d. Problem d. Schichtung. Zeit. d.d. geolog. Gesellsch. 1908. LX. 346—377.
16. *H. Washington*. Trans. Am. Min. Eng. 1909. XXXIX. 735 (характер марм).
17. *I. Vogt, Beyschlag und Krush*. Die Lagerstätten d. nutzbaren Miner. St. 1909. 1. 1. (втор. изд. 1914).
18. *V. M. Goldschmidt*. Kontaktmetamorphismus im Kristianiagebiet. Krist. 1911.
19. *V. M. Goldschmidt*. Anwend. d. Phasenregel auf Silikatgest. Zeit. f. Electroch. 1911. XVII. 686.
20. *V. M. Goldschmidt*. Die Gesetze d. Mineralass. v. Standpunkt, d. Phasenlehre. Z. f. anorg. Ch. 1911. LXXI. 313.
21. *J. Koenigsberger*. Umwandl. u. chem. React. N. Jahrb. f. Miner. 1911. BB. XXXII. 101.
22. *V. M. Goldschmidt*. Ueber die Anwend. d. Phasenlehre. Centralbl. f. Min. 1912. № 18.

23. *А. Ферман.* К вопросу о генезисе минералов и их взаимных превращениях. Труды СПб. Общ. Ест. XLIII. 1912. 255.
24. *А. Ферман.* О соединениях переменного состава в земной коре. Сборник имени Вернадского. Москва. 1913. 271.
25. *T. Wolff.* Der Vulkanismus. В. 1913. 1.
26. *J. Koenigsberger.* Paragenesis der Kieselsäureminer. Doelther's Handbuch d. Mineralch. 1914. II (1). 27.
27. *K. Andrée.* Ueber die Bedingungen d. Gebirgsfaltung. Berl. 1914.
28. *E. Leith a. Mead.* Metamorphic Geology. N. Y. 1915.
29. *Clarke.* Data of geochemistry. Wash. 1916. Bull. Unit. St. Geolog. Surwey. № 616 (четвертое изд. 1920. № 695).
30. *J. Samoylow.* Palaeophysiology. Mineral. Magaz. 1917. XVIII. 87.
31. *G. Berg.* Zeit. f. prakt. Geol. 1918. XXVI. 23.
32. *Н. Федоровский.* Генетическая минералогия. Петроград. 1920.
33. *B. Brandt.* Neuere Ansch. ü. d. Aufbau d. Erdrinde. Die Naturwissensch. 1920. 351.
34. *Я. Самойлов.* Биолиты. Журнал „Природа“. 1921. 1. стр. 25.
35. *F. Becke.* Fortschritte im Gebiete d. Metamorphose. Fortschr. Min. Petr. 1916. V. 210—264 (со списком литературы).

Примечание. Специальная литература по минералообразованию в осадочных породах будет приведена в последних главах второго тома, где предполагено дать общую характеристику минералообразовательных процессов Европейской России.

По вопросу о геологических циклах, помимо вышецитированной прекрасной книги *Leith'a a. Mead'a*, см. особенно:

- \*36. *E. Haug.* Le cycle des phénom. géologiques. La science au XX siècle 1903. 1. 343. 1904. 11. 17.
37. *W. Davis.* Geograph. Cycle. Geografic. Journ. 1899. XIV. 481.

---

## ГЛАВА ШЕСТАЯ.

### Распространение и роль химических элементов.

„Периодическая система элементов, связывающая свойства с весом атома, является истинным компасом для исследования“.

*Содди.* 1913.

Земная кора во всех своих оболочках составлена из 87 элементарных тел, распределение которых и составляет предмет изучения геохимии. Не имея возможности останавливаться в деталях на всех вопросах, относящихся к этой новой области знания, мы в дальнейшем вкратце дадим некоторые основные положения, в целях введения в понимание вопросов, освещаемых подробнее при изучении геохимии Европейской России. В частности нам

придется остановиться, во-первых, на вопросе о количественном распространении отдельных элементов в земной коре и, во-вторых, на законах распределения этих элементов в разных оболочках и разных участках земли. К первой части мы отнесем вопрос и о формах концентрации или рассеяния элементов. <sup>1)</sup>

Для удобства дальнейшего изложения я на следующей странице даю общую таблицу химических элементов по *Менделееву*, причем в каждой ячейке, кроме буквенного обозначения самого элемента, даю его атомный вес, среднее содержание в земной коре и порядковый номер, согласно данным физико-химической литературы 1920 г.

## I. Количественное распространение элементов

Благодаря трудам американских исследователей *Clarke, Washington'a* и *Van-Hise* и других, норвежского минералога *J. Vogt'a*, а также благодаря ценным работам, с новым освещением вопроса, *В. И. Вернадского*, средний состав доступной нашему исследованию земной коры, включая сюда и гидросферу и значительную часть атмосферы, вычислен с достаточной точностью и может быть передан как в весовых процентах, так и в процентах числа атомов (т. е. в объемных). Прилагаемые на особой таблице диаграммы дают нам картину относительного распределения главнейших элементов, согласно обоим методам, причем для изучения природных процессов я предпочитаю пользоваться второю диаграммою, дающею количественное распространение элемента независимо от его атомного веса.

Ниже приводится таблица распространения 50 наиболее важных элементов земной коры, выраженная вторым способом и расположенная в порядке уменьшения количества. Для вычисления этих цифр были взяты в основу цифры остатка земной коры, сведенные в сводке *В. И. Вернадского* (Опыт-опис. минералогии I. 1908—1914). Эти цифры были несколько видоизменены последующими работами *Вашингтона* и *Клэрка* (1920), о чем подробнее сообщается на стр. 46. Однако, ввиду спорности многих изменений, внесенных означенными американскими исследователями, я оставляю таблицу состава в объемных процентах в старом виде впредь до нового пересмотра всего вопроса.

ТАБЛИЦА I.

Кислород . . . . .	53,81	Кальций . . . . .	1,44
Водород . . . . .	17,18	Железо . . . . .	1,30
Кремний . . . . .	15,85	Калий . . . . .	1,04
Алюминий . . . . .	4,76	Углерод . . . . .	0,58
Натрий . . . . .	1,80	Титан . . . . .	0,18
Магний . . . . .	1,67	Хлор . . . . .	0,10

<sup>1)</sup> Работы последних лет над природой химических элементов и ролью изотопов рисуют весь вопрос о распространении элементов в новом свете. Нет никакого сомнения, что эти идеи в приложении к геохимии дадут много нового и поднимут ряд вопросов генетического характера. К сожалению, до настоящего времени у нас еще нет достаточно материала по этому вопросу. *W. Bein. Das chemische. Element. B. 1920.*

**Таблица химических элементов.**

	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1.	—	1. H (1) 17,18	—	—	—	—	—	—	—
2.	4. He (2) $10^{-6}$	6,9. Li (3) 0,02	9,1. Be (4) 0,01	11. B (5) 0,02	12. C (6) 0,58	14. N (7) 0,05	16. O (8) 53,81	19. F (9) 0,04	—
3.	20,2. Ne $10^{-x}$ (10)	23. Na 1,80 (11)	24,3. Mg 1,67 (12)	27,1. Al 4,76 (13)	28,3. Si 15,85 (14)	31. P 0,06 (15)	32,1. S 0,05 (16)	35,5. Cl 0,1 (17)	—
4.	39,9. Ar (18) $2 \cdot 10^{-4}$	39,1. K (19) 1,04	40,1. Ca (20) 1,44	44,1. Sc (21) $10^{-7}$	48,1. Ti (22) 0,18	51,1. V (23) $3 \cdot 10^{-3}$	52. Cr (24) $3 \cdot 10^{-3}$	54,9. Mn (25) 0,03	55,9. 59. 58,7. Fe Co Ni (26) (27) (28) 1,3 $3 \cdot 10^{-4}$ $3 \cdot 10^{-3}$
5.	—	63,6. Cu $1 \cdot 10^{-5}$ (29)	65,4. Zn $1 \cdot 10^{-4}$ (30)	69,9. Ga $10^{-7}$ (31)	72,5. Ge $10^{-x}$ (32)	75. As $1 \cdot 10^{-5}$ (33)	79,2. Se $10^{-6}$ (34)	79,9. Br $2 \cdot 10^{-3}$ (35)	—
6.	82,9. Kr (36) $10^{-x}$	85,5. Rb (37) $2 \cdot 10^{-5}$	87,8. Sr (38) $2 \cdot 10^{-3}$	89. Y (39) $2 \cdot 10^{-4}$	90,6. Zr (40) $6 \cdot 10^{-3}$	93,5. Nb (41) $1 \cdot 10^{-5}$	96. Mo (42) $10^{-6}$	? (43)	101,7. 102,3. 106,7. Ru Rh Pd (44) (45) (46) $10^{-x}$ $10^{-x}$ $10^{-x}$
7.	—	107,9. Ag $10^{-7}$ (47)	112,4. Cd $10^{-6}$ (48)	114,8. In $10^{-7}$ (49)	119. Sn $7 \cdot 10^{-4}$ (50)	120,2. Sb $10^{-6}$ (51)	127,5. Te $10^{-7}$ (52)	126,9. J $1 \cdot 10^{-5}$ (53)	—
8.	130,2. Xe (54) $10^{-x}$	132,8. Cs (55) $10^{-6}$	137,4. Ba (56) $5 \cdot 10^{-3}$	139. — 172. TR (57—72) $1 \cdot 10^{-4}$ — $10^{-x}$	172. —	181. Ta (73) $5 \cdot 10^{-5}$	184. W (74) $5 \cdot 10^{-7}$	? (75)	190,9. 193,1 195,2 Os Ir Pt (76) (77) (78) $10^{-x}$ $10^{-x}$ $10^{-x}$
9.	—	197,2. Au $10^{-7}$ (79)	200. Hg $10^{-7}$ (80)	204. Tl $10^{-7}$ (81)	207,1. ? Pb $4 \cdot 10^{-5}$ (82)	208. Bi $10^{-7}$ (83)	— Po (84)	? (85)	—
10.	222. Nt (86) $10^{-x}$	? (87)	226,4. Ra (88) $10^{-x}$	— Ac (89)	232,15. Th (90) $10^{-6}$	— Pa (91)	238,2. U (92) $10^{-6}$	—	—

Цифры в скобках под названием элемента обозначают его *порядковый номер* по данным 1921 г. Сверху нанесены атомные веса, снизу — количества в земной коре, выраженные в объемных процентах, причем для количеств меньше 0,01 введены отрицательные степени. В величинах меньше  $10^{-7}$  поставлена степень x, где x равно или больше 8.

Фосфор . . . . .	0,056	Цинк . . . . .	0,00013
Сера . . . . .	0,054	Церий . . . . .	0,00012
Азот . . . . .	0,049	Лантан . . . . .	0,00006
Фтор . . . . .	0,036	Тантал . . . . .	0,000048
Марганец . . . . .	0,028	Вольфрам . . . . .	0,000047
Литий . . . . .	0,025	Свинец . . . . .	0,000042
Бор . . . . .	0,017	Рубидий . . . . .	0,000020
Бериллий . . . . .	0,009	Иод . . . . .	0,000014
Цирконий . . . . .	0,0057	Медь . . . . .	0,000013
Барий . . . . .	0,0054	Мышьяк . . . . .	0,000011
Ванадий . . . . .	0,0034	Молибден . . . . .	0,000009
Хром : : . . . . .	0,0033	Сурьма . . . . .	0,000007
Никкель . . . . .	0,0029	Торий . . . . .	0,000007
Бром . . . . .	0,0021	Неодимий . . . . .	0,000006
Стронций . . . . .	0,0019	Уран . . . . .	0,000003
Олово . . . . .	0,00073	Селен . . . . .	0,000001
Кобальт . . . . .	0,00029	Теллур . . . . .	0,0000006
Иттрий . . . . .	0,00019	Празеодимий . . . . .	0,0000005
Аргон . . . . .	0,00017	Таллий . . . . .	0,0000004

В приведенной таблице набраны в разрядку элементы физиологического характера, т. е. играющие роль в современной биохимии. Повидимому, сюда же следовало бы отнести и марганец, фтор и алюминий. Иначе говоря, почти вся первая треть, кончая марганцем, должна быть отнесена к физиологическим элементам.

Как было указано выше, за последние годы американскими исследователями на основании нового аналитического материала все подсчеты среднего состава земной коры были проделаны наново, при чем *Washington* и *Clarke* пришли к ряду новых результатов.

Привожу прежде всего средний состав всех кристаллических пород по новейшим данным (1920):

ТАБЛИЦА II.

SiO <sub>2</sub> . . . . .	59,09	H <sub>2</sub> O . . . . .	1,14	F . . . . .	0,078
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	15,35	TiO <sub>2</sub> . . . . .	1,05	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,056
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	3,08	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,30	V <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,032
FeO . . . . .	3,80	MnO . . . . .	0,125	NiO . . . . .	0,025
MgO . . . . .	3,49	CO <sub>2</sub> . . . . .	0,102	BaO . . . . .	0,055
CaO . . . . .	5,08	ZrO <sub>2</sub> . . . . .	0,039	SrO . . . . .	0,022
Na <sub>2</sub> O . . . . .	3,84	S . . . . .	0,053	Li <sub>2</sub> O . . . . .	0,007
K <sub>2</sub> O . . . . .	3,13	Cl . . . . .	0,056		

На основании этих данных *Washington* дает следующий средний состав земной коры в весовых процентах, исключая, однако, из таблицы элементы осадочных пород, гидросферы и атмосферы:

ТАБЛИЦА III.

O . . . . . 46,43	Mn . . . . . 0,096	Li . . . . . 0,003	Hg . 0,0000xx
Si . . . . . 27,77	F . . . . . 0,077	Cu . . . . . 0,002	Sb . 0,0000xx
Al . . . . . 8,14	Cl . . . . . 0,055	Ce и др. 0,001	Mo . 0,0000xx
Fe . . . . . 5,12	S . . . . . 0,052	Be . . . . . 0,00xx	Ag . 0,00000xx
Ca . . . . . 3,63	Ba . . . . . 0,048	Co . . . . . 0,00xx	W . 0,00000xx
Na . . . . . 2,85	Cr . . . . . 0,037	B . . . . . 0,000x	Bi . 0,00000xx
K . . . . . 2,60	Zr . . . . . 0,028	Zn . . . . . 0,000x	Se . 0,000000xx
Mg . . . . . 2,09	C . . . . . 0,027	Pb . . . . . 0,000xx	Au . 0,000000xx
Ti . . . . . 0,629	V . . . . . 0,021	As . . . . . 0,000xx	Br . 0,000000xx
P . . . . . 0,130	Ni . . . . . 0,019	Cd . . . . . 0,0000xx	Te . 0,0000000xx
H . . . . . 0,127	Sr . . . . . 0,018	Sn . . . . . 0,0000xx	Pt . 0,0000000xx

Эту несколько искусственную таблицу можно попожнить указаниями, согласно *Clark'y*, что, если в состав земной коры включить осадочные породы, гидросферу и атмосферу, то мы получим лишь незначительное понижение большинства цифр, некоторые изменения для O (50,02), Si (25,8), Al (7,3), Cl (0,20), C (0,18) и включение азота с цифрой 0,03.

Если мы сравним эти новые данные со старыми, принятыми в основу наших перечислений стр. 44, то увидим изменение, главным образом, в следующем: повышено содержание Fe, Ti, F, Cr, V, Ni, Cu, As и Cd, при чем первые три повышены неособенно сильно; с коэффициентом 2—3 повышены следующие три элемента Cr, V, Ni; перешли в более высокую декаду As и Cd, но особенные изменения внесены в цифры меди, содержание которой возросло по новым данным в 100 раз. Наоборот, для других элементов цифры понижены: Mg, H, S, C, Li, B, Sn, W, Br. Для первых пяти это понижение не носит очень резкого характера, для последних четырех оно необычайно значительно, захватывает две декады, а для вольфрама понижает его распространение в 1000 раз ( $10^3$ ). Я не могу здесь входить в критический разбор этих изменений, но нельзя не указать, что повышены проценты ряда металлов основных пород, и понижена вся почти группа элементов биосферы и элементы кислых гранитных магм. Есть данные, которые заставляют возражать против некоторых из этих цифр, подлежащих еще дальнейшей критической обработке, хотя для других, как, напр., для меди, изменения совершенно справедливы.

*Анализ таблиц состава земной коры.*

Таблица первая на стр. 44 необыкновенно поучительна, так как показывает, что из 87 элементов природы первые 16 составляют более, чем 99,9% всего состава, и что среди них на первые 4 приходится почти 92%.

Эти четыре элемента—O, H, Si, Al, как четыре стихии древности или как четыре кита, „на которых мир держится“, составляют главную основу всей земной коры во всех ее зонах и глубинах.

Посмотрим далее на эту же таблицу. Среди первых 20 наиболее распространенных элементов мы не увидим ни одного тяжелого металла, и, кроме железа и марганца, атомный весь всех этих элементов ниже 50.

В первом приближении порядок этой таблицы следует повышению атомных

весов. Интересен и ряд других выводов, которые можно сделать при наблюдении этой таблицы.

Первый элемент — кислород, один из важнейших элементов земной поверхности, входящий в состав воздуха и обуславливающий жизнь на земле (атмосферу).

Первый и второй, вместе взятые, дают воду, т. е. основное вещество второй зоны — гидросферы.

Первые четыре элемента вместе представляют глину, т. е. один из обычных продуктов поверхностных зон разрушения (зоны гипергенеза).

Первые десять элементов дают нам представление о всей зоне катаморфизма и цементации.

Иначе говоря, в самых первых элементах нашей таблицы отражается вертикальная зональность геохимических процессов земли, и по мере присоединения все новых и новых элементов мы последовательно с самой крайней зоны земли — атмосферы — опускаемся в более глубокие зоны: сначала в гидросферу, потом в отдельные оболочки литосферы. К этим закономерностям мне придется еще ниже возвратиться при рассмотрении вопроса о распределении элементов в земной коре.

Есть еще одна сторона, на которую необходимо обратить внимание при анализе этой таблицы, — это ее несоответствие с вошедшими в наш обиход представлениями о редкости или обычности какого-либо элемента. Мы привыкли считать более или менее обычными такие элементы, как цинк или свинец и совершенно игнорируем, считая их редкими, какой-либо титан, бериллий или иттрий. А между тем эти последние элементы во много раз более распространены, нежели первые: титан в 1000 раз более, чем цинк, в 300 раз более, чем свинец и в 300 раз (по данным *Washington'a*) более, чем медь. Даже редчайшего иттрия в полтора раза больше, чем цинка, а столь редкого и нужного для стали ванадия в 100 раз больше, чем свинца. Очевидно, что в этом различии в представлениях кроется какое-то недоразумение, и на его выяснении мы должны остановиться особое внимание, так как оно дает ключ к правильной оценке вышеприведенных цифр.

Среднее содержание элемента в земной коре есть лишь отвлеченное и суммированное представление о количественном распространении элемента. Но само по себе, с геохимической точки зрения, оно может заключать в себе разное содержание. Одна и та же средняя цифра получится и в случае равномерного распределения элемента по всей земной оболочке, и в случае, если элемент в самой оболочке отсутствует, а в каком-либо одном месте сконцентрирован в большом количестве. Приводимый на стр. 49 рисунок показывает четыре различных способа рассеяния тех же 150 точек на одинаковой площади, и это рассеяние, конечно, с геохимической точки зрения, приводит к резко различным химическим результатам, хотя и выражается одинаковым средним числом.

Человек в своей промышленной и хозяйственной деятельности мало интересуется средними величинами; он использует только те скопления, в которых элемент накапливается в количествах выше средних, и эти скопления он называет месторождениями. Чем резче выражены эти месторождения, тем более доступны они для его хозяйственной эксплуатации, и, потому, челове-

ство построило свою культуру именно на использовании таких элементарных тел, кои по своим физико-химическим особенностям способны не столько к рассеянию, сколько к концентрации: свинец, цинк и олово вошли в обиход человеческого хозяйства не только по своим ценным качествам, но и потому, что они принадлежат к типу тех элементов, кои в природе легко образуют концентрированные скопления.

Действительно, с точки зрения рассеяния мы можем разделить все элементы на несколько групп: весьма рассеянных элементов, как-то титана, циркония; иттрия, или весьма сконцентрированных, как-то: меди, свинца, сурьмы, или, наконец, элементов промежуточного типа, напр., стронция, бария, и т. д.

Изучение тех химических или физико-химических процессов, кои обуславливают явления рассеяния или концентрации, составляет одну из интереснейших и важнейших страниц геохимии, сближаясь непосредственно с задачами науки, изучающей полезные ископаемые и их месторождения.

## 2. Законы распределения элементов в земной коре.

Нами было уже выше отмечено, что в самом количестве элементов, входящих в состав земной коры, наблюдается ряд законностей, которые заставляют видеть в них результат каких-то явлений, обуславливающих распределение элементов в земной коре.

К этому вопросу мы и перейдем, рассмотрев в известной последовательности:

1. совместное нахождение отдельных элементов,
2. совместное нахождение целых групп элементов (ассоциаций),
3. распределение отдельных элементов или их групп по различным частям земной коры или по различным эпохам.

1. Несомненно, что в основу наших представлений о совместном нахождении элементов в природе необходимо поставить точный эмпирический материал над распространением каждого элемента в отдельности и выяснению тех спутников, с которыми этот элемент обычно встречается в земной коре.

В этом направлении был уже давно накоплен обильный материал наблюдений, и, начиная с опытных данных фрейбергских рудокопов и Агриколы и кончая современными успехами горного дела, наметился целый ряд комбинаций элементов, вместе встречающихся в геохимических процессах. Эти законности совместного нахождения некоторых элементов уже вошли в обиход как самой науки, так и проспекторской геологической деятельности, и такие сочетания, Ферсман.

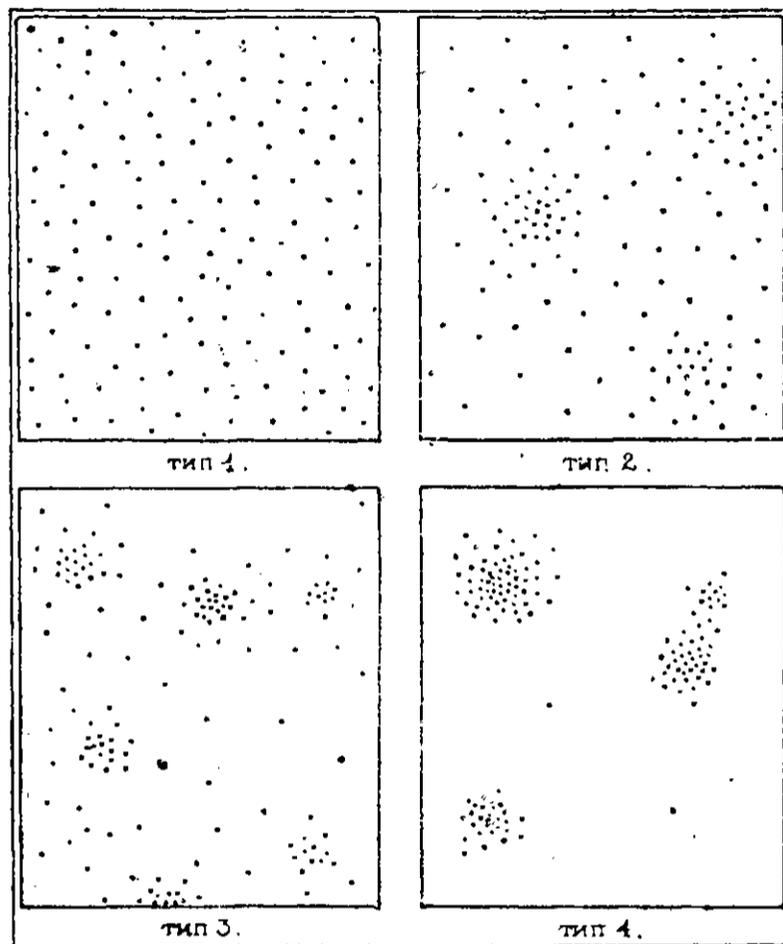


Рис. 1.

как  $\text{Te}$  и  $\text{Au}$  или  $\text{Pb}$  и  $\text{Zn}$ ,  $\text{Ag}$ , являются настолько обычными, что их считают совершенно закономерным процессом, забывая, что этому сочетанию мы до сих пор не можем дать никакого рационального объяснения.

Причины, вызывающие совместное нахождение отдельных элементов, весьма многочисленны и далеко не исчерпываются только химической близостью самих элементарных тел.

В общем основными причинами, обуславливающими парагенезис элементов, надо признать:

1) Близость химических свойств элементов, обуславливающая образование одинаковых продуктов при геохимических реакциях земной коры. Такова, напр., близость свойств редких земель, не только в лаборатории, но и в природе, редко отделяющей эти элементы друг от друга. Таковы также  $\text{Nb}$  и  $\text{Ta}$ , иногда  $\text{Zr}$  и  $\text{Ti}$ ,  $\text{Be}$  и  $\text{Al}$  и т. д.

2) Вторую важнейшую причину, тесно связанную с первой, является способность данной группы элементов к изоморфному замещению: совместное нахождение в природе элементов одного и того-же ряда Ретгерса было во всей широте впервые подчеркнуто В. Вернадским; при близости Ретгерсовских рядов к большинству вертикальных групп Менделеевской таблицы (особенно выраженной в форме приложенной таблицы) мы наталкиваемся в природе на весьма частое совместное нахождение элементов одной и той же группы, напр.,  $\text{K}$ ,  $\text{Rb}$  и  $\text{Cs}$  или  $\text{Zn}$ ,  $\text{Cd}$ , или  $\text{As}$ ,  $\text{Sb}$  и  $\text{Bi}$  и т. д.

3) Следующею причиной, согласно Vogt'у, приходится считать резкое различие в химических свойствах, обуславливающее образование прочных химических соединений, образующихся с большим выделением тепла; такова, напр., связь  $\text{S}$  и  $\text{Ba}$  в  $\text{BaSO}_4$ ,  $\text{K}$  и  $\text{O}$  в  $\text{K}_2\text{O}$  и т. д.

4) Далее, причиной совместного нахождения элементов является генетическая связь некоторых из них, объединенных общностью происхождения при радиоактивном распаде; таково совместное нахождение  $\text{He}$ ,  $\text{Nt}$ ,  $\text{Ra}$ ,  $\text{U}$  и радиосвинца, выраженное в определенной количественной зависимости этих элементов друг от друга, согласно уравнению радиоактивного равновесия.

5) Равным образом, в зоне биосферы, совместное нахождение ряда элементов объясняется их ролью в органическом веществе и их накоплением в связи с жизнедеятельностью растительных или животных организмов; такова обычная связь  $\text{C}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{S}$ ,  $\text{P}$  в торфяниках,  $\text{Ca}$  с  $\text{C}$  и  $\text{O}$  в раковинах моллюсков,  $\text{P}$ ,  $\text{Ca}$  и  $\text{F}$  в костях и т. д.

6) Наконец, кроме всех этих случаев, мы имеем еще длинный ряд эмпирически найденных законностей, которые не укладываются в вышеприведенные рамки и до сих пор остаются необъясненными; таково, напр., обычное сочетание  $\text{Ag}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Pb}$  или же  $\text{Ba}$  и  $\text{Mn}$ , отчасти  $\text{Th}$  и  $\text{U}$ .

Из выше приведенных данных мы видим, что причины, обуславливающие распределение отдельных элементов в разных зонах земной коры, весьма разнообразны и не укладываются в рамки каких-либо очевидных и простых химических законностей.

2. Несколько иначе складывается вопрос о распределении в земной коре целых групп химических элементов так, как он вырисовывается в современной геохимии. Суммируя весь наблюдательный материал относи-

тельно распространения отдельных элементов, мы приходим к установлению нескольких больших групп, которые я буду называть типическими геохимическими ассоциациями.

Эти ассоциации были намечены еще в классическом мемуаре *Эли-де-Бомона* (1847 г.), но затем были осложнены огромным накопившимся наблюдательным материалом и только в самые последние годы вновь были совершенно самостоятельно выявлены трудами *Vogt'a* и *De-Launay*.

Эти ассоциации, на основании всего имеющегося у нас материала, отвечают четырем главным типам геохимических процессов: а именно процессам биохимического характера, процессам магматического—кислого и основного характера и, наконец, процессам жильных эманаций (с серою). С геологической точки зрения эти ассоциации в схеме отвечают: первая—зоне биосферы, вторая—магматической зоне *Sal*, третья—такой-же зоне *Sima*, причем часть ее элементов уже совершенно определенно говорит о зоне *Nife*. Все эти зоны пересекаются жилами с четвертою ассоциацией.

## ТАБЛИЦА

### типических ассоциаций элементов

I. Поверхностные: Н, С, N, О, отчасти благородные газы (Ne—Xe) . . .	5 элем.
II. Кислых магм: Н, He, Li, Be, В, О, F, Na, Al, Si, К, (Ti), (Mn), Rb, Y, Zr, Nb, Mo, Sn, Cs, TR, Ta, W, (Au), Ra, Nt, Th, U . . .	24 „ <sup>1)</sup>
III. а) Основных магм: С, О, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, Ca, Mn, Br, J, Ba . . .	15 „
б) Ультраосновных: Ti, V, Cr, Fe, Co, Ni, Ru—Pd, Os—Pt . . .	8 „
IV. Жильные: S, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Mo, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Au, Hg, Tl, Pb, Bi . . . . .	22 элем.

Несомненно, по отношению к целому ряду элементов возможны некоторые сомнения. Так, положение Ba и Sr совместно с другими элементами магмы выражено не очень определенно; не вполне ясно и положение Mn, все же встречающегося в основных породах в несколько больших количествах, чем в кислых.

Такою неопределенностью объясняется принадлежность ряда элементов к нескольким группам, причем очень разительным является двойственная природа Sn, идущая с двумя резко отличными геохимическими процессами, и отчасти Ti, разбивающегося между ультраосновными породами тихоокеанского типа и средними щелочными сиенитами атлантического.

Наконец, можно еще отметить постоянную и закономерную связь Zr с только что указанными щелочными сиенитами или же довольно обычную связь соединений Cu, As, Bi, Au с магмами определенно кислого типа.

Как ни многочисленны могут быть замечания<sup>2)</sup> по поводу частных при-

<sup>1)</sup> Знаком TR я условно обозначаю всю группу редких земель.

<sup>2)</sup> Так, акад. *Вернадский* считает благородные газы широко распространенными в земной коре, а по отношению к Вг и J высказывает затруднительность связывать их с основными магмами.

веденной таблицы, но несомненно, что в первом приближении она намечает собою основные черты распределения элементов в земной коре.

Соотношение вышеприведенных четырех типических геохимических ассоциаций делается нам более очевидным, если мы отметим положение и характер каждого из элементарных тел на *Менделеевской* таблице.

Для этой цели я помещаю на особом листе таблицу *Менделеева* приблизительно в том виде, как она была дана ее автором в одном из первых мемуаров о периодических свойствах элементов, т. е., где соединены четные и нечетные ряды в длинные периоды.

В основу таблицы я беру последние известные мне данные о природе элементов и их взаимных отношениях так, как это изложено у *W. Vein* (1920). В моей таблице в горизонтальном ряду 1—2 расположены элементы порядковых номеров 1—10; в рядах 3—4 порядковые номера 11—28; в рядах 5—6—порядковые номера 29—46; в рядах 7—8 порядковые номера 47—78, причем на долю редких земель приходятся номера 57—72; наконец, в последних рядах порядковые номера 79—92, оканчивающиеся ураном. Неизвестными считаются пять элементов с порядковыми номерами 43, 75, 85, 87 и один из группы редких земель.

Значительное число элементарных ячеек включает в себя серию изотопов.

В таком виде эта таблица дается мною на особом листе, причем в ней элементы, относящиеся к первой группе таблицы стр. 51, не отмечены ничем, ко второй—подчеркнуты, к четвертой—перечеркнуты, а к третьей—окружены кружком, причем двойной кружок включает элементы ультраосновных магм.

Анализ полученного в таблице распределения элементов весьма характерен и позволяет наметить ряд законностей, которые до сих пор не подмечались при изучении этих явлений, и которые лишь вскользь в неясной форме подметил *Carnelley* в 1884 г., или, частью одновременно со мной, были высказаны совершенно независимо *Harkins*'ом (1917) и *Clarke* (1920).

Вся таблица разбита мною жирными линиями на три больших поля, которые я условно называю полями: о б ы ч н ы м (верхнее), ж и л ь н ы м (нижнее левое) и к и с л ы м (нижнее правое).

Каждое из этих наименований основывается на следующих соображениях:

Обычное поле, кончающееся никкелем, кобальтом и железом, характеризуется тремя типами элементов, начинаясь с элементов кислого типа совместно с биохимическими, после Na переходит к элементам по преимуществу зоны *Sima*, а начиная с Ti—к элементам переходных областей зоны *Sima* и *Nife*.

В это поле входят почти исключительно очень распространенные элементы, и, если исключить благородные газы и скандий, то только для Co среднее содержание будет ниже 3.10—3. Наоборот, среди элементов, не принадлежащих к этому полю, мы находим только Br, Sr и Ba, которые несколько сближаются количественно с содержанием кобальта; все остальные встречаются во много раз меньших количествах.

Этим положением вполне оправдывается наименование этого поля обычным.

Очень любопытным является то, что подавляющее большинство элементов типа III принадлежат как раз к обычному полю, и, таким образом, как общее

правило, может быть принято, что элементы зоны Sima с переходом к Nife (а не Sal) отвечают ближе всего картине распространенности элементов в земной коре.

Два нижних поля резко противоположны друг другу, состоя одинаково из элементов, принимающих малую роль в геохимических процессах земли; они отличаются тем, что левое—состоит из металлов резко выраженного электроположительного характера, образующих устойчивые соединения с серою, а правое—из металлов кислотного характера, не образующих соединений с серою (или образующих, но редко) и устойчивых в форме кислородных соединений. Теплоты соединений являются максимальными для первых с серою, для вторых—с кислородом.

Только сравнительно немногие элементы в каждом из этих полей нарушают эти типичные свойства, что особенно характерно для VII и VIII групп. В общем, однако, исключений не много.

Левое поле отвечает тем химическим элементам, которые мы знаем в земной коре в виде сернистых соединений, обычно приуроченных к жильным процессам, дислокациям, выделениям сернистых фумарол и т. д. Связь этих элементов с определенным типом магм не может быть намечена; скорее они носят безразличный характер, хотя одни из них, например, Au, As, Bi, Sn, Cu, более обычны для кислых пород, другие, как Ag, Pb, Zn,— для пород средней кислотности. В общем, однако, не смотря на большую растворимость сернистых соединений в магмах основного типа, мы должны, согласно *De-Launay*, скорее связывать всю эту группу химических элементов с кислыми или средними породами, чем с глубинно-основными.

Не менее замкнутую группу в самих себе составляют элементы правого кислого поля. За немногими исключениями перед нами типичные элементы кислых щелочно-земельных гранитных магм. Подчеркнутые элементы всей правой половины нашей таблицы дают нам типичную картину гранитных пегматитов, и, потому, это поле еще более характерно обнимает собою элементы одного и того же парагенетического ряда.

Таким образом, при наблюдении *Менделеевской* таблицы мы устанавливаем известную закономерность распределения в ней четырех (или пяти, если выделить ультраосновную) групп элементов; т. е. тех типических геохимических ассоциаций, которые мы установили на основании суммирования отдельных наблюдений и анализа минеральных ассоциаций в породах различной кислотности.

### 3. Общие законности распределения элементов в земной коре.

Как указано было при анализе совместного нахождения отдельных элементов, причины, обуславливающие эти явления, весьма многочисленны и разнообразны; однако, ни одна из них в частности, ни все вместе не могут дать рационального объяснения. В литературе мы находим ряд разнообразных точек зрения, пытающихся пролить свет на этот вопрос большого геохимического значения. Одни, как *Эли-де Бомон*, связывали совместное нахождение с электрическими токами земного поля, другие, как *J. Vogt*— с дифференциацией

магмы, согласно законам физической химии, третьи, как *De-Launay*, высказывали даже предположение о связи, основанной на генезисе и превращении элементов.

Несомненно, однако, что ни одно из этих предположений не может быть обосновано на основании фактических данных; распределение элементов в основе своей базируется, повидимому, на более глубоких причинах первичного распределения их в земном шаре, и роль всех физико-химических факторов теплового и физико-химического режима земной коры заключается лишь в перегруппировке и усложнении, может быть, более простых первичных схем.

Положив таким образом в основу геохимического распределения элементов явления, выходящие за рамки точного анализа наблюдаемых фактов, мы, тем не менее, не можем не отметить, что такой взгляд уже проник в современную научную мысль под влиянием обобщений *Suess'a*. Схема *Sal-Sima-Nife*, как схема трех батиметрических оболочек земного шара, является уже общепризнанной, и взгляды *De-Launay* лишь развивают и дополняют ее частности, а идеи *Wiechert'a* продолжают ее в более глубокие слои земной коры и самой земли.

Настоящие идеи и наблюдения как будто вносят некоторую поправку в установившуюся, хотя еще и не доказанную схему: приурочивание к поверхности элементов малых атомных весов (или вернее, малых удельных весов), повидимому, ограничивается лишь нашим обычным полем *Менделеевской* таблицы. В пределах этого поля, в грубых чертах схемы *De-Launay*, мы действительно видим последовательность более легких элементов в зоне *Sal* (Na, Al, H, Li, Be), более тяжелых в зоне *Sima* (Al, Si, Mg, Ca, Ti) и, наконец, еще более тяжелых в зоне *Nife* (Cr, V, Ti, Fe, Co, Ni). Но на этом схема обрывается: дальше следуют элементы, в которых никакой зависимости в духе этого закона нет, и даже наоборот — далее следуют элементы именно более поверхностных зон *Sal* и более поверхностных жильных эманаций с тяжелыми металлами. Все кислое поле, связанное в своей геологической истории с зоной *Sal*, абсолютно противоречит основному закону концентрирования элементов от центра к периферии в порядке понижения их атомных или удельных весов. Этим наносится определенный удар распространенному толкованию той схемы распределения элементов, которая устанавливается фактами для первых двух больших рядов таблицы, резко отличных в своей геохимической истории от всех остальных.

Поразительное подтверждение этому мы имеем в распространении элементов в метеоритах; если мы, согласно данным *Wahl'a*, аналогично земным процессам, составим естественную ассоциацию элементов космических тел, то получим такую картину: из 20 распространенных элементов 19 займут место в поле обычном и только один (Cu) — в поле жильных образований; наоборот — из 25 элементов, обнаруженных только спектроскопом или в следах, только четыре займут место в обычном поле, а остальные разобьются почти поровну между нижними полями: девять — в поле жильном и одиннадцать — в поле кислом.

Естественная ассоциация элементов в метеоритах  
(по Wahl'ю).

H	—	—	—	—	—	—	He	Li	.	C	N	O	.	—	—	.
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni
Cu	Zn	Ga	.	As	.	.	.	.	Sr	Y	.	.	Mo	?	.	.
.	.	.	Sn	Sb	.	J	.	Rb	Ba	TR	.	W	?	Os	Ir	Pt
Au	.	.	Pb	Bi	.	?	.	?	.	.	.	.	U	.	.	.

Примечание. Жирным шрифтом набраны элементы, играющие роль в составе метеоритов, корпусом—те, которые обнаружены в ничтожных следах или только спектроскопически. По последней сводке *Merrill'я* (1919 г.) известны следы V, Pd, Ru, Ir, и совершенно отсутствуют барий, стронций и цирконий.

Иначе говоря, анализ распространения элементов показывает нам, что качественного различия между геохимическими ассоциациями теллурических и неземных процессов нет, что различие между ними только количественное, и что наиболее важные элементы земли являются одновременно и важнейшими элементами тех космических образований, кои положили начало метеоритам.

Мы приходим из вышесказанного к выводам, что в основе современного распределения элементов в земной коре лежит первичная <sup>1)</sup> неравномерность их распределения по отдельным оболочкам земной коры, причем закономерность этого распределения наблюдается лишь для обычного поля нашей таблицы; для элементов более тяжелых, чем Fe, Co, Ni, Cu, нет никаких оснований предполагать их более глубинное происхождение, и, наоборот, наблюдения заставляют относить их к более поверхностным зонам земной коры.

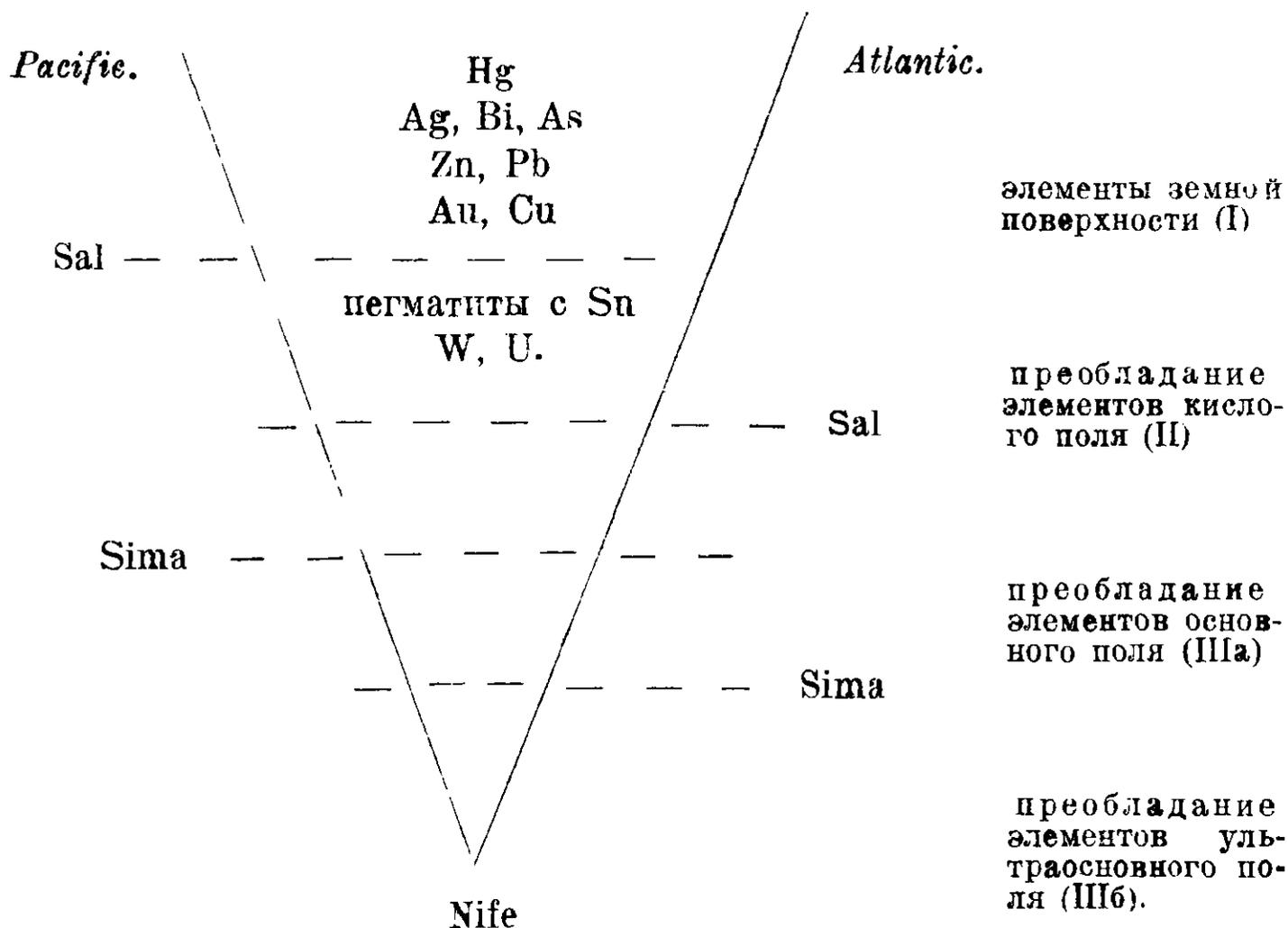
Таким образом, на основании современных данных, мы можем нарисовать приближенную схему распределения элементов с глубиной, принимая во внимание отличие тихоокеанских и атлантических магм, см. стр. 56.

Во времени эта схема намечает изменение закономерного характера и притом в нескольких направлениях: в первые геологические эпохи преобладали магмы Pacific и в значительной степени магмы Sal; в виде древних гранитов и гранито-гнейсов они нам хорошо известны. Из жильных процессов, как можно думать вместе со *Spurr'ом*, благодаря эрозии верхних частей древних образований, сохранились только более глубокие части, чем и объясняется обилие в них элементов гранитно-пегматитового типа, золота и меди.

По мере хода геологической истории процессы перемещались слева направо; в новейшее время магмы атлантики стали преобладать (более глубокие), в других местах эрозия обнажила более глубокие зоны Nife ранее застывших

<sup>1)</sup> Под „первичною“ я условно подразумеваю те явления, которые лежат вне области точного геологического исследования.

Элементы  
жильного поля (IV).



массивов, а жильные процессы третичной эпохи принесли с собою металлы вышележащих зон жильного поля с Zn, Pb и т. д. Такова та схема, которая согласно с наблюдениями в основных чертах объясняет главные черты геологических особенностей земной коры.

Таким образом, на основании вышеприведенных соображений, мы считаем, что в современном распределении элементов в земной коре еще сохранились черты первичных форм распределения материи при образовании космического тела нашей планеты. Это первичное распределение видоизменялось в течение дальнейшей геологической истории земли, с одной стороны вследствие геохимических и магматических процессов, вносящих усложнение в вероятно сравнительно простую схему первичного распределения, с другой стороны вследствие некоторого обмена веществ между нашей планетой и другими космическими телами. Этот обмен заключался, с одной стороны, в потере землею атомов гелия и водорода, отдельные быстродвигающиеся частицы которых, согласно кинетической теории газов, могли преодолеть земное тяготение, с другой — вследствие постоянного прироста земли под влиянием падения метеоритов и космической пыли.

Несмотря на все усложнения в химической схеме строения земного шара, мы различаем нижеследующие зоны с преобладанием некоторых элементов.

Таковы атмосфера: O, N

гидросфера: H, O, Na, Cl, отчасти S

литосфера — земная по-  
 верхность: O, H, Si, Al, C . . . . . Sal  
 болеее глу-  
 бокие зоны: O, Si, Al, C, Ca, Mg, K, Na . . . . . Sima  
 глубинные  
 зоны: O, Si, Fe, Cr, Ni, Cu . . . . . Nife.

Табличка на стр. 56 дает графическое выражение этой схеме.

#### 4. Связь определенных ассоциаций с участками земной коры.

Мы только что в грубых чертах наметили известные законности распределения элементов с глубиной, т. е. пытались установить связь естественных ассоциаций элементов с геохимическими зонами *Van Hise—Лукашевича*. Теперь попытаемся пойти в этом анализе дальше и посмотреть, не локализируются ли наши ассоциации еще иным способом, и нельзя ли установить некоторую связь между этими ассоциациями и определенными участками земной коры или определенными геологическими эпохами

Распределение химических элементов в отдельных областях является результатом химических и физических процессов, идущих в земной коре на разных ее глубинах, и, потому, зависит непосредственно от тех геологических явлений, которые наблюдались в данной области в течение всей ее геологической истории. В виду этого в земной коре могут быть намечены отдельные самостоятельные районы, обнимающие области распространения каких либо крупных геологических факторов и объединяющие собою совокупность физико-химических процессов, как результата первых.

Таковыми областями можно намечать, напр., в Европейской России район Крымских мезозойских хребтов, область осадочных отложений Центральной России, Фено-скандинавский щит, хребет Уральский и т. д. Каждая из этих областей земной поверхности характеризуется комплексом химических элементов, играющих в ней роль и обладающих большею или меньшею в ней распространенностью. Совокупность химических элементов, встречающихся в таких геологически обособленных областях земной коры, я буду называть естественною геохимическою ассоциациею: сравнение же таких естественных ассоциаций с типическими и установление сходства или различия между ними и составляет одну из наших задач геохимического исследования земной коры <sup>1)</sup>.

Изучая таким образом геохимические ассоциации элементов, свойственные определенным районам России, я убедился, что такая ассоциация в значительной степени охарактеризовывает каждый данный район, являясь конечным

<sup>1)</sup> Надо иметь в виду, что при дальнейшем спектроскопическом исследовании минералов и расширении исследования названных *Вернадским* микрокосмических смесей наши сведения о распространении элементов сильно расширятся.

выражением — результатом геохимических и физических процессов, которые шли или идут в данной области. Сравнение же этих естественных ассоциаций с типическими позволяет установить ряд таких характерных для данного района черт, которые, позволяя, с одной стороны, отнести его к одной из вышеперечисленных типических ассоциаций, с другой — намечают собою ряд отличий или отклонений, составляющих типические черты данной области.

Таким образом, первая задача, вытекающая из вышеприведенного метода изучения геохимических особенностей земной коры, приводит нас к возможности, путем сравнения типических и естественных ассоциаций, охарактеризовывать отдельные районы.

В дальнейшем я даю, для всех отдельных областей, такие геохимические ассоциации, как, например, для Крыма, гранитных пород Урала, Донецкого бассейна и связанных с ним герцинских процессов, и каменноугольных отложений центральной России и т. д. Помимо общей диаграммы, построенной по типу таблицы V, на особом листе, в каждом случае мною дается отношение числа элементов, относящихся к каждой из четырех групп, приведенных на стр. 51.

Нет никакого сомнения, что этим способом графического изображения ассоциаций более резкие отличия создаются в областях кристаллических пород, и сильно сглаживается распределение элементов в сериях пород осадочных. Для первых такая характеристика, в противоположность чисто петрографическому подходу, учитывает всю совокупность химических элементов, принесенных с собою магматическим процессом, а не исключительно только ту часть их, которая сохранилась в составе твердой горной породы. Благодаря этому, получается более правильное освещение химической природы отдельных магм, и дается возможность более полного подхода к их различению с геохимической точки зрения, чем это дается, напр., современной чисто петрографической характеристикой. Только анализ пород атлантической и тихоокеанской магмы <sup>1)</sup> впервые подошел несколько к этому вопросу с точки зрения относительного распространения химических элементов, но, к сожалению, ни *Becke*, ни его последователи не довели своего положения до конца, ограничиваясь лишь анализом главнейших химических элементов. Равным образом такой подход дает и несколько более широкое толкование прекрасному термину *Spurr*'а о металлогенетических провинциях <sup>2)</sup>.

Установление этих естественных ассоциаций и связь их с геологической историей области определяет установление некоторой зависимости между химическими и физическими явлениями в земной коре. Так группировки элементов IV поля несомненно связываются с процессами дислокационного характера (жил герцинской системы), складчатые образования без дисъюнктивных дислокаций связываются обычно лишь с перегруппировкою элементов обычного поля и то только в его первых двух третях (альпийские жилы). Вместе с тем мы наблюдаем приуроченность некоторых геохимических ассоциаций к определен-

---

<sup>1)</sup> Вопрос о полной обособленности этих двух магм опровергается геохимическим их обследованием, не дающим пока оснований допускать вполне резкое химическое различие между ними.

<sup>2)</sup> См. в списке литературы № 42 статью *Левинсона-Лессинга*.

ным геологическим эпохам, чем намечается лишь дальнейшее развитие идей *Линдгрена* о металлогенетических эпохах.

На основании сказанного мы признаем, что для анализа геохимических особенностей и определения геохимических областей представляется весьма удобным устанавливать совокупность химических элементов данного района и путем сравнения полученных данных с Менделеевской таблицей выяснять характерные ее черты.

Этот метод представляет несомненные удобства для областей со сложною минерализацией и сложною геологическою историею; к меньшему значению выводов приводит он при анализе комплекса осадочных пород, хотя и здесь намечается ряд любопытных законностей.

Таким образом, мы считаем необходимым заменить понятие о металлогенетических или петрографических провинциях новым, более правильным понятием об „элементогенетических провинциях“, как обнимающих и то, и другое понятие широко, а с точки зрения возраста связать эти-же геохимические ассоциации с особыми элементогенетическими эпохами.

#### ГЛАВНЕЙШАЯ ЛИТЕРАТУРА.

1. *Elie de Beaumont*. Bullet. d. l. soc. géolog. France. 1847. IV. 1249 — 1334. (Note s. l. émanations volcaniques).
2. *A. Breithaupt*. Die Paragenesis der Minerale. Freiberg. 1849.
3. *St. Claire Deville*. Mémoire s. l. émanat. volcan. Compt. Rend. Paris. 1856 XLIII. 955.
4. *Dana*. Earths contract. Amer. Journ. Sc. 1873. III (V). 423; VI. p. 6—14.
5. *T. Carnelley*. Ber. d. deutsch. chem. Gesellschaft. 1884. XVII. 2287—2291. (Связь геохимии с Менделеевской таблицей).
6. *Crookes*. Genesis of the Elements. Lond. 1887.
7. *L. Bombicci*. Sulla compos. fisico del globo terrestre. Atti Reale Acad. Sc. Inst. Bologna. 1887. VIII.
8. *J. Vogt*. Zeitschr. f. prakt. Geologie. 1906. 217; 1899. 274; 1898. 420; 1899. 10; 1894. 382; 1894. 458; 1895. 145, 367, 444, 465; 1898. 271; 1901. 327.
9. *Wiechert*. Ueber d. Massenvertheil. im Innern d. Erde. Nachrichten d. Ges. Wiss. Göttingen. Mathem. Naturw. 1897. 221—243.
10. *Sv. Arrhenius*. Geolog. Förening. Förhandl. 1900. XXII. 395, особенно 418 (Zur Physik des Vulkanismus).
11. *I. N. Lockyer*. Inorganic Evolution. London. 1900.
12. *G. Tammann*. Krystallisieren u. Schmelzen. 1903.
13. *F. Becke*. Tsch. Min. Petr. Mitth. 1903. XXII. 209—250.
14. *Daly*. Bullet. Un. Stat. Geolog. Survey. 1903. 209. p. 110 (единая в глубине магма).
15. *Prior*. Mineralog. Magazine. 1903. 61. 228 (два типа магм).

16. *Delkeskamp*. Ueber Konzentrationsprocesse... Zeit. f. prakt. Geologie. 1904. 289.
17. *V. Hise*. Treatise on metamorphism. Monogr. Unit. St. Geol. Survey. 1904 XLVII. стр. 932.
18. *G. Steinmann*. Ber. Naturf. Gesellsch. Freiburg in Br. 1905. XVI. 50 (роль глубоких осадков при горообразовании).
19. *De-Launay*. La science géologique. Paris. 1905. 627.
20. *R. Daly*. Americ. Journal of Sc. 1906. XXII. p. 195—216.
21. *H. Thiene*. Temperatur u. Zustand d. Erdinnern. Jena. 1907.
22. *C. K. Leith*. The Metamorph. Cycle. Journal of geology. 1907. XV. 303—313.
23. *Warren Y. Mead*. Redistribut. of Elements. Journal of Geology. 1907. XV. 238—256.
24. *I. E. Spurr*. Theory of ore deposits. Econom. Geology. 1907. II. 780 (металлогенетические провинции).
25. *E. Suess*. Sitzungsber. Akad. Wissensch. Wien. Mathem.-Naturw. Kl. 1907. Abth. I. 117. 1555.
26. *T. Wolff*. Die vulkan. Kraft u. d. radioact. Vorgänge. Zeit. d. deut. geol. Ges. 1908. LX. 431—465.
27. *J. Vogt*. Physikalisch-chemische Gesetze d. Krystallisationsfolge. Tsch. Min. Petr. Mitth. 1908. XXVII. 105.
28. *F. Clarke*. Data of Geochemistry. Wash. 1916. Bullet. Unit. Stat. Geol. Survey. № 616; третье издание (четв. издание 1920. № 695).
29. *A. Bergeat*. Stoffliche Inhomogenität d. Magmas. Mitth. Geogr. Gesellsch. München. III. 2. 1908.
30. *A. Harker*. Natur. History of igneous rocks. Lond. 1909. 23.
31. *J. Vogt, Krush u. Beyschlag*. Die Lagerstätten der nützlich... Stuttg. 1909. I. 1, p. 149.
32. *W. Lindgren*. Metallogen. Epochs. Economic Geology. 1909. IV. 409.
33. *В. И. Вернадский*. Парагенезис химических элементов в земной коре. Труды XII Съезда Естествов. Москва. 1909.
34. *R. Daly*. Origin of the Alc. Rocks. Bull. Geol. Soc. of America. 1910. XXI. 37—118.
35. *W. Wahl*. Zeitsch. f. anorg. Chemie. 1911. 69, p. 52—96 (состав метеоритов и земли).
36. *A. Wegener*. Die Entstehung d. Kontinente. Peterm. Geogr. Mittheil. 1912. I. 185, 253, 306.
37. *A. Wegener*. Geologische Rundschau. 1912. III. 276—292.
38. *А. Ферман*. Очерки по геохимии. „Природа“. 1912. 366. Его же: Геохимия и Рудное Дело. „Уральский Техник“. 1913. Декабрь.
39. *F. Wolff*. Der Vulkanismus. В. 1913. I.
40. *De-Launay*. La science géologique. 1913. I, стр. 1—34, 241—288.
41. *Leith a. Mead*. Metamorphic Geology. 1915.
42. *Ф. Левинсон-Лессинг*. Изв. Политехнич. Инст. Петроград. 1915. XXIII. 459. (Дифференциация магм).
43. *W. Harkins*. Journ. Am. Chem. Soc. 1917. XXXIX. 856.

44. P. Делл. Магматические горные породы (пер. Герасимова). Москва. 1920. II. 7.
45. H. Washington. The chemistry of the earth's crust. Journ. Frankl. Inst. 1920. 190. p. 757.
46. P. Niggli. Das Magma u. s. Producte. Naturwiss. 1921. 9. 463.

## ГЛАВА СЕДЬМАЯ.

### Геохимия отдельных областей.

... есть любвеобильные натуры, которые друг друга любят, и другие натуры, которые друг друга ненавидят. Это же самое находим мы среди камней сообразно их внутренней природе. Так попадаются между ними камни, кои встречаются вместе с другими, и камни, кои от других бегут, камни, которые другие изменяют, и камни, которые вновь последние возстановливают, равно как камни, кои другие окрашивают..

*Luka-ben-Serapion* в введении к переводу „Книги о камнях Аристотеля“.

Как указано было в первой главе (стр. 11), третьей задачей минералогического и геохимического описания всякой области является исследование распространения и роли отдельных химических элементов в ней. В этом направлении исследование должно опираться на детальные химические и спектроскопические данные и, потому, требует большой и детальной изученности всех химических соединений и процессов, наблюдающихся в данной области. Основные вопросы, которые могут быть поставлены такому исследованию, следующие:

1. Учет всех встречаемых в области химических элементов.
2. Качественная и количественная оценка распространения, относительной роли и формы концентрации каждого из них.
3. Установление связи между отдельными химическим элементами;
  - „ „ между элементами и горными породами определенных петрографических типов;
  - „ „ между элементами и районами их распространения (элементогенетические провинции);
  - „ „ между элементами и определенными геологическими эпохами (элементогенетические эпохи).
4. Роль отдельных элементов, характер их распространения, история миграции и связь с геологической историей края.
5. Роль элементов в промышленности человека и влияние этой промышленности на геохимию области.

Для правильного и полного обоснования геохимии каждой отдельной области необходимо применение к изучению данной местности всех тех идей, кои были высказаны мною выше в предыдущей главе. Вместе с тем для этой-же

цели должен быть принят во внимание тот графический метод изображения естественных ассоциаций, который связывает их с периодической системой элементов.

1. Учет всех элементов является одною из самых интересных задач геохимии и дает картину естественной ассоциации элементов данной области. Нет никакого сомнения, что такая ассоциация тем более генетически однородна, чем однороднее по своей геологической истории является изучаемая область. Так, напр., ассоциация химических элементов всего Крымского полуострова не дает еще стройной и цельной картины, тогда как ассоциация элементов горной области Крыма или даже ассоциация только изверженных пород его дает такую группировку, которая может, путем сравнения с другими областями, дать ключ к разрешению ряда интереснейших геохимических проблем.

Для районов с простым геологическим прошлым, однородных по петрографическому составу пород или по типу геологических процессов (напр. чисто пустынный тип), — число элементов, принимающих участие в химических процессах, в общем не велико.

Наоборот для районов, очень сложных по своему строению и своей истории, напр. для Уральской цепи, мы получаем почти всю *Менделеевскую* таблицу, за немногими исключениями. Очевидно, однако, что такого рода различие в значительной степени обуславливается тем, что мы в наших таблицах учитываем лишь присутствие элемента, не касаясь его количественной стороны; а между тем указание на присутствие того или иного элемента зависит от методов его определения, и нет сомнения, что с утончением спектроскопических и электрохимических методов исследования в любой части земной коры можно будет обнаружить подавляющее количество всех элементарных тел. Но при современном уровне наших знаний мы условно ограничиваемся лишь теми элементами, кои обнаружены или могут быть обнаружены химическим способом, и только в скобках помещаем элементы, найденные спектроскопически.

Размещая элементы по клеткам таблицы *Менделеева* и пропуская неизвестные в данном районе, мы получаем графическое изображение естественной ассоциации элементов данной области, очень характерное и позволяющее резко различать друг от друга отдельные ассоциации.

Сравнивая эти ассоциации с типической (см. табл. V), мы устанавливаем те геохимические особенности, которые характеризуют данную область в отличие от соседних, или, наоборот, те характерные черты, которые общи различным районам (напр. Карпатам и Крыму) и т. д.

Таким образом, *Менделеевская* диаграмма с разнесением по клеткам наблюдавшейся ассоциации элементов уже сама по себе чисто качественно может дать ряд ценных выводов, и тем более она является характерною, если в ней, хотя-бы в самой грубой форме, будут выражены и некоторые количественные соотношения (напр., различая более или менее важные элементы типом шрифта). Особая ценность ее заключается в наглядности выявления вопросов: преобладание в данной области элементов с низкими или высокими атомными весами (т. е. верх или низ диаграммы), преобладание элементов щелочных или кислотных (левая или правая половина), наконец, преобладание некоторых

вертикальных групп, т. е. определенных изоморфных рядов. Все эти вопросы большого значения для оценки геохимических особенностей каждого района вырисовываются в большинстве таблиц с большою ясностью. Однако, практически пользование этим методом нередко представляет большие затруднения, благодаря трудности определения роли каждого элемента, в особенности если принять во внимание вопрос о типе концентрации или рассеяния элементов. Как отмечено было выше на стр. 49, тип рассеяния играет в каждом районе не меньшую роль, чем среднее количественное распространение элемента. Характер рассеяния должен быть учитываем с особым вниманием, но тем не менее не может быть с достаточною точностью выражен в наших таблицах; так, напр., какой-либо элемент может быть рассеян в количестве менее 0,01%, что могло бы заставить нас не включать его в таблицу элементов, тогда как в других условиях те-же количества этого элемента могли бы быть сконцентрированы в виде совершенно определенного месторождения, которое, конечно, было-бы при учете принято во внимание.

Все это показывает, что принятый нами метод геохимического сравнения отдельных районов страдает рядом недостатков и имеет лишь относительное значение в качестве только первого приближения в выяснении сложного природного процесса.

Особенно это касается принятого мною ниже разделения элементов на два типа: более или менее важных. Отсутствие для суждения о значении какого-либо элемента строго определенного критерия делает это деление весьма схематичным.

2. Еще труднее подойти ко второй задаче — качественной или количественной оценке относительной роли химических элементов в данной области. В принципе казалось бы правильным принять за норму средний состав всей земной коры; в этом случае всякое изменение этого состава в ту или иную сторону могло-бы выражать специфические отклонения в геохимической характеристике каждой области и было-бы, конечно, возможно при глубоком химическом и, притом, количественном учете всех минеральных групп данной области. Однако, на деле таких данных мы не имеем и, вероятно, скоро иметь не будем, и, потому, приходится прибегать к косвенным, весьма несовершенным приемам для того, чтобы показать не столько абсолютное, сколько относительное преобладание одного элемента или по сравнению с другим, или же по сравнению с этим же элементом, но в других ассоциациях.

Элементы, предполагаемые в данном районе, но не доказанные, отмечаются в моих диаграммах петитом с вопросительным знаком—?; элементы, обнаруженные лишь спектроскопически, поставлены петитом в скобки ( ); элементы, для которых мы в условиях данной области никаких особенностей, выделяющих их из условий обычного распространения, не наблюдаем—набраны петитом; все элементы, играющие существенную роль или количественно, или качественно—корпусом; подчеркнуты—элементы, скопления коих достигают особых размеров, минералогически или даже практически заслуживающих внимания.

3. Третий цикл вопросов связан с изучением явлений совместного нахождения отдельных элементов между собою и их связи с определенными геологическими явлениями и эпохами.

Детальное выяснение законов совместного нахождения должно быть проведено в тесной связи с выяснением генетических типов и установлением роли отдельных элементов в определенных геологических процессах области.

Из этой первой стороны совместного нахождения элементов вытекает и установление связи ассоциации элементов с определенными типами горных пород. Уже на стр. 51, нами была дана грубая схема такой наиболее типичной связи химических элементов с типами магм, и, поэтому, в пределах каждого описываемого района является весьма интересной и благодарной задачей глубже вникнуть в эту зависимость. Так, напр., для Урала установление связи частных ассоциаций элементов с гранитами, миасскитами, пироксенитами, диорито-диабазами и т. д. дает ключ к разгадке целого ряда вопросов об их распределении и является с практической точки зрения базой для ряда важных горнотехнических выводов.

Установление районов распространения отдельных элементов или их группировок приводит нас к оконтуриванию областей определенного геохимического характера и этим путем намечает то, что выше мы назвали элементогенетическими провинциями.

Последовательно изучая ход химических процессов области, мы подходим, наконец, к установлению некоторой связи между химическими элементами и геологическими процессами определенных эпох, что приводит нас в каждой области к выявлению элементогенетических эпох, согласно принятой выше терминологии.

Разрешение только что намеченного цикла вопросов может явиться лишь в результате глубокого и всестороннего изучения каждой области с геологической, минералогической и геохимической точек зрения.

4. Четвертый вопрос в области геохимического обследования страны заключается в выяснении роли каждого отдельного элемента, характера его распространения, истории миграции и образования минеральных групп.

Если первый и второй вопросы ближе всего касались взаимоотношений общей химии и геохимии, третий — непосредственно связывал нас с геологией в ее прошлом и настоящем, т. е. со всем физико-химическим комплексом явлений земли в исторической перспективе, то настоящий цикл вопросов вводит в непосредственную связь элемент с минералом, устанавливая те пути, по которым идет группировка или раз'единение химических элементов (миграция). Задачей этой части является выявление геохимических особенностей каждого данного элемента, судьба его в геологической истории, характер связи с другими элементами, роль и судьба образуемых им минералов. Несомненно, что именно для такой характеристики наши данные являются подчас очень скудными и, потому, обычно для характеристики ряда элементов оказываются недостаточными. Тем не менее опыт такого описания является необходимым, хотя бы с целью дать материал для дальнейших исследований и наметить те задачи и те непосредственные дефекты наших знаний, кои должны быть поставлены в основу дальнейших геохимических опытных исследований. Во всяком случае при описании каждого элемента возможно сравнение его

свойств в данном районе с тою характеристикю, какую ему приходится давать в общей геохимии.

Если для отдельных районов детальное изложение роли и судеб отдельных элементов не всегда может быть плодотворно, то в грубых чертах оно может дать много интересного при общей сводке всех наших геохимических сведений об элементах русской платформы.

Такая сводка намечена мною в конце описания отдельных районов и является синтезом наших сведений по химии отдельных элементов на всей территории Европейской России.

В этой сводке будет сначала дана краткая общая характеристика элемента и затем его особенности, наблюдавшиеся при изучении минералогии и геохимии русской платформы.

5. Наконец, есть еще один вопрос в области геохимии, который вводит нас определенно в цикл человеческой культуры и фабрично-заводской деятельности на поверхности земли, — учет влияния на геохимию человека с его культурой и хозяйством. Несомненно, что в настоящее время человеческая деятельность по своему масштабу и влиянию на химическую жизнь земли сделалась уже соизмеримою с другими геохимическими факторами и не может быть оставлена без внимания. Поэтому, в списке естественной ассоциации элементов является интересным выделение тех из них, которые представляют практический интерес и практически используются. Такого рода выделение — для научных освещений геохимии имеет то значение, что показывает, с одной стороны, крупную концентрацию данного элемента выше его среднего содержания в земной коре, с другой — что данный элемент, путем заводской деятельности, исчезает из обихода природы, распыляясь в новых формах человеческого хозяйства. Это извлечение элемента из природных условий не может не быть отмечено, так как уменьшает общие запасы его в данной области и, кроме того, благодаря тем или иным методам добычи, делает доступным его месторождение для новых химических реакций.

Для вопросов практического характера — данные геохимического обследования районов являются материалом огромного значения. Изучение спутников различных элементов, выяснение происхождения месторождений и всей естественной ассоциации минералов и элементов дает возможность учитывать целый ряд вопросов практической геологии: количественные запасы, качества руды, возможность открытия новых элементов и т. д.

Нет никакого сомнения, что в этом направлении геохимия наметит новые правильные пути для изучения полезных ископаемых (ср. работы *Delkeskamp'a*, *De-Launay*, *Vogt'a* и др.).

## Часть специальная.

### Описание отдельных геохимических областей России.

#### Введение.

Разделение территории России на отдельные области представляет несомненно чисто искусственную задачу, с какой-бы точки зрения мы к ней не подходили. Если раньше топоминералогические описания обычно приурочивались к определенным административным или хозяйственным областям, то это имело свои основания чисто практического характера. Но для научного химико-географического обследования такое деление недопустимо: мы должны в определении областей исходить из геохимических принципов и обособлять те территории, которые характеризуются общностью геологических и геохимических явлений. Само определение области должно намечать собою районы со специфическими особенностями химической конструкции и, потому, оно может идти даже в разрез с орографическими или геоморфологическими данными. Ближе всего оно может быть приближено с понятием о петрографических провинциях, а в данном случае должно отвечать областям распространения естественных ассоциаций элементов.

Общие принципы нашего деления вытекают из основных черт геологии Европейской и Азиатской России. Два основных щита — Феноскандинавский и Ангарский занимают крайний запад и восток России, определяя собою те первичные устойчивые платформы, которые в истории земли наметили собою первые черты современной земной поверхности.

На юг от замкнутого, ныне отделенного с юга и востока сбросами, Феноскандинавского массива простирается великая русская равнина, часть древней кристаллической платформы, много раз, однако, заливавшейся морскими трансгрессиями и много раз колыхавшейся под напором давления с востока. От берегов Финского залива через Москву до Казани и Самары мы намечаем западные границы наиболее важных морей, перемещающиеся в смене геологических эпох все более к востоку: на западе кембросилурийские и девонские отложения, далее каменноугольный Московский бассейн, еще более к востоку отложения пермских морей <sup>1)</sup>.

---

<sup>1)</sup> См. А. Карпинский. Очерки геологического прошлого Европ. России. 1919. СПб. (изд. „Природа“). А. Карпинский. К тектонике Европ. России. Изв. Акад. Наук. 1919. 573.

К югу начинается новая картина—осадки меловой трансгрессии и нивелирующий покров третичных отложений, протягивающийся до Черного и Каспийского морей и до молодых Таврокавказских хребтов. Три крупные и важные геологические явления усложняют картину юга. На юго-западе из под покрова осадочных отложений высовываются древние кристаллические породы, и глубокие геохимические аналогии позволяют сравнить их с породами Фендскандинавского массива,—это Подольско-Азовский горст *Карпинского* и наполовину скрытый горст Воронежа. На юго-востоке под тем-же покровом скрываются следы старых орогенетических движений, и незаметно скрыты герцинские складки и герцинские геохимические процессы под поверхностью не только Донской степи, но и далеко далее на-запад и на восток. А на самой поверхности, широко заходя в Астраханские степи и предгория Кавказа и сливаясь по берегам Каспийского моря со степями Закаспия, перед нами вырисовывается частица той широкой пустынной зоны, которая рядом соляных озер тянется к востоку вплоть до Манчжурии, окаймленная с югозапада у предгорий молодых хребтов выделениями нефти и летучих газов.

Два осколка новейших Алтаид—Крым, созданный мезозойскими движениями, и молодой Кавказский хребет являются отдельными частями великой Альпийской системы. На юг от Кавказа мощные зоны опускания и на границах Армении—горсты малоазиатских хребтов.

Такова картина Европейской России и, сообразно с нею, шаг за шагом мы намечаем и отдельные геохимические области <sup>1)</sup>:

- I. Феноскандинавский щит.
- II. Кембросилур и девон русского северо-запада.
- III. Московский каменноугольный бассейн.
- IV. Пермские море и суша.
- V. Меловые и третичные отложения юга России.
- VI. Южный кристаллический щит.
- VII. Южная геосинклиналь и герцинские складки.
- VIII. Озерно-степной пояс.
- IX. Крым.
- X. Кавказский хребет.
- XI. Закавказье.

Наконец, XII-ю областью мы считаем Тиман и Урал, стоящий на границе между Европой и Азией и представляющий поднятие геосинклинали между Ангарским щитом и русской платформой.

Переходим теперь к Азиатской России; ее основные черты выявлены *Suess'ом*, и, хотя сейчас многое в оценке строения Азии приходится изменить, тем не менее многие основные идеи остались незыблемыми.

Вокруг Ангарского щита и прислоненных к нему палеозойских отложений—

<sup>1)</sup> В свою очередь эти 12 областей я группирую в три больших района: первый, обнимающий пять первых областей, связан с северным щитом и восточными меридиональными морями; второй, занятый южными трансгрессиями и процессами вокруг южного кристаллического щита (обл. VI—X); наконец, третью группу составляют чуждые русской платформе—Закавказье (обл. XI) и Урал (обл. XII).

нагромождение гирлянд старых и новых (постумных) Алтаид. Внутри—излияния Сибирских траппов, снаружи мощные горные системы, пояса дислокаций и вздымания геосинклиналей. На крайнем западе—геосинклиналь и герцинская складка Уральского хребта, далее горный Туркестан, Алтай, Саяны с Прибайкальскими хребтами, южные отроги Яблоновых хребтов, их северные продолжения и неясные гирлянды Хингана и Уссурийского края. На эту схему налагаются новейшие процессы; они орографически сливаются с Яблоновым простиранием в Селенгинской Даурии, но далее на северо-востоке создают вулканические пояса островов и Камчатку. На западе пустынная зона Туркестана и Западной Сибири продолжает к востоку озерный пояс Прикаспия, тогда как Киргизские степи по своим геохимическим чертам сближаются с Западным Алтаем, сливаясь геохимически в общий Прииртышский край.

Сложные гирлянды Алтаид с трудом могут быть уложены в простые геохимические схемы, и при отсутствии достаточных исследований нам приходится довольно условно и гадательно расчленять их на составные части, из Саян выделяя Минусинский край, отделяя Южное Прибайкалье от восточных Саянских хребтов, а Селенгинскую Даурию—от южных Яблоновых.

Сообразно с основными чертами геологии Азиатской России мы можем наметить следующие основные сибирские районы:

- |  |   |
|--|---|
| XIII. Горный Туркестан.                      | XX. Саяны.                              |
| XIV. Восточная часть озерно-степной области. | XXI. Прибайкалье и Селенгинская Даурия. |
| XV. Киргизские степи.                        | XXII. Южные Яблоновые хребты.           |
| XVI. Алтай.                                  | XXIII. Крайние восточные гирлянды.      |
| XVII. Ангарский массив.                      | XXIV. Вулканическая зона Тихого океана. |
| XVIII. Тунгузский бассейн.                   | XXV. Полярный край.                     |
| XIX. Минусинский край.                       |   |

Надо, однако, отметить, что, если для Европейской России, при ее детальной изученности и сравнительной простоте геохимического строения, наши районы могут действительно отвечать определенным геохимическим областям, то для Азиатской России такое деление, при современном состоянии наших знаний, не может быть обосновано достаточными данными.

Как мы себе представляем, однако, геохимическую и минералогическую характеристику каждой из вышеприведенных областей? Определяя область преобладанием определенного геологического, тектонического или химического процесса, мы тем не менее далеки от мысли ограничивать наше химико-географическое описание исключительно данным характерным явлением, откладывая до другого очерка изложение явлений, связанных с другими геологическими процессами данной области. Так, описывая Крым, мы не ограничиваемся характеристикой минералов, элементов и процессов Крымской Яйлы, но захватываем и третичные отложения северной части полуострова и его озерные процессы, хотя последние составляют основную черту других областей (V и VIII). Я подчеркиваю, что моею основною задачею является детальное минералогическое и геохимическое описание отдельных территорий, причем границы этих территорий определяются преобладанием в них

какого-либо геохимического цикла. Я далек от задачи дать геохимическую или минералогическую характеристику геологических отложений России, напр., силура, юры, мела, или же выявить геохимические черты каких-либо определенных геологических явлений, происходивших на ее территории, напр., герцинских складок или мезозойских хребтов. Такая задача, при всей ее заманчивости, мне кажется пока недоступной и может явиться лишь в результате планомерного химико-географического изучения России.

Наконец, нужно сделать еще одно замечание: при описании отдельных районов я не предполагаю давать детальной топографической или геологической характеристики, а только краткое изложение или перечень тех орографических или геологических элементов страны и ее истории, которые вызывали определенные генетические циклы минералообразования. Таким образом соответственные главы описаний носят всецело вспомогательный характер, намечая только вехи для изучения геохимической истории страны.

---

# Область первая.

## Восточная часть феноскандинавского щита.

„... Перед нами древнейшая всемирная пустыня. Солнце льет свой жар сверху в тех местах, где холодные верхи гор не стгущают паров в тучи. Море еще не родилось или т ольк рождалось в наиболее глубоких впадинах юной планеты. Снизу, еще близко к поверхности, недавно заключенный в каменную оболочку отрывок солнечной массы—раскаленная магма земли. Местами она льется по земле могучими потоками, доставляя свежий материал для грядущих процессов разрушения, или выбрасывает из глубины новые и новые массы паров—создателей будущего моря...

*А. Павлов. 1910.*

### Г р а н и ц ы.

Границы нашей первой области определяются легко, так как в общем образованы естественными географическими элементами: государственной границей с Финляндией на западе, Белым морем и Ледовитым океаном на севере и востоке, Финским заливом на юге и озерною полосою на востоке; последняя определяется в грубых чертах финляндскою границею, Ладожским озером, рекою Свирью, Онежским озером и приблизительно прямою линиею от южной оконечности Онежского озера до гор. Онеги.

С административной точки зрения в область входят: большая часть Олонии—Олонецкой губернии, без южных и юго-восточных уездов (Лодейнопольского, части Олонецкого, Вытегорского и Каргопольского), и большая часть Архангельской, именно, вся часть ее на запад от р. Онеги.

По своему географическому и геологическому характеру вся русская область массива слагается из трех частей:

- I. Кольского полуострова (К).
- II. Карелии или Поморья с островами Онежской губы (П).
- III. Олоний в составе частей Олонецкой губернии (О).

В дальнейшем описании буквы в скобках будут приводиться для обозначения вышеперечисленных трех районов.

## Геология.

Феноскандинавский массив, помимо Швеции и Норвегии, занимает— всю современную Финляндию, с юга отделенную широтной дислокацией по берегам Финского залива и Ладожского озера, северные уезды Олонецкой губернии и восточные уезды Архангельской (Александровский, Кемский и части прилегающих). Он резко выделяется среди других районов Европейской России, являясь частью древнего первичного щита, почти совершенно не затронутого морскими трансгрессиями после палеозоя. Было бы ошибкою думать, что щит ограничивается видимою частью кристаллических пород: фактически он, очевидно, подстилает всю Европейскую Россию, обнажаясь на юге в виде южной кристаллической полосы и приближаясь, очевидно, к поверхности земли в целом ряде мест (Воронежский горст, вероятные подземные горсты в Минской губернии, в Тверской губернии и т. д.). Во многих отношениях он сходен с другими щитами, намеченными *Зюссом* в Северном полушарии,—Ангарским, занимающим огромную часть Северо-Восточной Сибири, и Канадским: с юга и востока он окаймляется впадиною, занятою озерным пространством или морями с их заливами, на западе сливается в большую гео-тектоническую единицу со всем Скандинавским полуостровом и, может быть, Гренландией, вместе с которыми нераздельно протекала его геологическая история. Поэтому нам делается понятным поразительное сходство не только внешних геоморфологических или тектонических особенностей северных стран— Швеции, Норвегии, Финляндии или Гренландии и наших—Олонии, Помории и Лапландии, но и близость самих деталей их конструкции, петрографического состава пород, общности геохимических процессов и поразительного сходства некоторых минеральных ассоциаций.

Повидимому, будет правильным признать, что Феноскандинавский массив является одним из наиболее древних участков суши, возникшей при охлаждении огненно-жидкого ядра земли. Именно на нем, как и на других щитах, мы можем проследить те сложные явления возникновения если не первичной земной коры, то все же тех образований, которые протекали в условиях еще высоких температур насыщенной парами воды и летучих газов атмосферы, сначала при отсутствии жидких водных масс, как факторов геологических или минералообразовательных процессов. Именно в этих условиях катархейского пороодообразования, столь блестяще разрешенного финляндскими и отчасти шведскими учеными, мы находим, в согласии с мнением *А. П. Павлова*, следы своеобразных процессов внедрения расплавленных масс в продукты разрушения первичной пустыни или первых потоков дождей (делювиальных скелпений). Тесно сплелись эти осадки с проникшими в них в глубине потоками постботтнийского гранита, образуя то, что мы сейчас называем древними гранитогнейсами.

Это древнейшее образование щита, вероятно, не раз до конца палеозоя опускалось под волны северного моря и, вероятно, не только девон (на таблице I № 13), остатки которого мы встречаем по краям Кольского массива, перекрывал поверхность массива, будучи снесен позднейшими процессами.

Точная хронология осадков этого щита ускользает пока от нас: одни, вместе с финляндскою школою, видят во всех образованиях как кварцитов и известняков, так и влиявших на них зеленокаменных пород, явления до-кем-

брийского времени, другие—придерживаются мнения старой русской школы и относят песчаники к девону, известняки—к верхнему девону или нижнему карбону, а отдельные интрузии зеленокаменных пород протягивают от времен архейских до каменноугольных отложений. Лично я в дальнейшем изложении буду следовать финляндским взглядам, но должен отметить, что при отсутствии в России систематических исследований наших архейских областей мои сопоставления местами приобретают весьма гадательный и смелый характер.

В разное время дисъюнктивные дислокации, сбросы и разломы ограничивали наружные контуры щита—горста; современные направления береговой линии Белого моря и Ледовитого океана в значительной степени следуют этим дислокациям, время которых остается для нас загадочным, частью связываясь с движениями каледонской системы, уже налегшими на до-кембрийские складки и сбросы, в меньшей степени совпадая по времени с герцинскими движениями и, наконец, по мнению *Седергольма*, широко развиваясь в третичную и отчасти послетретичную эпохи.

Остается до настоящего времени загадочным и характер южных Границ Феноскандинавского щита; в то время, как одни видят в границах озерной области типичный грабен, другие, подобно *Э. Зюссу*, рассматривают эту область лишь, как линию размыва, придавая обрывистому южному берегу Финского залива характер глинта, т. е. не сбросовое, а чисто эрозионное или абразионное происхождение. С последним толкованием в значительной степени сближаются и данные геохимического характера, не устанавливающие здесь никаких следов элементов жильно-глубинного типа.

Совершенно обособленное положение в этой картине занимает огромный щелочной массив центральной части Кольского полуострова и отчасти его аналог на северном берегу Кандалакшского залива у Умбы. По своему геохимическому и петрографическому характеру он сближается с аналогичными изверженными массивами Христиании, Гренландии и Южной Канады, а с некоторыми из них, напр., с массивом Игалико (мест. *Narsarsuk*) в Гренландии, он настолько сходен, что сравнительное их изучение, вероятно, даст ключ к целому ряду интереснейших разгадок. Все эти щелочные массивы по большей части окаймляют большой арктический щит, а по возрасту относятся к до-кембрийскому (Канада), или девонскому (Христиания), или последевонскому времени (иолитовый массив Финляндии). Во всяком случае выход этих магм вряд ли наблюдался в этом районе после палеозоя, и было-бы, может быть, правильным связывать образование Умптеко-Хибинского массива со временем не позднее начала карбона.

Таким образом, мы можем следующим образом определить основные черты геологии этой области, имеющие значение для ее геохимии:

1. Область представляет из себя остаток древнего кристаллического щита, продолжающегося на юг под русскую осадочную платформу, вплоть до Черного моря, но в своих современных контурах горста, ограниченного сбросовыми линиями.

2. Осадочные образования палеозоя по большей части смыты и остались на Кольском полуострове лишь в ничтожных обрывках девона (?), не имеющих сейчас никакого геохимического значения, или в виде зажатых на юге и метаморфизованных известняков и песчаников, (если предположения русской

школы правильны), или, наконец, в контактно-измененных осадках девона, окружающих центральный Кольский массив.

3. Весь щит прорезан и окаймлен дисъюнктивными дислокациями различных возрастов, особенно сильными на юго-востоке и определяющими комплекс особых геохимических процессов.

4. Материковая, а потом ледниковая эрозия снесла все верхние части массива и тех отложений, которые его раньше покрывали, обнажив более глубокие зоны геохимических процессов (глубинные мигматические породы, лакколиты, батолиты и проч. субкрупные образования *Седергольма*).

5. Совершенно обособленную геохимическую провинцию составляет Умпитекский щелочной массив и, может быть, связанные с ним Умбские щелочные жилы, принадлежащие бесспорно к наиболее молодым интрузиям, но все же не допускающие точного определения возраста.

К этим основным положениям мы должны прибавить, что случайное и несистематическое изучение геологических образований Карелии, Олонии и Кольского полуострова не позволяет расшифровать более детально весь комплекс пород и минералов до-кембрийского щита. И тем более это обидно, когда соседняя Финляндия с исключительным изяществом уже разгадала свои петрографические иероглифы и сумела не только прочесть историю своих пород, но и установить их хронологию, создав единую стройную картину геохимии прошлого.

### Орография и месторождения.

В связи с общей геологической историей находится и орография местности, сглаженной постпалеозойской эрозией и ледниковым покровом и в виде мягких округлых линий вырисовывающей нам остатки древних тектонических процессов. Низким, поросшим лесом и покрытым густым, но не глубоким почвенно-торфяным покровом рисуется нам ландшафт Карелии и значительной части Олонии, и под этим сплошным покровом трудно обнаружить коренные месторождения и изучить детали геохимии. Лишь по извилистой береговой линии Белого моря, на берегах озер, по рекам и, особенно, по гарям на каменистых или скалистых склонах сельг или варах можно наблюдать сглаженные выходы коренных пород. В Олонии для сбора материала и изучения геохимии служат отчасти, кроме того, железнодорожные выемки, а также хаотические и заброшенные разработки полезных ископаемых (медные рудники с их отвалами, месторождения шунгита, ломки барита на Оленьем острове, многочисленные мраморные каменоломни Тивдийского района и т. д.).

В Карелии главные обнажения, доступные для научных исследований, сосредоточены по берегам многочисленных озер и по узкой полосе Беломорского побережья, где на сглаженных склонах и островах вырисовывается с тем же изяществом и ясностью как на берегах Балтики у Стокгольма, вся картина сложной глубинной интрузии послеботтнийского и, может быть, верхнеотгнийского пегматитового гранита.

Гораздо больше естественных обнажений дает нам Кольский полуостров, орографическое строение которого резко отличается от типично финского ландшафта Карелии. Высоты свыше 1200 метров сосредоточены в центральной части

полуострова, по берегам они достигают 500—700 метров, намечая собою горный ландшафт с характером норвежских фиордов, совершенно не передаваемый нашими картами. От уровня океана на севере до высоты 300 метров на юге, все покрыто лесной, тайговой, растительностью, заболочено, покрыто торфяниками и мхами; здесь изучение возможно лишь по берегам быстрых стремнин, в очень редких выемках железной дороги, и лишь вдоль побережья у береговой зоны открывается широкая возможность наблюдать старый щит и прорезающие его рудные и магматические жилы.

За то, выше линии лесной растительности, в высокогорных районах центральных массивов или у самых берегов океана—на севере мы встречаемся с обстановкою полярной тундры, частью совершенно задернованной, частью каменистой, где сплошное обнажение или каменные россыпи сменяют болотистые и заиленные пространства. В условиях этих образований геохимические наблюдения облегчаются, и местами, как, напр., в центральном Хибинском массиве, выше 300—500 метров наблюдается сплошное обнажение частью из неприступных обрывов и скал, частью из крутых осыпей и грандиозных каменных россыпей элювиального типа.

### А. Архейский щит.

#### Породы.

Совершенно исключительные затруднения встречаем мы при описании петрографии русской части Феноскандинавского щита. При всем своем разнообразии, с одной стороны, и большой аналогии с финляндскою частью, с другой, мы стоим здесь перед таким отрывочным и ничтожным описательным материалом, что для общей характеристики области, как определенной петрографической провинции <sup>1)</sup>, у нас совершенно нет данных. Достаточно указать, что за исключением некоторых основных пород, особенно диабазов и доломитов Олонии, у нас нет никаких химических анализов, и большая часть пород Архангельской губернии может быть охарактеризована исключительно качественно—на основании только микроскопических исследований.

При таком состоянии наших знаний мы почти не можем дать сколько-нибудь геохимически продуманной характеристики пород области, тем не менее очень цельной в своих геохимических основах.

Ровная краска нашей геологической карты (60 верст в дюйме) не передает разнообразия пород, да и никакая карта большого масштаба не может передать той пестрой картины, которую представляют перемежающиеся образования скандинавского щита.

Первую группу пород составляют *кристаллические сланцы*: слюдяные, хлоритовые, тальковые, гранатовые, амфиболовые, андалузитовые, хиастилитовые, кордиеритовые и силлиманитовые; одни переходят в горшечный камень, другие рядом переходов связаны с интрузиями зеленокаменных пород, третьи через филлиты могут переходить в глинистоуглистые толщи (Олонии), и для

<sup>1)</sup> Подчеркиваю, что геохимическое описание щелочных массивов следует отдельно стр. 95.

них весьма вероятен более молодой возраст. Наконец, значительная часть незаметно переходит в гнейсы. Среди этих сланцеватых пород мы, повидимому, можем различить несколько типов пород: первый—это глубинные сланцы, близкие к гнейсам, измененные инъекцией боттнийских гранитов; особую группу представляют гранатовые и андалузито-ставролитовые породы, образование коих можно связать с интрузией того-же верхнеботтнийского гранита; третью группу представляют метаморфические сланцы средней зоны—тальково-хлоритовые, серицитовые ятульского возраста. Должен, однако, отметить, что такая классификация носит лишь характер рабочей гипотезы.

Сами гнейсы не менее разнообразны: слюдяные, амфиболовые и, прежде всего, гранатовые, очень богато развитые около Мурманска и по Кандалакшскому заливу. Трудно отличимы от типичных гнейсов и граниты, обычно имеющие гнейсовую структуру, то серые (постботтнийские), то более молодые (иотнийские?)—красные и белые. Первые, с тесно связанными с ними аплитами, пегматитами и кварцевыми жилами, составляют ту главную массу, которая инъецировала сложную свиту катархейских и архейских осадков, положив начало мигматическим породам. Однако, главная минерализация и богатейшие образования пегматитов с их богатствами слюдой и пневматолитическим воздействием на соседние породы несомненно связаны с более молодыми, может быть, верхнеиотнийскими гранитами (10) <sup>1</sup>).

Вторую группу пород составляют более основные—зеленокаменные породы различных типов и разных возрастов, сильно динамометаморфизованных и, потому, очень плохо генетически расшифрованных, и в значительной части для архейских свит объединенных под названием metabазитов.

В самой Карельской зоне гнейсов мы предполагаем существование ряда габбро-норитов с их лейкократовыми разностями (лабрадоритами или анортозитами), которые, однако, в последующих процессах архейского метаморфоза частью превращены в своеобразные друзиты, амфиболиты, цоизито-скаполитовые породы и т. д. Тесно связаны с ними тоже архейские диабазы, оливиновые диабазы или глубинные перидотиты—дуниты <sup>2</sup>).

Вторую, более молодую серию основных пород, не затронутых архейским динамометаморфозом, составляют авгитовые порфириты Кольского полуострова, диабазы Мурманского побережья (11), частью превращенные в эпидиориты, и, наконец, по русской школе, еще более молодые диориты и диабазы Олонии (9), лучше других пород изученные русскими и финляндскими геологами.

Наконец, третью группу составляют типично осадочные и отчасти гидрохимические образования—песчаники, глинистые сланцы, кварциты и точильные камни Южной Олонии различных возрастов, начиная от сливных кварцитов очень древнего возраста (калевские?) и кончая мало измененными песчаниками иотнийских отложений. Петрографически сходные с ними породы, повидимому, девопского возраста, в виде песчаников и мергелистых песчаников, окаймляют в

<sup>1</sup>) Цифры, стоящие в скобках после названий пород, относятся к третьему столбцу геохимической таблицы на особом листе.

<sup>2</sup>) Таковы дуниты по р. Паз, в которых Конради занодозрил материнскую породу алмаза и возраст которых проблематичен (2 ?)

ряде мест Кольский полуостров, сохранившись в виде опустившихся полос вдоль дислокаций, обрамляющих Кольский горст.

Наконец, совершенно особое значение имеют в этой области известковые породы. Весьма любопытно, что в архейской толще севера они нам не известны, кроме нескольких малоисследованных пунктов в среднем течении р. Варзуги (Кольский полуостров) или отдельных валунов кальцитовых жил, находимых изредка на берегах оз. Имандры.

Несколько более развиты карбонатные породы в Олонии, где, по мнению некоторых русских геологов, их можно отнести к верхнему девону или к нижнему карбону, тогда как финляндская школа их определенно связывает с ятульскими отложениями (6). Во всяком случае их крайняя метаморфизация, обогащение доломитом, кварцем, а иногда и силикатами (флогопитом, полевыми шпатами), заставляет в них видеть осадки не моложе тех зеленокаменных интрузий, которые сыграли столь значительную роль в геохимической истории Олонии, и тех тектонических процессов, кои метаморфозировали породы Феноскандии в доиотнийское время. Часть этих пород, благодаря своеобразной комбинации обломков силиката, кварца и доломита, была выделена в самостоятельный вид породы и названа Шмидтом кривозеритом.

Мы не имеем точной картины среднего состава архейских и катархейских толщ Феноскандинавского массива, но уже те данные, которые дают подсчеты *Ozann'a* вообще для древних щитов, показывают, что до-палеозойские остовы древних горстов в общем, по сравнению со средним составом земной коры, характеризуются недостатком железа, кальция и магния. Все остальные элементы присутствуют приблизительно в количествах, равных среднему составу. Отсюда можно сделать вывод, что для того, чтобы можно было отложить большие количества  $\text{CaCO}_3$  в силурийских морях, надо было произвести огромный механический размыв и извлечение солей Са и Mg. Эта механическая стадия разрушения и выщелачивания и протекает в период отложения мощной свиты кембрийских песков и песчаников, во время образования которых силурийское море обогатилось К, Са, Mg и Fe. Отсюда нам понятна возможность скопления калиевого главконита и затем образования известковых пород в нижнем силуре (см. далее при описании второй области).

### Минералы.

С минералогической точки зрения русская часть <sup>1)</sup> Феноскандинавского массива изучена очень плохо. В то время, как для соседней Финляндии и Швеции имеется ряд весьма обстоятельных сводок (*Wiik, Nordenskiöld, Flink, Сушинский* и др.), минералогия наших областей изучена весьма слабо. Лучше других нам известна юго-восточная часть—Повенецкий уезд, благодаря обстоятельным трудам *А. Иностранцева*, да и вся Олонецкая губерния, в ряде работ освещенная *А. Борисовым, В. М. Тимофеевым* и др. Все побережье Белого моря от Онежской бухты до Кандалакши с прилегающими островами до сих пор минералогически почти совершенно не описано, хотя за последние годы весьма

<sup>1)</sup> Я, конечно, исключая из перечня Финляндию, но при описании самих процессов принужден неоднократно основываться именно на аналогии с западной частью Феноскандии.

усердно посещалось рядом геологов: *И. П. Гинзбургом, Д. С. Велянкиным, Б. М. Куплетским, В. И. Соколовым, Д. В. Соколовым, А. Э. Кунсффером, Р. Л. Самойловичем* и некоторыми другими. Весь Кольский полуостров для минералогов еще terra incognita, если из него исключить часть Терского берега и Кандалакскую губу и, конечно, центральные Умтекский и Луявруртский массивы—Хибинские горы, которым посвящается ниже специальная глава. Между тем минералогия архейского щита очень сложна и, вероятно, гораздо богаче, чем это можно нарисовать на основании современных данных. Особенно поражает отсутствие химических исследований минералов этого района, и только руды в валовых анализах или полезные ископаемые Олонии сколько-нибудь детально изучены в этом направлении.

Вобщем нам известны в русской части Феноскандинавского массива ниже следующие главнейшие минералы:

Для самородных элементов мы имеем здесь совершенно исключительную область с превосходно выраженными металлическою медью, золотом и серебром и, может быть, даже алмазом.

Если медь в самородном виде не играет большой роли, встречаясь лишь в связи с диоритами Путнозера, то золото в прекрасных, крупных, лапчатых самородках известно в знаменитом Воицком руднике, тогда как серебро большими кусками в несколько фунтов весом составило славу Медвежьего острова в Кандалакшском заливе (см. ниже Au и Ag). В виде росыпей, образующихся при разрушении кварцевых жил, золото известно в ряде мест нашей области.

Загадочным остается для нас алмаз из гранатовых песков верховий реки Паз, и недоказанным остается предположение *Конради* о связи этого минерала с перидотитами этого района, столь сходными с кимберлитом Южной Африки. Не изучены и редкие скопления графита в кристаллическо-гнейсовой серии Поморья.

Весьма разнообразны и богато представлены, особенно в Олонии, сернистые соединения: пирит, пирротин иногда большими скоплениями в фальбандах и кварцевых жилах, весьма обычный халькопирит, борнит, ковелин, галенит, сфалерит и редкие арсенипирит и халькозин. В старой литературе встречаются еще для Воицкого рудника указания на блеклую и кирпичную медную руду. Большинство из них (кроме сфалерита в Медвежьих островах) неизвестно нам в кристаллах. Отмечается и молибденит в листочках в кварцевой жиле с медным колчеданом у Кемлуды (в Карелии).

Очень бедны галогенные соединения; флюорит редок, и единственное более интересное его месторождение—на горе Корабль, в 20 верстах на запад от Кузомень, вместе с аметистом в жилах среди девонского (?) кварцита (13), в некоторых рудных жилах Кандалакшского залива и Карельского берега, а также на Турьем носу.

Весьма разнообразны окислы, хотя особо минералогического изящества или красоты форм они не достигают: это или микроскопические обычные минералы пород (циркон, ильменит, рутил, очень редкий корунд) или же довольно редкие первичные выделения магм (магнетит, титаномагнетит) и жильных процессов—гематит, гетит (онегит), кварц, аметист (г. Корабль и Волк-остров). Очень редок рутил в пегматитовых жилах (Карелия). Зато богаты различные окисные руды—лимониты с содержанием марганца до 16% самых разнообразных форм и

величин. Известны, под именем онегита, красивые иглы гетита в аметистах Волкострова. Черные аспидные сланцы местами носят яшмообразный характер лидита, а зальбанды рудных жил и их тело в некоторых местах, напр., на Воицком руднике, приобретают характер яшмы. К своеобразным кислородным соединениям севера мы должны отнести и лед, который в некоторых местах высоких Хибинских тундр и, вероятно, других массивов Кольского полуострова никогда не стаивает постепенно превращая зимний снег в постоянный фирновый лед.

Из углекислых наше внимание привлекают сплошные доломиты (мраморы), с редкими кристалликами того-же минерала, кальциты, разнообразные выцветы углекислых медных солей и, особенно, редкий минерал стронцианокальцит (вероятно, скорее—смесь стронцианита и кальцита) прожилками в шунгите.

С геохимической точки зрения к этой-же группе надо отнести столь излюбленный в этом районе жемчуг—в пресноводных раковинах как Олонии, так и Карелии, а на севере—в долинах Туломы и Колы.

Наконец, совершенно загадочное образование представляют Беломорские рогульки—веретенообразные кристаллы, повидимому, представляющие псевдоморфозу кальцита по гайлюсситу (согласно архивным данным Минералогического Общества—в океане против западной части Мурманского берега, а не в Белом море, как это до сих пор считалось).

Сравнительно бедны сульфаты, очень редок гипс во вторичных корочках на сернистых соединениях; мелангерит известен в больших количествах лишь в составе Марциальных минеральных вод (О), и только барит образует большие скопления прекрасными щетками на Оленьем острове Онежского озера, в меньших количествах отмечаясь в рудных жилах западного Мурманского берега и лишь изредка попадаясь в серебросвинцовых жилах знаменитого острова Медвежьего.

Фосфорнокислые соли представлены только апатитом, как микроскопической составной частью пород, или изредка красивым синезеленым минералом гранитных пегматитов. Из солей других кислородных кислот ничтожное значение имеет крокоит (?), найденный Федоровым в одной жилке Кандалакшского залива.

Наибольший интерес во всем районе, как можно было ожидать по его геологической истории, принадлежит силикатам, но и в них мы по большей части встречаемся с образованиями чисто микроскопического характера (оливин, серпентин, хлориты, тальк, авгит, пироксены, ромб. и монокл., роговые обманки, антофиллит, паргасит, силлиманит, цоизит и др.). Лучше выражены: тальк, серпентин и плотный стеатит, актинолит и более редкий тремолит (в мраморах).

В качестве составных частей горных пород, но все же в скоплениях более значительных, мы должны отметить актинолит, альмандин, образующий целые россыпи, гранат типа андрадита-гроссуляра, эпидот, скаполит, тальк, лабрадор или близкие к нему плагиоклазы и красивый синий кианит (в Кемском и Сорочком районе). Реже—ставролит и андалузит в хороших кристаллах. Очень любопытен кордиерит, который по данным *Rabot-Velain*, образует зерна до 1 сант. в гнейсе у Зашеек (Кольский полуостров).

Наибольшего интереса, конечно, заслуживают силикаты в гидротермальных или пегматитовых жилах, но надо сказать, что и в них они не достигают

большого изящества и широты распространения: в доломитах Олонии мы знаем палыгорскит, в прослойках шунгита новый, ближе не изученный минерал из группы кальциевых силикатов, типичного асбестовидного строения; в гранитных пегматитах мы встречаем мусковит, биотит, микроклин, кислые плагиоклазы, красный гранат и изредка кианит или черный турмалин (последний также в кварцевых жилах). Наконец, самыми любопытными минералами являются аксинит (Олония), встречающийся наравне с лучистым эпидотом вместе с медными рудами Олонии, и очень редкий апофиллит—спутник аметиста и флюорита на г. Корабль.

Остается еще упомянуть о знаменитом шунгите, как крайнем члене группы углеродистых соединений, и черных сланцах или черной земле, характеризующих район Петрозаводского уезда и с генетической, и химической точек зрения, еще нуждающихся в исследовании.

### Э л е м е н т ы.

Если исключить щелочные массивы Кольского полуострова, то мы с геохимической точки зрения получим очень типичную ассоциацию, в которую входит 30 элементов, из коих два гадательны (Sb и U). Вся ассоциация элементов делается особенно типичною, если мы из нее выделим те элементы, кои бесспорно связаны с позднейшими постархейскими процессами (девона? карбона?),

именно Zn, Pb, Ba. Если эти элементы особенно типичны для палеозойских, в частности герцинских химических процессов, то остальные и в особенности Au, Cu, Fe, Co, Ni явно более характерны для древних щитов и докембрийских платформ.

В диаграмму на стр. 81 не включен хром, найденный, если только верно его определение, в фукситовой слюдке среди известняков и доломитов Оленьего острова (в Онежском озере) и как будто-бы в крокоите рудной жилы Кандалакшского залива, и только условно включена сурьма, обнаруженная в свинцовом блеске Койкарского медного месторождения (в южной части Пове-нецкого уезда) и в свинцовом блеске Базарной губы Мурманского побережья, в котором, по данным *Букобецкого*, содержатся Sb—0,69.

Геохимически не видно большого различия между отдельными областями щита: но, вообще, его южная часть более разнообразна и более богата геохимическими процессами.

Перехожу къ описанию отдельных химических элементов области.

**Водород.** Никаких особенностей в его геохимической истории не наблюдается.

**Бор.** Обилие кислых пород должно было-бы вызвать большее распространение бора, чем это наблюдается. Повидимому, верхние части гранитных пегматитовых жил, богатые летучими соединениями, снесены ледниковой эрозией, тогда как в нижних частях черный турмалин хотя и встречается, но сравнительно редко (Карелия). Гораздо любопытнее нахождение аксинита, соединения бора, вместе с медными и цинковыми рудами в Олонии (у Кончозера), что генетически связывает этот тип медных жил с меднооловянными или меднотурмалиновыми месторождениями Боливии.

**Углерод**—в своих кислородных и водородных соединениях—преимуще-

ственно связан с южной частью щита, где в области Олонии мы имеем довольно крупное распространение карбонатных пород. Здесь-же мы находим в глинистых сланцах своеобразное месторождение почти чистого углерода—шунгита и ряд скоплений графитового вещества в сланцах и, так называемой, Олонецкой черной земле. Много беднее углеродом и его соединениями Карелия и Мурман:—загадочный алмаз Лапландии, очень редкие пласты карбонатных пород, еще более редкие прослойки неизученного графита в метаморфической серии Поморья.

**К и с л о р о д**—для всего района интересен в том отношении, что зона поверхностного окисления уничтожена ледниковой эрозией и абразией, а послеледниковые и современные процессы разрушения в общем опережают углубление кислородной поверхности, почти отвечающей самой земной поверхности. Благодаря этому здесь в жильных и рудных месторождениях отсутствует окисленная зона железной шапки, и лишь ничтожные выцветы углекислых солей обычно покрывают поверхность сернистых руд.

**Ф т о р**. В гранито-гнейсовой толще фтора очень мало; это повторяется и в других частях Феноскандинавского массива и, по всей вероятности, стоит в связи с огромною ледниковой эрозией, совершенно снесшей верхние части пневматолитических и гидатогенных процессов. Только этим можно объяснить отсутствие фтора даже в калиевых слюдах, почти полное отсутствие плавикового шпата в пегматитах и в рудных жилах. Только месторождение горы Корабль и рудные жилы северного побережья Кандалакшского залива обнаруживают содержание плавикового шпата, может быть объясняемое близостью щелочных массивов и щелочных жил.

**Н а т р и й**—играет значительную роль в архейском и катархейском щите, но особенно типичным является он для щелочных массивов и жил Кольского полуострова.

**М а г н и й**—несомненно один из важных элементов района, перегруппировка соединений которого составляет всю сложность изменения основных пород при процессах метаморфизма. Особенно любопытными являются: фиксация магния углекислыми породами Олонии и ряд процессов хлоритизации и амфиболитизации (уралитизации) диорито-диабазовых выходов. Этот любопытный процесс совершенно выяснен анализами *Шмидта*, отметившего частичный вынос магнезии при метаморфизме—эпидотизации основных кристаллических пород.

**А л ю м и н и й**—играет обычную роль в алюмосиликатах щита, нигде не накапливаясь в особенно больших количествах; лишь в многочисленных иголочках силлиманита или пластинках дистена и изредка зернышках корунда обнаруживается высокое содержание глинозема в тех первичных породах, мигматизация и метаморфизация которых привели к образованию архейской толщи.

**К р е м н и й**—играет огромную роль в процессах геохимической перегруппировки элементов архейского щита.

**Х л о р**—всобщем в феноскандинавском щите играет ничтожную роль, и, если где-либо его приходится отмечать, то только при процессах скаполитизации, когда анортзитовые или лабрадоритовые породы переходят в цонзитоскаполитовые агрегаты. При этом в них частью концентрируются хлор (по анализу *Баклунда* 1%) и сера. Совершенно ничтожен хлор в Марциальных

железных водах (у Кончезера), где, впрочем, как и в других источниках южной части Олонии, мы угадываем отдаленную связь с девоном, столь богатым NaCl (см. описание второй области).

Я не говорю об алатите, который нигде не играет особой роли, но который, очевидно, является материнским веществом для части галондов области.

Тем более поразительным является богатство Cl щелочных массивов Хибинских гор. Если последний действительно ворвался и частью растворил девонские осадки, как это подозревает *Ramsay*, то нет-ли в этом об'яснения обилия в нем хлора?

**К а л и й**—никаких геохимических особенностей не выявляет.

**К а л ь ц и й**—никаких особенностей геохимического характера не обнаруживает, интересно лишь обогащение им при метаморфизации основных пород, в связи с накоплением эпидота.

**Т и т а н.** Отсутствие точных анализов не позволяет нарисовать полной картины распространения титана. Любопытно отметить; что, хотя нигде титан не образует очень крупных, практически годных скоплений, тем не менее его распространение в феноскандинавском массиве довольно характерно: в основной массе гранито-гнейсовой толщи мы не находим его соединений, несколько больше его в интрузиях кристаллических пород—гранитов, где титан входит в состав магнетитов и в небольших количествах в слюды (0,2% TiO<sub>2</sub>). В основных породах мы его встречаем в титан-содержащих пироксенах друзитов (Карелия), а также в диабазх, где, по данным *Wahl'я*, для Южной Олонии количество его окиси доходит до 2,5%.

### Геохимическая диаграмма I

Олонии, Нольского полуострова и Поморья, без щелочных массивов.

Ряды	I	II	III	IV	V	VI	VII	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Ряды.
1	Н	—	—	—	—	—	—	.	.	.	В	С	.	О	.	Ф	2
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	.	K	Ca	.	Ti	.	.	Mn	Fe Co, Ni	4
5	Cu	Zn	.	.	As	.	.	.	.	Sr	.	.	.	Mo	?	.	6
7	Ag	.	.	.	(Sb)	.	.	.	.	Ba	.	.	.	.	?	.	8
9	Au	.	.	Pb	.	.	?	.	?	.	.	.	.	(U)	—	—	10

Пользование настоящею диаграммою облегчается при сравнении ее с теоретическою таблицею *Менделеева*, помещенною на особом листе; вопросительный знак—обозначает неизвестность вообще в природе элемента, занимающего данную клетку; точка говорит об отсутствии данного элемента в изучаемой геохимической области России; тире обозначает пустую клетку. Жирным шрифтом обозначаются элементы, играющие роль в области, петитом—элементы меньшего значения.

Ферман.

Однако, главное и совершенно исключительное распространение получает титан в щелочном массиве Хибинских гор (для Умбских щелочных пород у нас нет сведений), см. ниже.

Для Олонецкого района мы имеем целый ряд магнетитов, переходящих в титаномагнетиты, но настоящие скопления  $Ti$  в железных рудах в количестве от 3 до 8% мы имеем лишь за пределами русской территории—в 15 верстах от Сердоболя в Велимяках. Впрочем и в Пудожгорском магнетите анализ обнаруживает от 8,7 до 10,8%  $TiO_2$ .

**Марганец.** Первично марганец входит в состав разнообразных силикатов архейской толщи, не обнаруживая при этом никаких особенностей. Любопытно нахождение марганцевых соединений в баритовом месторождении острова Оленьего.

Вторичное накопление  $Mn$  идет в колоссальных количествах вместе с железом в болотных и озерных рудах, в которых его содержание колеблется от 0,1 до 16%, причем в озерных—оно больше, а в болотных обычно не превосходит 6%.

**Железо.** К сожалению, история железа недостаточно изучена в условиях Феноскандинавского щита, между тем концентрация этого элемента наблюдается не только в процессах современного поверхностного режима, но и в магматических и гидротермальных явлениях прошлого.

С одной стороны, мы имеем дело с типичным накоплением магнетита в связи с контактами диоритов, с другой—нам известны в той-же Олонии настоящие кварцевые жилы с гематитом. Наконец, часть гематитовых месторождений Олонии, напр., богатое Туломозерское в Олонецком уезде, связана с метаморфически измененными слоями осадочной свиты, аналогично магнетитовому кварциту Кольского полуострова.

Гораздо шире идут процессы концентрации железа в современных озерных и болотных процессах, о чем см. ниже.

**Никкель и кобальт**—являются очень редкими элементами архейского массива, но все же они очень характерны для фальбанд (от 0 до 0,15%) и для ряда сернистых жил глубинного типа. Хотя мы не знаем чисто никкелевых или кобальтовых соединений, но, по всей вероятности, они входят в состав особенно пирротина и некоторых других сернистых соединений и обнаруживаются по выцветам солей этих двух металлов. Сотые доли процента  $NiO$  обнаружены *Wahl* в диабазах Южной Олонии (на север от Свири).

**Медь.** Медные соединения играют сравнительно ничтожную роль в самом архейском щите, где только в фальбандах, открытых *Гинзбургом*, отмечается медь от следов до 3,8%; в Карелии и на Кольском полуострове медные соединения встречаются лишь изредка, спорадически, в ничтожных количествах. Совершенно иначе складываются многочисленные, но очень плохо изученные месторождения Олонии, по мнению большинства исследователей определенно приуроченные к более молодым (иотнийским?) интрузиям диабазо-диоритовой магмы.

**Цинк.** Распространение цинка довольно широко, но нигде очень крупных скоплений он не образует. Любопытно отметить почти полное отсутствие цинка, как и свинца, в архейской и катархейской свите (напр., в фальбандах) и при-

уроченность к более молодым породам основного типа, диоритам или молодым диабазам. В Олонии цинк сопровождает медь в известковых жилах с аксинитом и роговою обманкою в Петрозаводском уезде, а также и в Олонецком. Практически количество его руд в общем не велико.

**Мышьяк.** Точных сведений о нахождении соединений мышьяка у нас нет. Целый ряд указаний на арсенопирит в фальбандах и жилках Карелии, повидимому, основан только на определении на глаз и нуждается в проверке.

**Стронций** — обнаружен в ряде соединений Олонии, причем исключительно в связи с углистыми доломитами и черными углистыми породами шунгитового месторождения. *П. Борисов* связывает происхождение стронция с интрузией диоритовых магм.

**Молибден** — с несомненностью в Олонии не констатирован, хотя отмечается в кварцевых жилах среди диоритов района на запад от р. Выг; и в других районах он отмечался неоднократно, но, несмотря на многочисленность этих указаний, у нас нет ни одного, сколько-нибудь проверенного данного. *Гинзбург* отмечает молибденит в кварцевой жиле у Кемлуды в Помории.

**Серебро.** Серебро знаменито на Медвежьем острове, где его скопления в самородном виде достигали огромных размеров. Отмечается серебро вместе с золотом и в фальбандах Керети, где, по *И. Гинзбургу*, содержится 9—10 зол. на 100 пудов породы. Наконец, постоянно серебро сопровождает небольшие жилы и включения галенита Олонии и обычно в медных колчеданистых рудах той же области. Неизменный спутник золота.

**Барий** — встречается в жилах как на Мурманском побережье, где барит частично заполняет рудные жилы в гранито-гнейсах, так особенно в Олонии, где генетически мощные скопления бариевых соединений *П. Борисовым* связываются с интрузией диоритовой магмы. По возрасту соединения бария приходится приурочивать к более молодым геохимическим процессам (потнийским, или скорее всего, эопалеозойским). Любопытно ничтожное содержание (0,04%) ВаО в диабазе Южной Олонии (*Wahl, 1908 г.*). О барии в озерных осадках см. ниже.

**Золото.** Золото распространено в целом ряде областей как самого архейского щита, так и более поздних интрузий, причем и в том, и в другом случае является связанным не с кислыми, а скорее средней кислотности — зеленокаменными породами. Хотя оно нигде в последнее время не разрабатывалось, тем не менее не исключена возможность здесь и практического использования некоторых из них.

В самой архейской свите золото, вместе с серебром, входит в состав фальбанд побережья Белого моря, где его содержание очень колеблется: от 0,2 до 25 зол. на 100 пудов породы, достигая в среднем 0,95% (район Керети).

В жильных процессах более позднего времени, связанных на юге с диоритами, золото тесно связано с медными рудами и в них или содержится мелко рассеянным в кварце, или же образует крупные скопления до 3<sup>1/2</sup> ф. весом (Воицкий рудник), со средним содержанием 5 зол. на 100 пудов жильной породы.

Наконец, известно накопление золота в россыпях, все же, подобно некоторым финляндским, довольно бедное. Во всяком случае местами ледниковые процессы накопили этот тяжелый металл, что мы видим не только по самому

Феноскандинавскому массиву, но и далеко на юге за его пределами, где золото встречается в ледниковых наносах (напр., Московской губ., см. ниже).

С в и н е ц — приурочен не к архейскому щиту, а к позднейшим интрузиям не захваченным региональным метаморфизмом. Свинцовые и цинковые руды, генетически связанные в Олонии с более молодыми интрузиями диоритов, на Мурманском побережье, хотя и образуют пластовые жилы, но, повидимому, значительно более молодые (эопалеозоя?).

У р а н. До сих пор остается загадочным указание *Rose* на нахождение урановой слюдки на Волк-острове. Нет ли ошибки в определении этого соединения?

### Общая геохимическая характеристика.

Из вышеизложенного и из анализа геохимической диаграммы, данной на стр. 81, можно сделать ряд весьма любопытных выводов.

Прежде всего бросается в глаза преобладание элементов обычного поля, совершенно исключительно-слабо представлено кислое поле, довольно полно жильное поле. В обычном поле мы видим сверх того преобладание элементов средней кислотности, причем особенно характерным для всего района является весьма слабое развитие элементов ультраосновных глубинных пород.

Весьма своеобразным является отсутствие ряда обычных спутников кислых магм, которые сами по себе играли очень большую роль в геохимии Феноскандинавского щита; объяснение этому мы можем видеть лишь в полном уничтожении всей верхней части гранитных массивов и гранитных интрузий, богатых как раз большинством элементов кислого поля. Тем не менее несколько необычным является отсутствие более тяжелых металлов (*Nb*, *Ta*, или тории-и радиоактивных элементов), столь характерных для иотнийских гранитов соседних районов Финляндии. Элементы жильного типа связаны, главным образом, с двумя периодами дислокаций, захвативших район: с одной стороны, архейскую и до-архейскую (=гуронскую) металлоносностью Олонии, с другой—со следами каледонских движений, с которыми можно связать главные рудные жилы Кольского полуострова.

В общем бедность этой части Феноскандии элементами объясняется в колоссальном смысле сначала больших древних хребтов, а затем и целого осадочного покрова эопалеозойских пород; благодаря этим процессам, с одной стороны, оказались сейчас обнаженными лишь корни жильных геохимических процессов, более бедные минерализаторами и летучими соединениями, с другой, был дан основной материал для образования осадочных пород всей северной половины Европейской России вплоть до конца карбона.

### Генетические типы.

Распределение минеральных образований, сведенных в особой геохимической таблице по отдельным генетическим типам, представляет весьма значительные затруднения, благодаря малой изученности генетических процессов области. Между тем длительная и сложная геологическая история области необычайно усложнила всю картину разнообразнейших химических явлений, переплетающихся и налагающихся одно на другое.

Особенно любопытна и сложна картина осадочных пород, остатки которых мы встречаем в геохимической таблице I под №№ 1, 4, 5, 6, 8, 13. Из всех этих пород различных возрастов, только песчанистые отложения 4, 5, 8 и 13 мы видим сейчас сколько-нибудь в том виде, в котором произошло сингенетическое образование минералов. О первичном состоянии катархейских пород мы почти ничего сказать не можем, сильно видоизменены и породы ятульских осадков. Преобразование осадочных пород можно отнести к следующим типам:

1. **Метаморфизм инъекции и мигматизации**—это относится к древнейшим осадкам, в которых проникли боттнийские и постботтнийские граниты, превратив осадки в гнейсы, гранито-гнейсы и кристаллические сланцы глубокой зоны.

2. **Метаморфизм давления**—к этому типу сланцев средней зоны я отношу преобразование осадков в хлоритовые, тальковые и кремнистые сланцы (4, 5).

3. **Метаморфизм контакта**—к этому типу относится ряд сланцев с ставролитом, андалузитом и гранатом, связанных с контактным изменением пород под влиянием гранита. Весьма незначительные контактные явления наблюдаются при воздействии диорито-диабазовой магмы на песчаники.

4. К особому типу **гидатометаморфизма** необходимо относить и своеобразное изменение некоторых доломитов с возникновением в них вторичных полевых шпатов и слюд.

Для изверженных и кристаллических пород мы тоже получаем довольно сложную картину, причем и в данном случае сингенетические первичные минералы нередко уступили место новообразованиям.

Прежде всего мы можем здесь выделить ряд глубинных динамометаморфических процессов, превративших древние основные породы в роговообманковые сланцы или в так называемые метабазиты или друзиты *Федорова*.

Еще значительнее чисто гидатогенная переработка пород в менее глубоких зонах земной коры: такова мощная эпидотизация диоритов Олонии, образование из основных пород скаполитов, змеевиков, тальков и т. д.

Как для осадочных, так и для кристаллических пород почти не наблюдается явлений **катагенеза** и особенно **гипергенеза**. Это связано не столько с отсутствием этих процессов переработки пород, сколько быстротой механической эрозии, опережающей скорость химических процессов на поверхности.

Наконец, третью большую группу генетических типов приходится относить к **жилным процессам**.

С одной стороны, к этой группе относятся гранитные выделения, переходящие в пегматиты и кварцевые жилы, с другой—рудные жилы, связанные по преимуществу с породами основного или среднего типа, местами тесно связанные с эруптивными массами (напр., с диоритами и диабазами Олонии), местами носящие характер типичных посторогенических процессов (жилы *Кандалакши*).

Типичные гидротермальные жилы развиты необычайно слабо: к ним можно отнести—жилные образования с флюоритом и аметистом горы *Корабль* и (с некоторою натяжкой) обогащение ятульских доломитов баритом под влиянием диоритовых интрузий (*Олений остров*).

Наконец, к серии древних **жилно-пневматолитических процессов**,

по всей вероятности, следует относить и образование зон фальбанд в древней свите Карельского берега.

### Генетические циклы.

Очень сложную задачу представляет геохимическое описание нашей области в той естественной последовательности, которая бы правильно отвечала прошлым судьбам этого края. Отсутствие сколько-нибудь планомерных и систематических исследований не позволяет здесь шаг за шагом проследить, подобно Финляндии, изменения в условиях образования минеральных ассоциаций, и нам приходится лишь с большими оговорками пытаться воссоздать геохимическую картину прошлого.

В общем мы можем наметить четыре основных этапа геохимических процессов.

Совершенно ускользают от нас те далекие до-архейские периоды, когда в своеобразной обстановке первых застывших участков земной коры, в вихрях первой пустыни и грязевых илистых потоках первых дождей-ливней, рождались первичные осадки земной коры. Об этой первой фазе прошлого мы лишь догадываемся по слабым остаткам ее первичной структуры. Вторую фазу принесли с собою мощные геологические и геохимические процессы метаморфизма первичных осадков в тот длинный период времени, который мы называем архейским. Наконец, третий период, который еще больше ускользает от точной хронологии, переносит нас в постархейское, вероятно, эопалеозойское время, когда ослабели динамометаморфические процессы, заменившись разломами, сбросами и связанными с ними излияниями основных магм. В сложной последовательности покрывались древние складки новыми осадками эопалеозойских отложений, почти без остатка размытых последующей эрозией.

Затем новые и последние картины приносят нам сначала третичные разломы, наметившие современную конфигурацию горста, а затем и мощный Скандинавский ледник.

Таковы те четыре основных этапа геохимических превращений, которые мы намечаем в этой области, главные и сложнейшие процессы которой, повидимому, протекали еще в до-кембрийскую эпоху.

#### Докембрийская эра.

На блестящих, сглаженных ледником остатках старого щита мы, подобно другим областям Феноскандии, видим сложную картину метаморфизованных и ин'ецированных первичных осадочных пород. Серые и красные гнейсы в пестрой картине переслаиваются с кварцевыми или биотитовыми разностями, то обогащенными красным гранатом с переходом в красивые гранатовые породы, то переходящими в амфиболовые разности—в амфиболиты. Изредка породы обогащаются дистеном (Кемский и Сороцкий районы), в области Карельского берега всегда богаты силлиманитом, изредка обнаруживаются прослойки актинолита или-же скаполитовых пород (р. Канда). Вся эта сложная ассоциация минералов обнаруживает перед нами картины магматических ин'екций в осадочные

свиты пород, а аналогия последних с финляндскими заставляет читать в них то остатки прибрежных илов, то эоловые образования древнейшей пустыни.

Местное обогащение глиноземом (в дистене и силлиманите), частое увеличение магнезии и кальция говорят о глинистых породах в первом случае и мергелях—во втором. Изредка прослойки графитового сланца (напр., у озера Кукас в районе Ковды) говорят нам о каких-то остатках органической жизни.

Сложная, сдавленная и поставленная часто на-голову свита этих мигматизированных боттнийским гранитом пород составляет канву, на которой разыгрывались уже дальнейшие стадии геохимической истории: внедрение в нее как кислых иотнийских гранитных магм, так и основных—различного возраста. И те, и другие в своей истории тесно связаны с уже более молодыми образованиями архейского времени, врываясь обычно в виде пластовых жил, внедряясь между слоями различных осадков—то прибрежных, то глубоководных, или же застывая в виде отдельных линз и лакколитов, вытянутых в северозападном простирании в области Белого моря и Канинско-Тиманском— у берегов Ледовитого океана.

К двум главным периодам приурочено проникновение в область нашей части щита гранитных масс: сначала в боттнийское время, когда шла мигматизация в глубине древнейших осадков, и потом в иотническое время, характеризующееся на юго-западе (в Финляндии) массивами рапакиви.

В сложной обстановке динамометаморфического изменения архейской свиты в больших глубинах при высоких температурах шло постепенное видоизменение старых осадков и более молодых, ворвавшихся в них, частью кислых гранитных, частью зеленокаменных пород. От нас ускользает еще картина той геохимической лаборатории, в которой шла переработка этих образований, сначала в чисто магматической стадии (мигматизация по *Седергольму*), потом в метаморфически гидростермальной. К этой последней стадии мы относим ряд очень характерных процессов, почти совершенно скрывающих первичную природу измененных пород: это широко идущие процессы превращения пироксено-плагиоклазовых пород или в скопления цоизита—альбита или в скаполитовые породы, или в друзиты с загадочной концентрической кристаллизацией минералов и, наконец, широко уралитизацией или, вернее, амфиболитизацией пород. Эти четыре процесса мы отмечаем для основных как меланократовых, так и лейкократовых пород, широко идущая эпидотизация характерна для пород гранитного типа (напр., у Кандалакшской насыпи жел. дор. или у Александровска).

В самом конце архейской эры эти иотнийские гранитные интрузии принесли с собою пегматиты и кварцевополевошпатовые жилы с довольно богатой минерализацией.

Пегматиты Беломорского побережья уже давно привлекли к себе внимание своими богатствами калиевой слюдой, тем „московитом“, который из Москвы вывозился за границу еще в XV веке. Пластовые жилы, то в виде тоненьких прослоек, то расширяющиеся в линзы и вздутия или, что значительно чаще, жилы секущие—вкрест простирания гнейсовых толщ, в общем более мощные и более богатые слюдой. Красные пегматиты богаты биотитом и ортоклазом, белые—олигоклазом и мусковитом; и те, и другие мало захвачены общими мета-

морфическими процессами и тесно связаны с интрузией молодого гранита, простираясь, преимущественно, в направлении NW 330°.

Но как ни грандиозны процессы пегматитов, все же очень бедны они геохимически; здесь до сих пор мы не знаем ни бериллия, ни редких земель; вся плеяда элементов обычного кислого типа отсутствует, и лишь мусковит, полевой шпат и кварц (иногда гранат) являются основными минералами, к которым в редких случаях присоединяются В (в виде турмалина), Р в форме зеленоватого апатита (Хитоварака), а в кварцевых разностях и кианит. Ничтожно количество рудных минералов (магнетита), изредка лишь наблюдается светлый аметист и еще реже кальцит, как последний продукт жильного процесса.

Исключительная бедность пегматитовых жил элементами (помимо К, Al, Si—немного Р, S, В, следы Ti и F) нам говорят, что мы имеем здесь дело лишь с самыми глубокими зонами жильных процессов, главная часть которых, богатая пневматолитическими минералами, снесена абразионной и эродирующей деятельностью ледника.

В тесной зависимости от тех-же пегматитовых дериватов находятся мощные и иногда весьма длинные по простиранию кварцевые жилы, изредка с кальцитом и черным шерлом больших размеров.

Вторую серию внедрений в осадочную толщу составляют „зеленые“ породы, к сожалению, плохо изученные, но весьма разнообразные по своему составу и строению, чаще всего объединяемые в описаниях термином амфиболитов и метабазитов для более древних, или диабазов и диоритов—для более молодых.

Так, в районе Карелии отмечаются настоящие амфиболиты, гранатовые амфиболиты, перидотиты (гарцбургиты), т. е. настоящие основные оливиновые породы.

Целый геохимический цикл процессов архейского времени связан с вышеперечисленной интрузией основных пород и их метаморфизмом. К сожалению, чисто петрографическое исследование *Федорова* не дает нам разгадки таинственных еще пород—друзитов с обильным железистым гранатом контактного типа и довольно кислым плагиоклазом в последних стадиях застывания породы. Вряд ли, однако, для них может быть сохранен взгляд, как на нормальные эруптивные породы, и скорее мы могли бы видеть в них продукты метаморфизации каких-либо жил и штоков габброноритовых пород. Но если вся эта сторона интересного превращения жильных или глубинных пород в друзиты с оливином, титановыми пироксенами и известковожелезистыми гранатами до сих пор ускользает от нашей геохимической оценки, благодаря неизученности, то гораздо очевиднее и яснее проходит перед нами серия тех минералообразовательных процессов, которые положили начало фальбандам и рудным жилкам, непосредственно связанным с зеленокаменными породами.

В непосредственную связь с зеленокаменными породами Олонии приходится ставить и различные медные месторождения южного района, очень многочисленные в области Сегозера: здесь медные соединения различного типа или непосредственно связаны с диоритами или-же приурочены к их контактам и связанным с ними кварцевым или известковым жилам. Сопровождаясь хлоритами или эпидотами, сернистые руды (халькопирит, борнит,

пирротин, халькозин) богаты, подобно фальбандам севера, золотом или серебром (Пергуба, Повенецкий уезд) и переходят, таким образом, в типичные золотые жилы, примером которых может служить знаменитый Воицкий рудник на границе Олонецкой и Архангельской губерний.

Хотя с практической точки зрения многочисленные медные месторождения этого края до сих пор не выяснены, но с научной—их характер является в достаточной степени очевидным и довольно постоянным на большой территории.

Но не только выносом медных растворов характеризовались излияния этих магм; целый ряд сложных процессов воздействия оказали они на окружающие их породы, метаморфозировав их и внося в них часть новых элементов. Повидимому, под их влиянием шло окремнение и доломитизация известняков, превратившая их в мраморы (знаменитые мраморы Тивдии), окремнели песчаники в сливные кварциты, стронциевые и бариевые соединения накапливались в известняках и глинистых толщах; на границе глинистых диабазов на Волкострове возникали те окремненные породы, которые дали нам знаменитые друзы дымчатых кварцев и аметистов с иглами онегита.

Может быть к этому моменту нам приходится относить и возникновение шунгита, образовавшегося путем метаморфических процессов и воздействия диоритовых магм из неведомых нам углистых прослоек. Много разных взглядов было высказано о происхождении этого своеобразного материала, и некоторые думают, что, аналогично антраксолиту других мест, мы имеем дело с накоплением углеродистых веществ из вулканических эманаций диоритовой магмы.

К этому-же архейскому времени мы относим неведомые нам осадки Ятульского моря, которые проникли в области Олонии далеко на север, отложив мощные скопления известковых пород. Может быть знаменитые розовые мраморы Тивдии, красивые полосатые доломиты Повенецкого уезда являются остатками этих древнейших карбонатных отложений, лишь измененные более молодыми интрузиями „зеленокаменных“ пород?

Одновременно с образованием глинистых и кварцевых осадков и с накоплением мощной серии известняков Олония сделалась страной крупных вулканических процессов, выливших на поверхность земли лавовые потоки или застывших в глубинах или жилах диоритодиабазовой магмы.

Однако, последней интрузией архейского времени надо признать внедрение в него иотнийского гранита, сначала серого, а потом более богатого калием—красного. Этот гранит, частью сохранивший гранито-гнейсовое строение, образует почти весь Мурманский берег, часть Терского, сменяясь гнейсами—в центральной и южной части.

Повидимому, этим заканчивается первая и вторая фаза генетических циклов Феноскандинавского массива, начинается третья, почти совершенно не захваченная динамометаморфическими процессами, но ознаменованная обильными разломами, дислокациями и сбросами, повидимому, продолжавшимися еще в третичное и отчасти послетретичное время и сохранившимися сейчас для всего этого района характер горста.

Но раньше, чем мы перейдем к этому новому этапу в геохимической истории, я должен еще отметить два минерала, несомненно связанных с архейским щитом. Один из них это алмаз, впервые намеченный Рабо и Веленом и заподозренный Конради в основных породах верховий Паза, где перидотиты

оказываются столь сходными с знаменитым кимберлитом Южной Африки. Если мы примем во внимание огромное распространение этих пород не только в западной части полуострова, но и в восточной, где основные породы были открыты *Rippasom* в верховьях Поноя, Варзуги и других рек, то перед нами встанет очень соблазнительная задача попытаться и в других частях Кольского полуострова проверить загадочное нахождение алмаза.

Гораздо очевиднее с генетической точки зрения другое минеральное тело, лишь в последние годы открытое и на русской территории—месторождение магнетитовых кварцитов, образующих пластовую залежь на обоих берегах Кольского залива. Образую с несомненностью продолжение знаменитой Киркенесской серии в Норвегии, это месторождение чистого магнетита, рассеянного в зернах среди кварца и редкой роговой обманки, лежит согласно с простиранием главной гранито-гнейсовой толщи. Разных взглядов можно быть на происхождение этих скоплений. Одни, как *Vogt*, склонны в них видеть продукт магматического выделения из гранитной магмы при ее интрузии в древнюю свиту пород, другие, и я склонен примкнуть к последним, видят происхождение железа в первичном скоплении этого элемента в каких-либо первичных катархейских осадках, и лишь путем гранитной интрузии эти железистые осадки неведомых нам древних геохимических процессов превратились в нынешнюю кварцево-магнетитовую породу.

### Палеозойская эра.

...Но вот мы оставили архейские складчатые образования, покинули некогда мощные здесь хребты, складки и сбросы и должны перейти к более новым картинам исторической летописи — последним, правда еще многочисленным фазам геохимических процессов Феноскандинавского щита.

Прекратились складчатые образования, застыл в виде мощного массива весь Феноскандинавский щит и отдельными сбросами и разломами выявились его контуры, как древнего щита—горста. Повидимому, много раз повторялись эти дисъюнктивные дислокации и в разное время давали они начало и рудным жилам, и выходам основных пород, и прорывам значительных масс щелочных (атлантических) магм. Интересно отметить, что одни и те же тектонические направления сохранялись в этих движениях разных геологических возрастов и вместе с тем в своих основных чертах они отвечали и повторяли те старые линии, по которым шли складчатые движения и вытягивались геохимически зоны еще в архейские времена: это, с одной стороны, направление Мурманского берега, столь определенно повторяющееся на Канине и в Тимане, с другой—направления более меридионального типа (NNW), отвечающие Карельскому берегу Белого моря, его пегматитовым жилам и в глубине Кандалакшского залива сталкивающиеся с более широтными сбросами.

Мы не можем более детально и глубоко проследить геохимическое значение этих двух направлений; но, как будто, широтное и NO отвечает более обычному простиранию серебряноцинковых жил как южной, так и северной части Кольского полуострова, тогда как второе — (вернее NNW — SSO, ясно выраженное в Карелии) отвечает большинству интрузий архейского возраста, его фальбандам и большей части пегматитовых жил.

Первые картины, которые нам рисуются на эопалеозойском горсте, это внедрение по трещинам и жилам основных пород сначала пироксенитов, а потом диоритов и диабазов (по наблюдению *Полжанова*). Штоками и жилами обнаруживаются они по Мурманскому побережью, обрываясь на границе с осадочной девонской толщей, опустившейся по линиям разломов Тиманско-Канинского направления. Повидимому, с этими диабазами и особенно диоритами связаны многочисленные рудные жилы как Кольского полуострова, так и Северной Карелии <sup>1)</sup>. Настоящие рудные жилы с рудными брекчиями заполнены кальцитом или кварцем, реже баритом с сернистыми соединениями свинца, цинка, меди и серебра; они частью следуют параллельно жильным интрузиям основных пород, но по большей частью секут в направлении NO—SW метаморфическую древнюю свиту. Здесь, на знаменитом острове Медвежьем, открытом в 1732 г., были найдены огромные глыбы и скопления самородного серебра вместе с галенитом и кристаллами сфалерита. Прекрасные гидротермальные образования этих жил еще сейчас возбуждают к себе не только научный, но и практический интерес.

Но вот после ряда дислокационных процессов мы снова подходим к более точно определяемому с хронологической точки зрения моменту: это образование осадков, повидимому, девонского возраста; правда, они сохранились лишь отдельными обрывками в опустившихся участках краев Скандинавского горста, но уже в них мы узнаем те глинистопесчаные образования, которые типичны для девона всего северного крыла <sup>2)</sup>. Повидимому, мощный размыв Феноскандинавского массива и его покрывших пород давал материал для этих кластических образований, и хотя нам неизвестно, покрывало-ли девонское море всю поверхность Кольского полуострова, но во всяком случае могучая эрозия архейских складок намечала собою процессы химических превращений в мелководных частях этого девонского моря. Шли-ли здесь и более глубокие геохимические превращения, наблюдались-ли здесь и более глубокие осадки карбонатных пород, об этом судить трудно. Долгие континентальные эпохи, могучая эрозия ледника уничтожили эти памятники прошлого (если они были), и, может быть, только в частях покрова, уцелевшего по краям Хибинских гор, можно еще сейчас видеть остатки этих палеозойских осадков.

Огромный промежуток времени от эопалеозоя вплоть до наступления ледниковой эпохи проходит для нас без памятников прошлого, и только щелочные массивы центральной части врываются своими совершенно новыми и чуждыми прошлого магмами в осадочную свиту пород; но и они нам не дают точных указаний, и лишь предположительно мы можем говорить об их карбоновом возрасте. Грандиозные вторжения этих совершенно новых пришельцев атлантической магмы положили начало Хибинским массивам, и сложным, совершенно

---

<sup>1)</sup> *Sederholm* в 1903 г. был склонен считать эти рудные жилы иотнийскими.

<sup>2)</sup> Из геохимических особенностей этих песчанистых пород Кольского полуострова надо отметить прорезывание их на Турьем мысу щелочными жилами магматических пород и тонкими прожилками флюорита, а также интересные гидротермальные образования (аметиста плавиков. шпата и др.) на г. Корабль. Нельзя при этом не отметить, что еще старые авторы совершенно основательно подчеркивали сходство минералов г. Корабль и Волк-острова на Онежском озере.

своеобразным геохимическим процессам было положено начало этим внедрением щелочных магм. О них см. стр. 95.

Ледниковая и современная эпохи.

Новый генетический цикл начинается для нас только с ледниковой эпохи. На границе современной Швеции, Финляндии, России и Норвегии, приблизительно в верховьях р. Паза, намечается мощный центр обледенения, и по горному ландшафту, так долго остававшемуся материком в течение всей новейшей геологической истории, начали свою эрозионную деятельность ледниковые массы.

Ими было завершено уничтожение старых цепей и хребтов, срезаны были верхи всех складок, жил и штоков, и глубокой эрозией были обнажены глубинные корни архейских и катархейских процессов. Уничтожен был покров, сковывавший щелочные массивы, обнажились древние лакколиты, глубинные жилы, выпаханы были глубокие долины, а послеледниковая эрозия довершила дело разрушения, отложив огромные сельги и озы несортированного материала. В сильной и эродирующей деятельности шли и свои геохимические процессы, накапливались магнитные железняки в наносах рек, изредка скоплялось золото в небольших золотоносных россыпях Финляндии и Олонии.

На южной границе глубокие дислокации и разломы обрывали южную границу горста, а опускавшиеся участки земной коры заливались морями и озерами, сначала ильдиевым, потом анцилловым и литториновым. В этом прошлом закладывались черты современной озерной области, окружающей с юга Феноскандинавский массив, и еще сейчас мы читаем в этих озерах историю их прошлого.

Почти непрерывною зоною тянутся эти водные бассейны, опоясывая Скандинавский горст, Балтийское море с Финским заливом, Ладожское и Онежское озера, Белое море и, наконец, Ледовитый океан.

В медленных процессах минералообразования шло на дне этих водоемов осаждение различных химических осадков и накопление мелкого ила. В работах *Гильзена*, частью не напечатанных, вырисовываются эти осадки, песчанистые в южных частях Онежского и Ладожского озер, всюду бедные или совершенно лишенные карбонатов, но всюду обогащающиеся железом и марганцем <sup>1)</sup>.

Процессы образования железисто-марганцевых конкреций и бобовых руд широко захватывают весь наш север, как один из важнейших геохимических процессов, который идет на наших глазах в болотах, в озерах, морях и на глубинах Полярного океана.

Не только наши озера Олонии дают огромное количество железных руд, по и дно Ледовитого океана в некоторых своих частях настолько богато железистыми стяжениями, что смело могло бы считаться сплошным железным месторождением.

Очень типично идет накопление железных стяжений в болотах и торфя-

---

<sup>1)</sup> Среди всех анализов осадков особенно интересен анализ глубоководного ила в 85 метрах глубины Онежского озера, где обнаружено  $TiO_2$ —1,06% и  $BaO$ —0,1%, а в марганцевых стяжениях того-же озера  $BaO$ —0,2%

никах, концентрируя вместе с тем большие количества фосфора и частично марганца (5—6%); более определенный тип осадков представляют образования северных озер Олонии, в которых количество  $Fe_2O_3$  доходит до 60%, а Mn в разных степенях окисления до 15%, при содержании  $P_2O_5$  около 3%.

Совершенно аналогичны железистые желваки Онежского озера, где в глубоководных илах содержание марганцовых окислов доходит до 38%, а железа до 12,5%.

Лишь очень спорадически попадаются желвачки в Ладожском озере, довольно широко распространены они в Финском заливе; однако, главное их распространение в Карском и Баренцовом морях, где железа содержится около 20—25%, марганца в разных степенях окисления между 22 и 42%, а фосфорной кислоты от 3 до 4%<sup>1)</sup>.

В этих грандиозных процессах минералообразования и концентрации железа и марганца бросается в глаза увеличение последнего насчет первого в больших глубинах, в длительных процессах глубоких морей, так что в последних мы имеем дело с железисто-марганцевыми осадками, тогда как в озерах — с марганцево-железистыми.

Перед нами встает интересная картина минерогенезиса<sup>2)</sup>, постепенно раскрываемая работами *Aschann'a*, *Гинзбурга*, *Исаченко* и др. Нет никакого сомнения, что в общем причин накопления железисто-марганцевых масс две: одна связана с окислением сернистых соединений железа и протекает в черных сернистых илах, образуя на них корочки гидратов окиси железа. Вторая причина связана с переходом в гидрогели не без содействия микроорганизмов коллоидальных соединений железа, принесенных текучими водами вместе с гуминовыми веществами. Мы знаем сейчас, что первая причина играет сравнительно небольшую роль; в наших озерах черные сульфидные илы редко играют какую-либо роль, и хотя во многих из них обнаружены следы сероводорода и открыты железистые пленки, но все же в наших северных озерах сульфидный ход процесса не играет большой роли.

Несколько иначе, вероятно, складывается процесс в больших глубинах морей и океанов. Хотя, согласно исследованиям *Исаченко*, настоящие черные илы с сульфидными процессами встречены лишь в прибрежных частях Мурманского побережья и у берегов Новой Земли, тем не менее огромные скопления марганцево-железистых конкреций Карского и Баренцового моря генетически, хотя и косвенно, связаны со сложными восстановительными процессами серно-кислых соединений.

Этот мощный процесс накопления Fe и Mn является очевидно лишь продолжением, и притом совершенно неизбежным, процессов материкового почвообразования, ибо на дне водоемов накапливается все то, что не может удерживаться или накапливаться в условиях северных почвенных процессов. Огромные количества гуминовых соединений ежегодно выносят полутонны окислы, и в буро-ржавых весенних водах вырисовывается перед нами этот процесс оподзоливания почвенного покрова. Правда, в почвах северных подзолов часть железа и марганца накапливается в более глубоких горизонтах, давая даже начало

<sup>1)</sup> Интересны следы меди в желваках Карского моря.

<sup>2)</sup> Ср. *Aschann. Zeit. f. pr. Geologie*. 1907. XV. 56.

скоплению болотных руд, но все-же огромное количество железа, алюминия и марганца выносятся северными реками в морские и озерные бассейны.

Так, сложную цепью явлений связываются вместе биохимические реакции растений, извлекающих из разрушающейся дресвы кристаллических горных пород содержащееся в них железо, их отмирающие осенние остатки, бурые и красноватые весенние воды, сложные химические процессы осадков дна, превращающихся медленными бактериальными или чисто физико-химическими процессами в конкреции, шарики и корочки марганцево-железистых минералов.

Хотя отдельные этапы этого современного нам химического процесса ускользают от нашего анализа, однако, все-же основной ход переноса железа, марганца и глинозема и их новая колоссальная концентрация совершенно очевидны.

Первые начальные стадии процесса лежат в явлениях почвообразования, в накоплении гумусовых веществ, в противоположность субтропическому климату, где гумус быстро сгорает в экзотермической реакции до угольной кислоты и воды. В северных широтах ход химических реакций является вообще замедленным, и при значительном механическом разрушении почти незаметно протекают процессы выветривания. Трудно себе представить большей свежести пород, чем та, которая характеризует образования Кольского полуострова и Карелии; если породы и метаморфизованы, то во всяком случае не современными деятелями поверхности, а теми сложными динамическими процессами, о которых мы говорили выше; жилы с сернистыми соединениями совершенно свежи, идеально чисты и прекрасны минералы Хибинских щелочных массивов, кислородная поверхность только иногда в долях миллиметра опережает ход механической эрозии, и только поверхностные ржавые пятна и потеки покрывают глубинные фальбанды или выходы рудных жил.

Так медленно текут геохимические процессы на древнем материке—Скандинавском горсте; медленно текут они в морских глубинах, то накапливая по берегам Ледовитого океана черные илы с сернистыми соединениями железа, то покрывая свои глубины пятачками и шариками марганцево-железистых конкреций, то накапливая по берегам в водорослях ценный иод и калий (Мурманское побережье), то, наконец, в своеобразной северной фауне собирая в небольших глубинах  $\text{CaCO}_3$  или образуя загадочные „Беломорские рогульки“.

Так слагаются основные черты геохимии настоящего этой области.

### З а к л ю ч е н и е.

На основании вышеприведенного материала по геохимии самого щита (без щелочных массивов и жил), мы можем прийти к нижеследующим основным выводам:

1. Геохимически русская часть Феноскандинавского массива весьма сложна и мало выяснена.

2. Геохимическая ассоциация элементов типична для пород средней кислотности, чему вобщем отвечает и однообразие петрографической провинции, объединяющей породы этой области (вне щелочных).

3. Наиболее характерными генетическими типами области являются: глу-

бинная мигматизация древнейших пород, сложный метаморфизм архейской серии, рудные жильные образования, связанные по большей части с основными интрузиями, и, наконец, пегматитовые и аплитовые процессы, главным образом, молодого иотнийского гранита.

4. Очень характерным для всего района является почти полное отсутствие процессов гипергенеза при очень усиленной концентрации некоторых элементов (Fe, Mn) в пресноводных и морских бассейнах.

5. Геохимическая картина описываемого района в общем не может быть дана, так как наталкивается на полное отсутствие точных минералогических, геохимических и петрографических данных и вообще на отсутствие точного описательного материала.

## В. Щелочные массивы.

### Геология.

Грандиозную, нигде не повторяемую картину рисуют нам щелочные массивы Кольского полуострова. До высоты в 1230 метров возвышаются сейчас вершины этих массивов и красивою цепью, покрытою большую часть года снегами, рисуются эти своеобразные горные плато, разрезанные глубокими долинами ледниковой эрозии.

Мягкими, сглаженными кажутся контуры окружающих их гранито-гнейсовых массивов, и хотя некоторые из них достигают не менее значительных высот, но их очертания лишены сказочности Хибинского массива, занимающего вместе с Луяврутом площадь свыше 1600 квадратных километров.

И перед этою грандиозною картиною лишь отдельными неясными обрывками нам представляются сведения о второй области щелочных пород На берегу Кандалакшского залива у полуострова Турья они впервые были открыты *Е. Федоровым* в 1891 г. в виде отдельных жил иолита и уррита—этих двух меланократовых мелкозернистых пород щелочного типа. То прорезая древние песчаники, много реже гнейсовые породы, то на них налегая, то включаясь в неведомую пока крупнозернистую породу (элеолитовый сиенит?), представляются нам эти породы. Велика ли здесь эта область их распространения, или они ограничиваются немногими жильными типами, сохранив свой очаг где-либо в глубине? Или может быть здесь целый центр щелочных пород, которые будут открыты новыми исследователями? Может быть, наконец, в центральных частях Кольского полуострова мы найдем еще другие центры щелочных магм? <sup>1)</sup>

Все это вопросы, на которые сможет ответить лишь детальное будущее исследование, а пока мы можем сколько-нибудь детально говорить лишь о двух центральных щелочных массивах.

С геохимической точки зрения мы имеем в ассоциации минералов этих массивов совершенно замкнутую, специальную химическую провинцию, сходную с аналогичными массивами, особенно Юго-Западной Гренландии.

---

<sup>1)</sup> В соседней Финляндии нам известен ряд небольших щелочных районов, лежащих весьма близко к русской границе: Iiwaara, Pyhakuru, Enontekis и др. *Rabot* отмечал еще массив элеолитового сиенита на берегу Нотозера.

## Породы.

С петрографической точки зрения мы имеем здесь огромную область щелочных пород, весьма хорошо изученных финляндскими геологами *Ramsay*'ем и *Haskamp*'ом. Основу и главную массу обоих лакколитов составляют элеолит-сиенитовые породы или крупно и беспорядочно зернистые хибиниты, или гнейсовидные луявриты. Некоторые из этих пород переходят или в крупнозернистые пегматиты, или же в порфироводные жильные разности.

Более основную группу жильных пород составляют: тералит, мончикит, тингуаит, а также уртиты, тавиты, иолиты,—все разные представители жильных пород, то болѐе, то менее меланократовые.

Вторую группу пород района представляют образования контактного происхождения, опоясывающие оба массива,—это весьма разнородный комплекс пород, представляющих по существу изменение диабазов, кварцитов и глинистых сланцев и сводимых к сложной и запутанной группе горнфельсов и кристаллических сланцев (хлоритовые и амфиболитовые сланцы, так называемые, имандриты, гиперстен-кордиеритовые роговики, хлоритизированные лабрадорпорфириты, оливино-актинолитовые кремнистые породы, силлиманитовые гнейсы и т. д.). *Ramsay* в этой мелкозернистой группе пород различает первичные остатки девонских осадочных и изверженных образований (по моей схеме таблицы I—13).

## Минералы.

Минералы Хибинского и Луяврского массива распадаются на две группы связанные с только что указанными группами кристаллических пород. С минералогической точки зрения говорить о минералах второй (контактной) группы почти не приходится, так как в их мелкозернистой массе мы почти не встречаем сколько-нибудь крупных выделений тех минералов, которые различаются в шлифе: кварц, альбит, эпидот, хлорит, кордиерит, гиперстен, тремолит, антофиллит, оливин, силлиманит, шпинель и нек. др.

Наше внимание приковывают лишь самые массивы и их эндоконтакты, минералогические богатства коих еще мало выявлены и почти не изучены.

Самородных и сернистых соединений мы здесь совершенно не знаем, и только редкие кристаллики пирита, содержащего немного меди, или халькопирита, попадаются нам в пегматитах и в жильном мончиките. Из г а л о и д н ы х известен частый, но не обильный флюорит, из о к и с л о в исключительно редок магнетит, совершенно единичен кварц (см. ниже), нередки налеты марганцевых окислов, но за то в жилах и контактах часто встречается ильменит, повидимому, базаномелан и с ним очень редкий циркон. К о к и с л а м мы относим воду и фирновый лед вершин и ущелий. Совершенно нет к а р б о н а т о в, кроме ничтожных корочек кальцита (см. ниже), нет с у л ь ф а т о в, а из ф о с ф а т о в нам известен весьма частый и типичный зеленый фтор-апатит, образующий целые жилы

Несомненно, что главное богатство составляют с и л и к а т ы, очень часты

цирконосиликаты, титаносиликаты, титанаты и силикаты с редкими землями.

К первым мы относим: полевые шпаты (микроклин, ортоклаз, альбит), нефелин, содалит, нозеан, канкринит, анальцим, натролит, томсонит, эгирин, арфведсонит и близкие к нему роговые обманки, титановый пироксен, эгиринавгит. В жильных породах еще биотит, оливин, обыкновенная роговая обманка и змеевик.

Ко вторым относятся обильные и прекрасные эвколит и эвдиалит и, вероятно, ловенит и лампрофиллит.

К титаносиликатам—энигматит, и весьма частый астрофиллит, а к цероиттросиликатам—вероятно—мозандрит и близкий к нему открытый нами в нескольких пунктах минерал из группы ионструпита.

Кроме того, среди жильных выделений массива отмечаются, как составная часть пород, оливин, серпентин, биотит.

Наконец, к группе комплексных силикатов примыкает весьма обычный сфен, к титанатам,—перовскит (только микроскопический) и открытый *И. Кузнецовым* лотарит из группы кнопита, а в качестве ниоботанталата вероятный, но еще не доказанный пирохлор.

Повидимому, этими данными не исчерпываются минералы этого района, и внимательное минералогическое исследование откроет еще ряд совершенно новых минеральных видов <sup>1)</sup>.

На основании вышеприведенных данных мы видим, что минеральная ассоциация щелочных массивов весьма типична, и что для нее характерен ряд редких и очень сложных минеральных тел, среди которых самыми редкими, как это ни непривычно, являются кальцит и кварц, найденный только в одном месте эндоконтакта хибинита.

### Э л е м е н т ы.

Геохимия центральных щелочных массивов не может быть пока выяснена с достаточной детальностью, так как отсутствуют не только анализы ряда редких минералов, но даже их простое видовое определение <sup>2)</sup>. Мы можем только сказать, что из 23 известных здесь элементов складывается необычайно стройная картина геохимии щелочных пород вообще, с фактически полным отсутствием поля жильного, слабым содержанием Mg, Fe, Ca, преобладанием Na над K, огромным развитием Ti и Zr и мало заметным содержанием группы U, Th, Nb, Ta и Th.

Таблица стр. 98 передает ассоциацию элементов в том несовершенном виде, в котором она сейчас может быть дана без анализов минералов.

В о д о р о д— в виде гидроксильной группы и в виде водных соединений,—

---

<sup>1)</sup> Новые, до сих пор не определенные минеральные виды привезены моими экспедициями 1920 и 1921 годов

<sup>2)</sup> Еще меньше у нас геохимических данных о минералах щелочных пород Умбы, где нахождение редких элементов не доказано  
Ферсман

играет довольно интересную роль. В то время, как каолинизация массива идет в ничтожных размерах, при ближе неизученных, но совершенно специальных условиях выветривания, гидротермальная цеолитизация в центральной части Умптека носит характер крупного геохимического процесса, охватывающего целые зоны преимущественно в центре самого излияния магм.

### Щелочные массивы Кольского полуострова.

Ряды.	I	II	III	IV	V	VI	VII	O	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Ряды.
1	Н	—	—	—	—	—	—	.	.	.	.	С	.	О	С	.	2
3	Na	Mg	Al	Si	P	(S)	Cl	.	(?)К	Ca	.	Ti	.	.	Mn	Fe	4
5	(Cu)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Y	Zr	(?)Nb	?	?	.	6
7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	TR	(?)Ta	?	?	.	8
9	.	.	.	.	.	.	?	.	?	.	.	(?)Th	.	.	—	—	10

См. примечания к таблице на стр. 81.

Углерод—играет ничтожную роль в минералах массива: в качестве первичной составной части он входит в редкие микроскопические зерна канкринита, часть которого несомненно первична, тогда как другая как будто связана с гидротермальным изменением эеолита. Кальцит является редчайшим минералом района (наравне с кварцем), и единственная корочка его, найденная не *in situ* экспедицией А. Е. Ферсмана 1920 г., хранилась, как редкость. Никаких признаков карбонатных пород или мощных мофжетных выделений мы не имеем. Только экспедиции 1921 года удалось в ущелии Гакмана открыть пегматитовые жилы с довольно крупными выделениями канкринита, в которых его образование, вероятно, связано с цеолитной фазой гидротермального или эпимагматического процесса.

Кислород—не играет какой-либо особенной роли в соединениях массивов, содержащих большое количество недоокисленных соединений (FeO, напр.). Играет он некоторую роль в процессах поверхностного разрушения массива, в которых в связи с накоплением гумусовых веществ идет образование комплексных гуминовокислых соединений окиси железа.

Фтор. Среди немногочисленных пневматолитических элементов главную роль играют F и Cl, первый в меньших количествах, чем в норвежских жилах. Наибольшее количество фтора связано с апатитами и флюоритом, немного фтора должно входить в ловенит и мозандрит, если их определения окажутся правильными. Флюорит, как таковой, в жилах не очень редок, но лишь в ущелье

*Рамзая*, как и в контактах северовосточной части Умптека встречается не в виде ничтожных вкраплений, а в более крупных количествах.

Вообще роль фтора, как элемента минералообразования, незначительна, но, как агента минерализации—громадна, что мы видим по широкому распространению флюорита в районе Умбы.

Натрий—преобладает над другими щелочными и щелочноземельными металлами, и его количество в породах доходит до 17% (в уртитях). Поражает обилие натровых силикатов не только в магматической стадии, но и в гидротермальной—это основной элемент щелочной провинции, определяющий собою ход ее химических реакций.

Магний—в нормальных породах входит в небольших количествах, лишь изредка скопляясь в количестве до 6% в основных жильных выделениях. Поражает отсутствие магния в большинстве даже меланократовых минералов (эгирине, астрофиллите, эвдиалите, энigmatите).

Алюминий—представляет один из весьма важных металлов, определяя собою очень высокое содержание глинозема в среднем составе пород: обилие полевых шпатов и элеолита определяет этот высокий процент глинозема, количество которого в меланократной части, однако, невелико.

Кремний—при сравнительно не очень низком среднем содержании пород кремнезема—поражает почти полное отсутствие кварца; во всем массиве (исключая, конечно, контактные зоны) кварц абсолютно отсутствует и нигде, даже в шлифах, в качестве каких-либо вторичных соединений, не обнаружен. Единственные находки кварца *Рамзая* относятся к своеобразным контактным брекчиям северо-восточной части массива Умптека, где раз'еденные остатки кварца и плагиоклазов сопровождаются фиолетовым флюоритом. Наконец, в качестве минералогической редкости кварц был обнаружен экспедицией 1921 г. в больших и красивых кристаллах горного хрусталя в эндоконтакте элеолитового сиенита.

Фосфор. Апатит является в некоторых жильных процессах довольно обычным, причем вместе с ильменитом он образует своеобразные жилки в западной части массива, а в многочисленных пунктах центральной части образует своеобразную, еще не изученную жильную эгирино-элеолито-апатитовую породу.

Сера—принадлежит к очень редким элементам и в соединении с тяжелыми металлами нам совершенно неизвестна, если исключить мельчайшие зерна пирита и халькопирита, обнаруживаемые в мончикитах и ряде отдельных пегматитовых жил. Сера входит в виде S и частично SO<sub>2</sub> в первичные минералы области в особый содалит и нозеан.

Хлор—является очень важным пневматолитическим элементом как самой щелочной породы, так и ее пегматитов, занимая несомненно более важное место, чем фтор. Значительные количества этого элемента рассеяны в составе эвдиалита—эвколита и первичного содалита.

Калий—уступает очень сильно натрию в минералах и играет лишь подчиненную роль.

Кальций, по сравнению с магнием, встречается в несколько больших количествах, но все же средний состав пород обнаруживает его в количестве

не свыше 2—3%, достигая 12% лишь в некоторых основных породах. Довольно высокое содержание кальция обнаруживается в пегматитовых жилах, так как он входит в состав эвдиалита, анатита и плагиоклазов.

**Титан**—принадлежит к наиболее типичным и важнейшим элементам самого массива. Правда, он сам нигде не образует очень больших скоплений, нигде не может быть отнесен к практически важным ископаемым, но его геохимическая роль огромна. В среднем содержание  $TiO_2$  в породах достигает 2,5%, причем наиболее важными минералами, концентрирующими этот элемент, являются: ильменит в больших пластинках контактных пегматитовых и специальных ильменито-полевошпатовых жил, титановые роговые обманки и авгиты нескольких типов, местами очень обильный сфен, весьма обычный, особенно в Луявре, астрофиллит и лампрофиллит и, наконец, еще до сих пор не анализированный, но богатый титаном энигматит (до 7%). Среди ближе неопределенных редких минералов (мозандрит, ловенит, перовскит, лопарит и др.) имеется ряд соединений титана. Во всяком случае, титан является одним из типичнейших элементов всей щелочной провинции.

**Марганец**—в общем в породах не очень обычен, но, по сравнению с тоже не очень распространенным железом, играет некоторую роль, изредка накапливаясь в больших количествах (астрофиллит, энигматит).

**Железо**—как только что указано, очень большой роли не играет, по преимуществу находясь в закисном состоянии. Интересно отметить большую бедность пород магнетитом, заменяемым ильменитом. Даже в более основных и меланократных породах железо в своих кислородных соединениях не превосходит 10—12%.

**Медь**—встречена в ничтожных зеленых выцветах при окислении редких зернышек колчедана в нескольких пунктах массива.

**Иттрий**—мы пока не можем говорить определенно о нахождении этого элемента, хотя присутствие его весьма вероятно в ряде неопределенных минералов (напр., в мозандрите).

**Цирконий**, наравне с титаном, играет огромную роль в массиве в составе ряда сложнейших цирконосиликатов—эвдиалита, ловенита, мозандрита и, вероятно, ряда других (вероятно и лампрофиллита). Этим и объясняется довольно высокое (до 1%) содержание окиси циркония в самой породе массивов. Любопытно отсутствие среди первичных минералов элеолитового сиенита циркона, который впервые встречен нашей экспедицией в ильменитовых и цеолитных жилах более поздней генерации.

**Нобий и тантал**—химически недоказаны, но весьма вероятны в часто встречающемся минерале, близком к пирохлору.

**Редкие земли**—повидимому—присутствуют, но до сих пор аналитически доказаны только в лопарите; присутствие редкоземельных минералов несомненно: церовой группы—в эвдиалите, цероторовой—в мозандрите и нек. др. Присутствие активных минералов, содержащих или торий, или уран, обнаруживается типичными плеохроистическими двориками в астрофиллите вокруг неизвестного желтобурого минерала.

## Генетические циклы.

По взглядам *Ramsay'a* и других исследователей щелочные массивы Кольского полуострова представляют мощные лакколиты, внедрившиеся в области зоны опускания между архейским щитом и покрывающими его эопалеозойскими осадочными породами.

Главная масса массивов застывала спокойно под покровом осадочных пород, в глубинах получая крупное зерно беспорядочно расположенных минералов, частью совершенно идиоморфных и сохранившихся неизмененными. В более высоких горизонтах, охлаждаясь параллельно стенкам, изверженная масса застыла в своеобразных глубинных покровах, получив гнейсовидное строение, и, застывая в известной последовательности сверху вниз, разбилась на ряд горизонтальных слоев—поясов дифференциации: наверху—лампрофиллитовый луяврит, далее—эвдиалитовый луяврит, затем—типичный луяврит, и наконец, хибинит. На востоке вся эта свита пород сохранилась, на западе она оказалась размытой грандиозными до—и послеледниковыми процессами эрозии, сохранив лишь глубинные части. Одновременно с этим шло и распределение отдельных химических элементов: Fe, Zr и Ti оказались в более высоких горизонтах, тогда как в глубинах сохранились лейкократовые части, богатые нефелином и полевыми шпатами. Одновременно шло образование мощных трещин, заполнявшихся пегматитами, тесными узлами связанными с самою породой. В сложном одновременном процессе кристаллизации здесь отлагались крупные индивидуумы редчайшего энigmatита, прекрасные розовые кристаллы эвдиалита обволакивались лучистым эшрином, а золотистые пластинки астрофиллита и лампрофиллита пересекались массами буроватокрасного эвколита. Лишь изредка оставались свободные пустоты, в которых высывались кристаллики ильменита, арфведсонита, цеолитов и редкого циркона. Сложные процессы пегматитовой кристаллизации еще только исследуются: они дадут блестящую картину химических реакций, в которых принимал участие ряд редких элементов.

И одновременно с этими процессами дифференциации и выделения пегматитов шла контактная переработка окружающих лакколиты пород: горячим дыханием, бедным летучими сильнодействующими элементами, видоизменялись эти гнейсы, глинистые сланцы и песчаники; ближе к контакту видоизменялся и сам сиенит, бедная элеолитом, но тем сильнее и неоднороднее проявлялось в нем образование жил и пегматитовых образований, и тем интереснее шла его минерализация.

Мы не видим здесь ни сильных эманаций, ни сольфатарной, ни мофетной деятельности. Главным деятелем метаморфизма были пары воды. После прекрасно выраженной фазы магматических выделений, мы почти не видим тех образований, которые составили красоту норвежских месторождений: почти совершенно отсутствует фаза пневматолитическая с летучими соединениями Be, B, F и Li, но зато перед нами богатая гидротермальная стадия, дающая начало различным цеолитам, вместе с молодым эгирином и редким плавиковым шпатом.

Новые пароксизмы вулканического процесса принесли с собою новые, более основные магмы— темные породы типа иолита и тералита внедрились в еще не остывший Хибинский массив, и на смену им, уже после остывания, пришли

частью более кислые, частью более основные породы—жилы с тингуаитами и мончикитами.

Наступил длительный период покоя и в течение долгого континентального периода, который тянулся, вероятно, от карбона до первых северных ледников, мощная эрозия смывала покров, скрывавший погребенные в нем лакколиты, разрушая архейский щит, размывая и освобождая из-под палеозойского покрова древние массивы. Еще до наступления ледниковых масс уже намечалась современная конфигурация Хибинского массива: покрылись доверху общим ледяным покровом и щит Феноскандии, и щелочные горы, а могучие ледники, наступая с запада, далеко разнесли по северо-востоку России валуны щелочных пород, посеяв их в изобилии даже за Вологдой.

Огромная послеледниковая эрозия завершила работу воды и льда, и постепенно вырисовался современный ландшафт горных хребтов в их прекрасной химической неприкосновенности и свежести. И действительно, трудно говорить о большей неприкосновенности и большей свежести, чем та, которою отличаются массивы Умптека и Луявра,—химического выветривания здесь почти нет, и только колоссальное механическое разрушение в грандиозном масштабе ведет свою работу измельчения минералов пород. Их дальнейшая судьба нам неизвестна, но на восточных берегах живописной Имандры, под лесным покровом лесной тайги еще таятся для нас интереснейшие химические процессы—превращения в почвенный покров механического мелкозема полевых шпатов, нефелина, арфведсонита и эгирина, в выщелачивании растворимых щелочных элементов и в высокогорном накоплении среди гумусовых остатков соединений железа, титана и марганца.

А у подножья величайшего в мире щелочного Хибинского горного массива бурные синевелые реки намывают странные, незнакомые нам пески: из них сложены берега прекрасного озера Имандры, из них на далекое протяжение складывается своеобразный почвенный покров, обогащенный кислыми элементами: в этих песках все нам непривычно—и довольно крупное зерно, и зеленоватый цвет, и самый состав: черные крупинки это арфведсонит, эгирин, энigmatит, зеленоватосерые—элеолит и полевые шпаты, и только в небольших количествах (не свыше 25%) среди мельчайших песчинок мы различаем кварц и красный полевой шпат, принесенный с запада, с древних гнейсовых вершин Мончи-и Чуны-тундры.

### З а к л ю ч е н и е.

На основании сказанного с геохимической точки зрения мы приходим к следующим выводам:

1. Щелочные массивы центральной части Кольского полуострова и, вероятно, ряд других аналогичных выходов этого района принадлежат к особой естественной ассоциации элементов, характеризуемых избытком Na, Ti и Zr.

2. Самым богатым генетическим типом этих областей являются пегматитовые жилы разных типов, обогащенные редкими элементами.

3. Совершенно особым типом процесса является образование пегматитовых жил в центральной части, по своему строению связанных с механическими процессами передвижения магмы при застывании массива.

4. Весьма вероятно нахождение в жилах этих массивов, равно как на контактах, редкоземельных и радиоактивных соединений.

5. Химическое выветривание *in situ* почти отсутствует, заменяясь выносом щелочей, сильным механическим измельчением и сносом мелкозема в долины и к берегу озера Имандры.

6. Геохимически Хибинские массивы сходны с некоторыми массивами Южной Гренландии, отчасти Арханзаса, и позволяют не только их сравнивать между собою, но и взаимно пояснять генетические процессы.

## ГЛАВНЕЙШАЯ ЛИТЕРАТУРА.

### Для сравнения по Феноскандии вообще.

1. *W. C. Brögger*. Die Miner. der Syenitpegm. Süd-norw. Zeit. f. Kryst. XVIII. 1890.

2. *W. Ramsay* u. *H. Berghell*. Geol. Fören. Förh. Stockh. 1891. XIII. 300. (Jiwaara).

3. *J. Sederholm*. Arch. Eruptivgesteine. Tsch. Min. Petr. Mitth. 1891. XII. 97.

4. *W. Ramsay* u. *Nyholm*. Bull. com. géol. Finlande. 1895. Hels. № 1 (Канкринитсиенит).

5. *J. Sederholm* et *W. Ramsay*. Guide d. exc. du Congrès Géol. Spb. 1897. XIII (Les excurs. en Finlande).

6. *J. Sederholm*. Ueb. e. archaische Sedimentf. Bull. com. géol. Finlande. 1897. № 6.

7. *V. Hackmann*. N. Mitth. u. d. Jolithmass. in Kuusamo. Bull. com. géol. Finlande. 1899. XI, p. 45.

8. *J. Sederholm*. Bull. Com. géol. Finlande 1910. № 24 (Roches préquat. d. l. Fennoscandie).

9. *J. Sederholm*. Om granit och gneiss. Bull. com. géol. Finlande. 1907. № 23.

10. *N. Ussing*. Meddelelser om Grönland. Kjöbenh. 1912. XXXVIII. (Щелочные массивы Гренландии).

11. *И. Сущинский*. Матер. по изучению контактов глубинных пород с известняками. Труды СПб. Общ. Ест. 1912. XXXVI. Вып. 5.

### По геологии.

1. *Renowanz*. Bemerk. u. Gebirge ... zw. d. Weissen Meere. Neue Nord. Beitr. 1781. L. I. 132.

2. *Широкшин*. Горн. Журн. 1835. I (кн. III) 397 (Кандалакша).

3. *Bötling*. Bull. Scient. Acad. Sc. Petersb. 1840. VII (Bericht üb. e. Reise durch Finland u. Lappland).

4. *A. Middendorf*. Beiträge z. Kenntniss d. Russisch. Reiches. 1845. II (XI). p. 137. (Bericht ... Inner-Lappland).

5. *А. Иностранцев*. Матер. геологии России. 1877. VII (Повенецкий уезд).

6. *Helmersen*. Geolog. Beobacht. Olonez. Bergrevier. 1882. Beitr. z. Kenntniss

d. Russisch. Reiches (II F.). V. С приложением химических исследований *К. Шмидта*.

7. *Н. Кудрявцев*. Кольский полуостров, Труды СПб. Общ. Ест. 1882—1883. XII. 233. XIV. 13, особ. 97.

8. *Б. Коленко*. Матер. геологии России. 1885 XII. 23. (Геологическ. очерки Заонежья).

9. *Поляков*. Физико-географ. описание юго-восточной части Олонецкой губ. Зап. Геогр. Общ. 1886. XVI. № 2.

10. *Ch. Rabot et Ch. Velain*. Explorat. d. l. Laponie. Bull. Soc. Géogr. Par. 1889. X. 457; 1890. XI; 1891. XII. 49; 1892. XIII.

11. *W. Ramsay*. Nephelinsyenit v. Kola. Fennia. 1890. III, 5—7; 1892. V. №№ 7—8; 1894. XI. № 2; 1897. XV. №№ 2, 4. (1900. XVI. № 1).

12. *М. Мельников*. Зап. Минер. Общ. 1893. XXX. 105, 240, 391.

13. *Enchleiter*. Verhandl. Geolog. Reichsanst. W. 1893. № 9. 217 (анализы Умттекских пород).

14. *М. Миклуха-Маклай*. Геолог. очерк Олонецк. уезда. Матер. геол. России. 1897, XVIII. III—264.

15. *Рипнас*. Изв. Русск. Геогр. Общ. 1899. XXXV. 292—312. (По Варзуге и Поною).

16. *А. Шеповальников*. Горн. Журн. 1901. I. 337 (жел. руды Туломозерской дачи).

17. *Ф. Чернышев*. Зап. Мин. Общ. 1901. XXXIX. I, прот. 29—33.

18. *W. Ramsay*. Geol. Olonetz. Gouv. Fennia. 1904—1905. XXII. № 7.

19. *В. Миронов*. Геолог. очерк островов Великой губы. Труды студ. научных кружков. СПб. Унив. 1910. II. 59.

20. *П. Борисов*. Очерк геологии полезн. ископ. Олонецкой губ. СПб. 1910. (Список литературы).

21. *W. Ramsay*. U. d. Verbreit. d. Nephelinsyenitgesch. Fennia 1912. XXXIII. p. 1—17.

22. *B. Frosterus*. Bull. com. géol. Finlande. 1902. 13.

23. *Д. Белякин*. Отчет об исслед. в Кандалакшском заливе. Труды Северн. Научно-Промысл. Экспед. (в печати).

24. *И. Гинзбург*. Отчет о геолог. исслед. по линии Мурманской жел. дор. Труды Сев. Научно-Промысл. Экспед. № 7, 1921 (полезн. ископаем. побережья Белого моря).

#### По минералогии и геохимии.

25. *Энгельман*. Горн. Журн. 1838. I. Кн. 2. 191—249.

26. *Комаров*. Горн. Журн. 1842. I. 189.

27. *Д. Киль*. Горн. Журн. 1873. II. 310 (рудные жилы Мурманск. берега).

28. *A. Stelzner*. Neues Jahrb. f. Min. 1880. II. 102. (Петрогр. крист. сланцев Кандалакшской губы).

29. *С. Буковецкий*. Горн. Журн. 1884. II. 320 (гален. Мурмана).

30. *В. Рожков*. Бергкомпания на Медв. островах. Горн. Журн. 1885. II. стр. 274.

31. *Ф. Левинсон-Лессинг*. Олонецкая черная земля. Труды СПб. Общ. Ест. 1885. XVI. (вып. II). Прот. засед. 91.

32. *Ф. Левинсон-Лессинг.* Олонецкая диабаз формация. Труды СПб. Общ. Ест. 1888. XIX.
33. *W. Ramsay.* Ряд работ с сотрудниками по Умптекскому маєсиву. См. № 11
34. *Подгвецкий.* Мурманский берег и его рудные богатства. Горн. Журн. 1891. I. 88.
35. *М. Мельников.* Отчет по розыску алмазов. Горн. Журн. 1892. № 3. 458.
36. *Е. Федоров.* Друзиты Белого моря. Изв. Сельско-Хоз. Инст. Петр.-Раз. 1896. № 1.
37. *Б. Попов.* Зап. Мин. Общ. XXXVIII. 1900. Прот. 28—31.
38. *Е. Федоров.* Горн. Журн. 1904. II, 98, 186, 368; III, 80. (Минералог. и петрограф. описание берегов Белого моря).
39. *W. Ramsay.* Beitrage geol. präkambr. Bild. Gouv. Olonetz. Fennia. 1904—1905. XXII. № 7.
40. *С. Яковлев.* Труды СПб. Общ. Ест. 1905. XXXIII. 53 (аплитовые жилы в диабазах Ю.-З. Олонии).
41. *S. Jakowlew.* Centralbl. f. Min. 1906 № 19, p 600. (Ueber die Ostgrenze des präkambr Systems in Finland).
42. *W. Ramsay* и *Wahl.* Fennia. 1908. XXIV. 3 (диабазы Южного Прионежья)
43. *Р. Самойлович.* Изв. Арх. Общ. изуч. русск. сев. 1911. № 10. 773. (Задачи геологич. изуч. Кольского полуострова).
44. *Д. Попович.* Изв. Арх. Общ. изуч. сев. 1911. № 19 (жилы Мурмана).
45. *С. Конради.* Изв. Геолог. Комит. 1912. XXXII. Год. отчет., стр. 120; XXXIV. № 2. 325—338.
46. *А. Болдырев.* Зап. Акад. Наук (VIII сер.). 1913. XXXI (Петрогр. Вост. Мурмана).
47. *С. Яковлев.* Прот. СПб. Общ. Ест. 1913. (химич. состав диабазов юга Олонии).
48. *Б. Исаченко.* Исслед. над бактериями Сев. Ледов. океана. Петр. 1914 (изд. Деп. Землед.).
49. *С. Конради.* К вопросу о коренной породе Лапл. алмазов. Геолог. Вест. 1915. I. 295
50. *Д. Попович.* Свинец на Мурмане. Изв. Общ. изуч. Олон. губ. 1915. № 2.
51. *М. Волховитинова.* Местор. свинц. руд. Олон. и Арханг. губ. Изв. Общ. изуч. Олон. края 1915. № 4.
52. *А. Замятин.* Очерк полезных ископаемых Сев. Евр. России. „Пов. и Недра“, 1916. №№ 6, 7 и 9.
53. *К. Гильзен.* Матер. исслед. грунта Ладожского озера (Рукоп. 1917). Результаты исслед. грунта Онежского озера (рукоп. 1918).
54. *П. Борисов.* Крист. силик. из доломитов окр. г. Повенца. Изв. Акад. Наук. 1917. 1289.
55. *О. Баклунд.* Скаполит с р. Канды. Изв. Акад. Наук. 1917. 19 (Кемский уезд).
56. *В. Соколов.* Медь. Сборник „Ест. Пр. Силы России“. 1917, IV. 45.
57. *И. Гинзбург.* Химико-минерал. исслед. образцов грунта Онежского озера (рукоп. 1918).
58. *В. Липин.* Горн. богат. нашего севера. 1920. № 4. 105.

59. *И. Гинзбург*. Слюда, ее свойства, примен. Матер. К. Е. П. С. России. 1920. № 34. 77 (побер. Белого моря).

60. *Е. Костылева* и *Э. Бонштедт*. Предв. отчет о Минерал. Экспедиции 1920 года на Хибинский массив. Труды Сев. Научно-Промысл. Эксп. 1921. X.

61. Отчет геолого-минералогической экспедиции на Хибинский массив 1921 года. Под редакцией А. Ферсмана, со статьями А. Ферсмана, Б. Куплетского, В. Крыжановского, Е. Костылевой, Э. Бонштедт и др. Труды Сев. Научно-Промысл. экспед. (в рукописи).

62. *Э. Кунсфеллер*. Отчет об исследованиях полезных ископаемых по линии Мурманской жел. дороги. Труды Сев. Научно-Пром. экспед. (в печати).



Д о п о л н е н и я.

Во время корректуры получена была еще работа:

*Th Brenner*. Theralith und Jiolith von Umptek. Bull. com. geol. Finlande. 1920. № 52

Список литературы на стр. 103 надо пополнить:

*J. Sederholm*. Die Bruchfalten v. Fennoskandia. Bull. Soc. géol. Finlande. 1913 № 37.

## Область вторая.

### Кембросилур и девон северо-запада России.

„Определить первичное состояние осадка показав, что он представляет сейчас, выяснить все те изменения, которые он испытал во времени и в пространстве,—такова задача геолога, который хочет нарисовать полную историю осадочных образований прошлого“.

*Сауеих.* 1897.

#### Границы.

На геологической карте Европейской России вторая геохимическая область вырисовывается очень рельефно, в виде большого треугольника—так называемого, девонского поля, с углами приблизительно в Виндаве, Рославле и Тихвине. От главного поля отходят два крыла: северное, тянущееся до Онеги на Белом море, и южное, огибающее с юга центральный каменноугольный бассейн. Это последнее частично включено мною в описание третьей области.

В административном отношении в область входят: полностью Курляндия, Эстляндия и Лифляндия, Петроградская, Псковская, Витебская губернии, частично северная часть Ковенской губ., небольшая северная часть Могилевской губ., все западные уезды Смоленской губ. без южной части Рославльского уезда, западные уезды Новгородской губ., юго-восточные части Олонецкой губ. и весьма небольшая часть Архангельской (около Онеги).

#### Геология.

С геологической точки зрения область характеризуется рядом палеозойских отложений, если и хорошо изученных стратиграфически, то все же не позволяющих пока дать полной картины палеогеографического характера. Область, занятая кембросилуром и девоном, представляет берег большой феноскандинавской суши, гранитные и гранитогнейсовые массы которой, равно как и складки древних интрузивных пород, были оборваны с юга и востока системой сбросов (см. выше, стр. 72).

Кембрийское и нижнесилурийское моря протягивались в широтном направлении к Уралу, сменяя мелководные фации нижних горизонтов на более глубокие осадки верхних. Накопление осадков шло не без ряда перерывов; так в западной части мы наблюдаем явный перерыв между глауконитовой и ортоцера-

тивной толщами, причем в основании последних легли конгломераты с чечевичками бурого железняка и окатанными фосфоритами.

Закончив свиту отложений ехиносферитовыми горизонтами, море значительно сузилось к началу верхнесилурийских отложений, лишь в виде отдельных заливов врываясь в новый материк, лежавший у подножья скандинавских массивов. Море отступало к западу; эта суша в нашем районе сохранялась и в период нижнего девона, и в то время, как на востоке с одной стороны и на западе с другой—было глубокое море, в описываемом районе мы наблюдаем материк или прибрежные полосы мелкого моря. К среднему девону море залило и эту поверхность, положив начало в главном поле смене песчаников известняками и вновь песчаниками, а в северном крыле отложив только прибрежные пески.

Из этой картины в грубых чертах мы можем сделать нижеследующие важные для нас выводы. Кембрийские и силурийские отложения, вплоть до ехиносферитовых известняков, на востоке не обнаруживают перерывов, хотя и являются в результате крупных колебаний уровня моря, тогда как на западе наблюдается перерыв после главконитовой толщи. На востоке на эту свиту (или даже на ортоцератитовый известняк) непосредственно ложатся известняки и песчаники среднего девона, обнаруживая перерыв материковой фазы или широкий размыв ее, вплоть до обнажения синей глины. На западе частично этот перерыв захватывает только нижний девон. Сами девонские осадки несут в подавляющем количестве прибрежный характер, и лишь средние горизонты главного поля обнаруживают перед нами мергелисто-доломитовые и известняковые слои более глубоководных или лиманных отложений.

Верхнедевонское море сменяется мелководными прибрежными отложениями и, отходя на восток, перекрывается такими же мелководными осадками каменноугольных бассейнов. наша область остается во всю дальнейшую геологическую историю материком, и лишь ледниковая эпоха приносит новые явления в геологическую характеристику области. Ледниковая эрозия из центра, расположенного на севере границы Финляндии, Норвегии и России, с одной стороны эродировала нижележащие палеозойские слои, вероятно по большей части покрывавшие весь феноскандинавский щит, частично смяв края финского глинта (р. Поповка) и вызвав в них частные поверхностные складки и сбросы, частью же покрыв ее ледниковым покровом с северными валунами.

Довольно широкое иольдиевое арктическое море залило озерный район, соединив на время Финский залив с Белым морем, а потом, сузившись в пресноводный бассейн (Анциллово море), наконец, приобрело границы, очень близкие к современным в виде литоринового моря.

Частью к третичным, частью даже к послеледниковым процессам *Седергольм* относит главные сбросы по южной границе феноскандинавского щита и опускание озерной полосы, окаймляющей с юго-востока этот массив. Хотя возраст этих сбросовых линий, предопределивших современные контуры моря, и не является доказанным, но очень важно отметить, что геохимически они не оказали влияния на общие судьбы области, и до сих пор ни один геохимический процесс севера мы не можем поставить в связь с этими дислокациями

большого масштаба, если только действительно они приурочены к столь недавним моментам исторического прошлого, как это думает финляндский геолог.

Ледниковый покров, сковавший весь район своими глинистыми и песчанистыми осадками, подчинил себе геохимически процессы почвенного покрова и в сложной, пока еще мало раскрытой картине подзолообразования, положил начало тем же биохимическим реакциям, которые кратко отмечены были при описании первой области.

#### Примечание.

В противоречии с геологической картой Геологического Комитета, значительная часть русских геологов относит к описываемой области также кварциты Прионежья, хотя геохимически они тесно связаны с самим феноскандинавским массивом. Представляя собою единственные метаморфизованные механическими деятелями отложения девона, они прекрасно иллюстрируют влияние орогенетических процессов на химические осадки. Однако, по своему химизму как эти кварциты, так и „каменноугольные“ известняки Олонии описываются мною при изложении феноскандинавского массива, тем более, что финляндская школа совершенно определенно признает за ними по большей части архейский возраст.

Совершенно особняком в западной части Курляндии стоят небольшие островки пермских, юрских и меловых отложений. Если первые представляют часть более западных отложений, то три последних являются лишь остатками западных крыльев больших южных морей, простиравших свои воды к северо-западу. Большого геохимического значения эти отложения не имеют.

### Орография и месторождения.

Равнинный и плоский характер основного юго-западного поля не дает очень большого количества естественных условий для сбора минералогического материала, тем не менее в отдельных пунктах более расчлененного рельефа мы получаем хорошие обнажения. Если на востоке линия глинта, т. е. край размыва эопалеозойской свиты Балтийскими волнами, носит мягкий и пологий характер склона, то на западе она местами приобретает характер обрыва с массовым накоплением обломков в отдельных пунктах. Большое количество естественных разрезов с великолепными местами для наблюдения геохимических процессов и сбора минералогического материала представляют многочисленные каньонообразные долины ручьев и речек, пересекающие линию глинта (и частью являющиеся очень старыми, додевонскими ущелиями), таковы, напр., знаменитые Поповка и Пулковка около Петрограда, ущелье у Капорья и т. д.

Вторую группу естественных обнажений представляют течения рек Западной Двины и Великой, классические выходы пород вдоль берегов которых дают совершенно незаменимый научный материал. К этим естественным обнажениям в нашей области присоединяется и большое число крупных и мелких каменноломен, выработок песку, известняка, плиты, гипса, глин и красящего глауконита, а в самое последнее время и крупные выработки кукерсита. Хотя в общем в области известно лишь незначительное количество полезных ископаемых, тем не менее значительные потребности крупных городов в строительных материалах создают вокруг них целые области искусственных выработок, столь ценных для геолого-минералогических исследований. Не меньшее значение имеют и буровые скважины на воду, особенно замечательные в Петрограде и отчасти в Ревеле.

## Минералы.

Минералы не разнообразны и мало интересны с чисто минералогической или кристаллографической точек зрения; они сравнительно недурно изучены и сведены Гревингом почти для всего района.

Из самородных элементов отмечается сера, как обычный продукт окисления скоплений колчеданов. Такое мнение, однако, не совсем верно, и за серу обычно ошибочно принимаются сульфаты окиси железа, тогда как сера выделяется в самородном виде лишь при обжиге этих колчеданов и лишь в исключительных случаях образуется, как продукт процесса естественного окисления. В качестве серного цвета, сера осаждается при окислении сероводорода сернистых источников, вытекающих из среднего девона.

Из сернистых соединений сколько-нибудь большие скопления, кроме  $H_2S$ , образуют только пирит и марказит. При этом очень характерно преобладание пирита как в диктионемовом сланце, так и в главконитовом песчанике и некоторых горизонтах известняков, тогда как марказит как будто бы исключительно приурочен к верхним горизонтам кембрийских песков непосредственно под диктионемовым сланцем. Последнее образование, по видимому, связано с разложением вод водоносных горизонтов, богатых сероводородом.

Чисто минералогическое значение имеют вкрапления в разные горизонты (сфалерита и галенита, а также скопления медьсодержащего колчедана или даже халькопирита.

Из окислов отмечаю: кварц, преимущественно в виде механического осадка, трепел в новейших отложениях торфа, манганит в продуктах окремнения девонских рыб и гидраты окиси железа, главным образом, в виде железистого осадка источников и бобовых озерных и болотных руд.

Из галоидных можно говорить не столько о самом галите, сколько о псевдоморфозах кальцита, доломита и гипса по каменной соли в средне-девонских и в меньшей степени в верхнесилурийских отложениях.

Азотнокислые соли представлены только калиевой селитрой (современного происхождения), углекислые — рядом карбонатов кальция (кальцит, известковый туф), магнезия (доломит) и меди. Отсутствие сколько-нибудь ярко выраженных катагенетических реакций не дает разнообразия и красоты этим образованиям.

Сернокислые соединения представлены более характерно и интересно: гипс, барит и целестин, последние два в очень редких находках, эпсомит, мелантерит, квасцы. Последние три минерала связаны с окислением колчеданов. Из фосфатов отметим довольно редкий вивианит и фосфорит как в виде типичных желваков, так и целых раковин *Obolus*'а. Среди силикатов известны только: главконит, образующий огромные скопления большого научного и практического интереса, калиевая слюдка, попадающаяся в кембрийских и девонских песчаниках, вероятно, как продукт изменения других алюмосиликатов кристаллических пород, и мельчайшие кристаллики полевого шпата в известняках различного возраста.

Очень своеобразна и интересна группа соединений углерода: антрацито-

подобное вещество, бурый уголь, янтарь, асфальт, кукерсит. См. при углероде стр. 112.

### Элементы.

Геохимические особенности силура и девона русского северо-запада, благодаря трудам Дерптской школы химиков и минералогов, изучены весьма обстоятельно, и, может быть, ни для одного района России, кроме еще окрестностей Киева, мы не имеем столь детальных химических анализов и учета распространения отдельных элементов, как для района Ревель—Дерпт—Рига—Петроград. Повидимому, вряд-ли сколько-нибудь крупные изменения или дополнения смогут быть внесены в геохимическую схему района, довольно сложную и весьма характерную.

Всего нам известно 26 химических элементов, из коих большинство относится к обычному полю, а 9—к необычному. При этом весьма характерным хотя и очень редким, является рассеяние двух элементов Рb и Ва и отчасти Си и Zn, которые характеризуют строго определенные горизонты всей свиты. Повидимому, основным источником для этих элементов является инфильтрация из девонских отложений или девонского материка, к каковому времени (среднего или верхнего девона) мы могли-бы приурочить тот первоисточник этих металлов, который обогатил ими некоторые из нижележащих слоев. Отчасти эта мысль находит себе подтверждение в том, что на востоке эти образования, совершенно определенно приуроченные к ортоцератитовому горизонту, тем не менее проникли в него из покрывающих и внедряющихся в силур глин девонского возраста (р Волхов). В большинстве случаев мы должны искать источник этих металлов в периоды не глубинных морских процессов, а процессов, связанных с прибрежными отложениями и размывом материковых массивов <sup>1)</sup> Никаких непосредственных следов гидротермальной или жильной деятельности мы не наблюдаем.

Особенно типичной для района является ассоциация химических элементов, создаваемая с одной стороны осадком моря небольших глубин (Si, K, Mg), с другой,—и это особенно характерно,—минеральными озерами (Mg, Na, Cl, Br, S). Эти элементы совершенно определенно намечают собою чисто химический цикл осадков, в противоположность биохимическим элементам, какими являются в данной области Ca, P, F, C, N, Fe, S; из последних часть связана с растительными процессами жизни (C, O, H), другая—с животными (Ca, N, P, F, C, Fe, S). Таким образом наиболее отличительными чертами геохимической ассоциации являются: преобладание обычных элементов и распространение в отдельных горизонтах Ва, Рb и серы как в сульфидной, так и в сульфатной форме.

Практически важные и сколько-нибудь большие накопления элементов нам известны лишь для Cl, Br (источники), H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> (источники), S в сульфатной форме в виде гипса, Са в форме известняка и С в форме кукерсита.

<sup>1)</sup> В *Simmersbach* Das Vorkommen v. Gold u. Silber Der Geologe. 1918 № 21

Геохимическая диаграмма элементов **нембросилура и девона северо-запада России.**

Ряды.	I	II	III	IV	V	VI	VII	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Ряды.
1	H	—	—	—	—	—	—	.	.	.	C	N	0	F	.	.	2
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	.	K	Ca	.	Ti	.	.	Mn	Fe	4
5	Cu	Zn	.	.	.	.	Br	.	.	Sr	.	.	.	.	?	.	6
7	(Ag)	.	.	.	.	.	J	.	.	Ba	.	.	.	.	?	.	8
9	(Au)	.	.	Pb	.	.	?	.	?	.	.	.	.	.	—	—	10

*Примечание.* Тире обозначает свободное место в таблице Менделеева; точка—неизвестность данного элемента в исследуемой области, знак вопроса—неоткрытый еще элемент.

Ср с теоретической таблицей, приложенной на особом листе, табл. V

### Водород.

Для этого газа мы не видим в истории северо-западного района никаких особенностей, которые заставляли бы о них говорить особо. Важно только иметь в виду, что воды, связанные с девонской и силурийской толщей, почти всегда минерализованы и содержат много солей (одни — NaCl, другие — CaCO<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>). Особенно любопытным является частое содержание в водах сероводорода, что связано с восстановлением гипса в одних горизонтах (средний девон) и разложением колчеданов в других (верхние горизонты синей глины). Нельзя забывать для водорода и соединений в виде углеводородов, асфальтов и углей.

### Углерод.

Соединения углерода в области заслуживают очень большого внимания. Не говоря о кислородных соединениях, которые в форме карбонатов кальция и магния слагают целые горизонты, необходимо отметить своеобразное распространение этого элемента в форме углистого сланца (диктионемового горизонта), кукерсита (кукерского яруса), своеобразных мало изученных асфальтов (в главконитовом, пентамеровом и среднем девоне), торфяной массы и сапропеля (в современных и послеледниковых отложениях). Если к этому еще прибавить нахождение антрацитового вещества (грахамита) в ортоцератитовом и эхиносферитовом горизонтах, то мы получим довольно своеобразную и мало ясную с генетической точки зрения картину. Эта картина еще более осложнится, если к ней прибавить бурые угли верхнеюрского возраста по р. Виндаве и янтарь, вымываемый морем из коренных олигоценых месторождений.

Несомненно, что определено первичный тип накопления углеводородов представляют лишь диктионемовый и кукерский сланцы, из коих, вероятно, путем дестилляции, как нам приходится объяснять, образовались другие незначительные по количеству скопления асфальтоподобных тел в других горизонтах.

Весьма интересные газовые струи метана известны нам на острове Кокшер: их происхождение, по мнению Миквица, связано с валунными глинами, пере-

работавшими кембрийскую глину, однако, более вероятна связь с теми же горючими сланцами <sup>1)</sup>).

#### А з о т.

Для азота весьма интересным является накопление совместно с углеводородом в кукерских и диктионемовых битуминозных сланцах, причем в последних, как связанных с животным происхождением, он встречается в несколько больших количествах. Совершенно особняком стоит образование калиевой селитры, как выцветов современных скоплений гуано в девонских известняках. *В. И. Вернадский* обратил внимание мое на постоянное нахождение азотно-кислых солей в подземных водах Прибалтики.

#### К и с л о р о д.

Роль его не велика, кислородная поверхность залегает очень неглубоко, сохраняя в неприкосновенности пириты целого ряда горизонтов. Процессы окисления обычны и не имеют никаких особенностей, приводя обычно к гидратным формам (гидроокиси железа, марганца, водные сульфаты и т. д.).

#### Ф т о р.

Входит в состав фосфоритов ортоцератитового горизонта известняков, сохраняя с фосфорной кислотой отношения, отвечающие фтор-апатиту. Вероятно в небольших количествах фтор входит в состав обоих чечевичных слоев вместе с 3% фосфорной кислоты. Однако, наибольшие количества фтора в виде того же соединения должны быть накоплены в унгулитах оболочных песчаников. Никаких перемещений или миграции соединений этого элемента нам неизвестно.

#### Н а т р и й.

В небольших количествах входит в состав глинистых продуктов различных горизонтов или с хлором образует галит, извлекаемый источниками.

#### М а г н и й.

Очень большую роль играет магний: в геохимической таблице III роль магниевых соединений не велика, если исключить те немногие проценты магнезии, кои входят в состав главконитов или того доломита, который частично замещает кальцит антраконитовых стяжений диктионемового сланца.

За то в таблице II роль магниевых соединений огромна, выражаясь в широкой доломитизации, частью первичной, частью вторичной, целых комплексов пород девона.

Интересно отметить, что при окислении пиритов, аналогично образованию гипса в известняках, в доломитах возникает эпсомит, который в виде налета покрывает трещины девонского доломита.

#### А л ю м и н и й.

Почти никакой роли при миграции химических элементов не играет, никаких скоплений нигде не образует, а вместе с кремнеземом широко распространен в виде глинистого вещества различных горизонтов известняков и особенно синей кембрийской глины.

Повидимому, частично при окислении пиритов образуются квасцы.

---

<sup>1)</sup> Очень любопытна по всем этим вопросам статья: *V. Doss. Ueber die Möglichkeit der Erbohrung v. Naphtalagerstätten bei Schmarden in Kurland. Korrespondenzblatt d. Naturf. Verein zu Riga. 1900. XLIII. 157, особ. 162, 163, 194, 195. См. также: Linstrow. Der Krater v. Sall. Centrabl. f. Min. 1919. p. 326.*

### Кремний.

Большой роли не играет и вообще для него очень характерно чисто пассивное отношение во всех катагенетических реакциях области. В этом отношении здесь наблюдается полная противоположность тем химическим процессам окремнения, которые в столь значительных количествах идут в известняках каменноугольных отложений (см. ниже стр. 153). В качестве первичных форм накопления кремния надо отметить: во первых, кварцевые пески частично исключительной чистоты как в кембрии, так и в девонских отложениях верхних и нижних горизонтов; во вторых, глины как в составе, так называемой синей глины, так и в горизонтах известняков, в состав которых входит большее или меньшее количество глины. Наконец, значительное количество кремнезема фиксировано в форме силиката главконита. Единственные горизонты известняков, в которых химически накоплен кремнезем, — это эстляндские и пентамеровые слои верхнего силура, в которых не только отмечаются кремни, но и кристаллы кварца в трещинах. За исключением этих новообразований в катагенетическом процессе мы можем отметить еще слабую цементацию некоторых верхних горизонтов кембрийских песков аморфным кремневым цементом и новообразование мельчайших кристалликов полевого шпата (ортоклаза, микроклина, анортклаза и альбита) в известняках главконитовых, ортоцератитовых и девонских. В общем кварц и халцедон в осадках химического характера являются редкими минералами.

### Фосфор.

Кроме накоплений вивианита в торфяниках, фосфор связан с рядом фосфоритов в ортоцератитовом ярусе, с чечевичными слоями, в которые он входит в небольших количествах и особенно в раковинки *Obolus*, которые составляют весьма внушительные скопления в верхних горизонтах кембрийских песков, обогащая их до 20%  $P_2O_5$  (*F. Beyschlag* и *L. v. z. Mühlen*, 1918).

Очень значительные количества фосфора собираются в болотных рудах и железо-марганцевых желваках Балтийского моря.

### Сера.

Среди других органогенных элементов весьма важным является в области распространение серы, причем для нее типична связь с тремя типами химических соединений: в форме сульфидов с Fe, Zn, Pb (Au, Ag) и в виде  $H_2S$  с водородом, в форме сульфатов — с окислами Ca, Mg, Ba и Sr и, наконец, в форме органических соединений, в которых, как, напр., в кукерситах, сера входит в количествах свыше 2,5%. Повидимому, к гидросульфидам надо отнести серу морских грязей.

Разложение сероводорода источников, а также очень редкий тип окисления колчеданов дает изредка, в качестве минералогической редкости, самородную серу (первый случай — на Шелони в Псковской губ.; второй — в известняках около Гапсаля и по р. Виндаве).

### Хлор.

Играет несомненно видную роль, особенно в девонских отложениях, связанных несомненно или с мелководными морскими бассейнами (лиманами), или с минеральными озерами. Хотя в настоящее время нигде не сохранились

скопления галита<sup>1)</sup>, за то псевдоморфозы по кубам NaCl очень обычны, обычны и источники с содержанием этой соли как в девонской области (в среднем девоне) Лифляндии и Курляндии, так и в силурийском плато; примером последних могут служить источники Эзеля и Даго и глубокие артезианские бурения в Петербурге. Сильно минерализованы девонские воды Старой Руссы. Типичные свойства минеральных озер сказываются особенно в спутниках хлора—брома и иоде. Интересно нахождение в прочно связанном виде до 1% хлора в кукерсите (без следов иода).

В общем минерализация вод во всем районе связана почти исключительно с горизонтами среднего девона.

#### К а л и й.

Его распространение тесно связано с колоссальными скоплениями главконита, который в небольших количествах входит в состав синей глины, но главным образом образует мощный горизонт песков, песчаников и известняков на диктионемовом сланце. Содержание калия доходит до 8%, чем обуславливается агрономическая ценность главконитовых толщ, особенно в случае применения Андреевской реакции—слабого прокаливания до 500—600° С., благодаря которому создается более легкая разлагаемость главконита органическими кислотами.

Примесь главконита к глинам различных горизонтов можно объяснить небольшое содержание в них калия, который при вторичных процессах катагенеза частично фиксируется в мельчайших кристалликах полевого шпата.

#### К а л ь ц и й.

Играет огромную роль в глубоководных осадках в виде карбоната и в озерных—сульфата. Никаких особенностей распространения и миграции нельзя отметить, за исключением современного обильного биохимического осаждения в виде карбоната в озерах (так называемый альм, гажа, туф и т. д.).

#### Т и т а н.

Хотя новейшая литература не указывает нам никаких особых титановых минералов, тем не менее в тех областях, где идет разрушение феноскандинавского массива, мы замечаем значительный процент титановой кислоты. Так, в почвах и песках побережья отмечалось до 1% TiO<sub>2</sub>; до 1% TiO<sub>2</sub> отмечал *Struve* и в кембрийских глинах Петербургского района.

#### М а р г а н е ц

Принадлежит к мало обычным элементам, совершенно неизвестным во всей кембросилурийской толще и накапливаемым исключительно в некоторых горизонтах девонской, где окислы марганца и кремнезем в тесной связи пропитывают остатки рыб. В этих остатках, состоявших ранее из фосфата кальция, *Гревингк* наблюдал до 29% гидроокиси марганца. Ничтожные намазки вада известны в доломитах среднего девона. Накопление марганца в прибрежных процессах и концентрация его в органических остатках рыб являются, вообще говоря, довольно обычным явлением.

---

<sup>1)</sup> Имеется указание на нахождение глыбы каменной соли в Изборских гипсовых ломках.

## Железо.

Больших скоплений нигде не образует, но как органогенный элемент встречается весьма часто в ряде отложений; наиболее типичными являются (снизу вверх):

1) пирит диктионемового сланца и непосредственно под ним лежащих горизонтов оболочкового песчаника;

2) в глауконите глауконитовых песков, отчасти вместе с пиритомъ;

3) в нижнем чечевичном слое ортоцератитового горизонта, равно как и в верхнем эхиносферитового, в виде глинистого лимонита с 3% фосфорной кислоты;

4) в форме болотных и озерных руд современного возраста (в XVII веке все железо Курляндии добывалось из этих руд). Сюда же относятся ортштейновые горизонты в почвенном покрове при образовании подзолов;

5) в форме гидратов окиси железа при окислении растворов источников, вытекающих из некоторых горизонтов, и особенно над синей глиною.

В общем соединения железа незначительны и никаких особенностей распространения или миграции не обнаруживают.

## Медь.

Известна в целом ряде горизонтов, а именно:

1) в глауконитовом песчанике в ничтожных количествах вместе с кальцитом и баритом, немного и в глауконитовом известняке;

2) главный основной горизонт медных соединений—в ортоцератитовых известняках и трещинах, их прорезывающих (Волхов, р. Поповка, Феллин, Ревель), в виде медь-содержащего пирита, халькопирита (?), азурита, малахита, медной черни частично вместе с кальцитом и баритом. *Strangways* отмечал даже сульфаты меди на колчеданах Поповки около Павловска; *Гельмерсен* — натек малахита и медной зелени в известняках там же;

3) в эстляндских слоях нижнего силура (на Нарове) в трещинах кремнистых известняков вместе с пиритом, медь-содержащим;

4) в среднедевонских известняках по трещинам—намазки малахита на колчедане (в мергеле у г. Холма и по р. Зап. Двине).

Еще *Мурчисон* обратил внимание на малахит и свинцовый блеск в нижних слоях ортоцератитового яруса; позднее этот вопрос был подвергнут детальному обсуждению *Еремеевым*, который на обнажениях Волхова установил связь медных соединений с девонскими глинами, заполняющими трещины в известняке. Этот вывод о позднейшей инфильтрации был позднее подтвержден исследованиями *Е. Костылевой*. Общая картина всех горизонтов, содержащих медь, заставляет их генетически и хронологически связывать с девоном, хотя детали проникновения медных растворов еще не могут быть даны.

## Цинк.

Является постоянным спутником свинцовых, в меньшей степени медных соединений и отмечается в виде сфалерита в нижних горизонтах синей глины, в ортоцератитовом известняке Ревеля и в пентамеровом ярусе района Феллина. Количества ничтожны. См. свинец и медь.

## Бром.

Бром принимает участие не только в девонских минеральных водах Старой

Руссы (0,3 на 10.000 частей воды), но и в силурийских водах артезианских колодцев Петрограда, в котором на один литр приходилось, по анализу *Харичкова*, 0,0276 гр. бромистого магния при общем солевом осадке в 3,7475 гр. Эти количества брома с несомненностью обнаруживают связь артезианских вод северо-восточных отложений с выщелачиванием древних соленых толщ или, вернее, соленосных скоплений в отложениях девона и силура <sup>1)</sup>.

#### Стронций.

Целестин известен лишь в гипсовых горизонтах среднего девона в Курляндии в виде голубых волокнистых масс. Генетически он очень любопытен, так как встречается здесь вместе с гипсом и углеродистыми скоплениями, напоминая в маленьком масштабе генетическую обстановку третичных отложений Южной России (или Сицилии). На современной русской территории неизвестен.

#### Серебро.

Отмечается в небольших количествах в продуктах выплавки свинцового блеска из месторождений в пентамеровом ярусе.

#### Иод.

Отмечается в небольших количествах в составе Старорусских минеральных вод, и следы его известны в лиманных грязях западного побережья.

#### Барий.

В виде барита, находимого, правда, в редчайших кристаллах, известен в трех горизонтах: среднедевонском доломите (р. Великая, по р. Двине), в ортоцератитовом (Ревель, валун у Феллина) и в нижней толще глауконитового песчаника (р. Поповка, близ Петрограда). Любопытно отметить, что во всех трех случаях он встречается вместе с соединениями меди (малахитом) или медь содержащим пиритом. Происхождение загадочное, не исключена позднейшая инфильтрация из более высоких горизонтов. См. медь.

Интересно ничтожное содержание бария в артезианских водах Петербурга, чему *Struve* придавал большое значение.

#### Золото.

Отмечается в ничтожных количествах в продуктах выплавки свинцового блеска из месторождений в пентамеровом ярусе.

#### Свинец.

Сопутствует меди и отчасти цинку в ряде горизонтов, однако, подобно этим металлам, образуя лишь небольшие скопления чисто минералогического значения:

- 1) в более глубоких горизонтах синей глины, прожилками в сферосидеритах вместе с пиритом и сфалеритом (Петербург, остров Котлин) <sup>2)</sup>;
- 2) в ортоцератитовом горизонте (Ревель, Павловск) <sup>3)</sup>;

---

<sup>1)</sup> Эти взгляды находят себе подтверждение в теориях происхождения артезианских вод наших глубоких скважин Ревеля и Петербурга (*Погребов*).

<sup>2)</sup> Нельзя не отметить, что имеются доводы против признания этих синих глин кембрийскими, а скорее ледниковыми или даже послеледниковыми.

<sup>3)</sup> Весьма любопытна находка *Вертом* колчедана на Поповке около Павловска с кусочками галенита.

- 3) в эстляндских слоях (Пахель, по р. Нарове);
- 4) в пентамеровом горизонте района Феллина, где свинцовый блеск даже добывался одно время;
- 5) в девонском доломите по р. Двине.

### Генетические типы.

Общий тип минералообразовательных процессов довольно однообразен и выдержан на всем протяжении описываемой огромной области России. Никаких магматических, поствулканических или гидротермальных процессов мы во всей области не знаем, хотя северная окраина района является областью сбросов и дис'юнктивных дислокаций, в значительной своей части относящаяся еще к палеозою или даже до-архейским движениям, а по мнению *Седеггольма* и к новейшим процессам,—все же во всем районе мы никаких непосредственных результатов этих движений не видим, и ни один геохимический процесс мы не можем поставить непосредственно в связь с посторогенетическими явлениями. Правда косвенные указания на наличие по близости таких процессов мы имеем в виде скоплений сернистых тяжелых металлов, повидимому инфильтрованных сверху в период, как будто бы отвечающий девону. Но это лишь известные наведения, которые, впрочем, повторяются и позднее в нижнекаменноугольных отложениях, и по отношению к которым определенной генетической картины нет.

Любопытно отметить, что и процессы катагенеза очень мало развиты и фактически играют сравнительно ничтожную роль,—это очень резкое отличие от центрального бассейна, где как раз налегание юрских глин на известняки обусловило ряд весьма важных и широко протекающих геохимических процессов. Большинство минералов катагенеза приходится связывать с инфильтрацией или из отложений или материка девонского времени. Если число минеральных видов катагенетического происхождения и довольно велико, то все же количественное распространение этих процессов ничтожно и часто ограничивается лишь небольшими чисто минералогическими находками.

Зато огромную роль и распространение имеют образования сингенетические и в еще большей степени продукты диагенеза. Как это ни трудно было ожидать от столь древних отложений, целый ряд из них, повидимому, с моментов диагенетического закрепления сохранил до настоящего времени свой комплекс минералов, и есть полное основание думать, что в современном комплексе осадочных пород кембросилура и девона мы имеем картину минералообразовательных процессов отдаленных геологических эпох.

Наконец, в небольшом масштабе, без каких-либо очень ярко выраженных минеральных видов, мы имеем в районе ряд продуктов гипергенеза—выветривания и современных процессов, связанных с одной стороны с окислением колчедана, с другой—с минеральными источниками, отлагающими углекислый кальций в торфяниках и соли хлористого натрия и гипса в минеральных водах восточной окраины. К ним надо прибавить весь комплекс геохимических образований почвенного покрова, накопление сапропелей в пресноводных озерах и гидратов железа и марганца в средних глубинах морских заливов.

Объяснения к геохимическим таблицам II и III. (см. приложение).

Таблицы разделены на две, на основании довольно резкого отличия, создаваемого последовательностью отложений на востоке и на западе. На востоке в классических разрезах под Петроградом или по обнажению глинта нормально обнажения заканчиваются таблицей III, причем непосредственно на размытую поверхность эхиносферитового известняка ложатся девонские мергеля, не имеющие особого геохимического значения, и затем ледниковый нанос. На западе, и особенно в районе западного побережья моря и Западной Двины, мы встречаемся с преобладающим разрезом типа таблицы II.

Кроме того необходимо иметь в виду, что восточные и западные окраины одного и того-же горизонта сильно меняются не только по своей мощности, но и по своему минералогическому и геохимическому характеру, благодаря чему нам приходится различать сообразно с фациями различные особенности в их химизме.

Общая мощность разреза, согласно Doss'у (1900), свыше 600 метров, из коих на девон приходится около 200, столько же на весь силур и кембрийские песчаники и, наконец, не менее 200 метров на синюю глину вплоть до нижних песков, лежащих на гранито-гнейсовом основании.

### Генетические циклы.

Изучение генетических циклов северо-запада России облегчается его детальным геохимическим обследованием. История химических процессов начинается для нас с мощной свиты синей глины, отложившейся на сильно размытой поверхности древних гранито-гнейсов, которые *Sederholm* связывает с постботтнийским мигматическим гранитом. Повидимому, усиленный размыв этих серых архейских пород с кварцем, полевыми шпатами, биотитом и гранатом в значительной степени послужил материалом для отложений мелко-взмученной пластичной глины. В более глубоких горизонтах она переслаивается мергелистыми и песчаными прослойками, являющимися частично важными водоносными горизонтами Петрограда, выше носит более чистый характер, лишь изредка включая серии сферосидеритовых стяжений, с кристалликами пирита, сфалерита и галенита в трещинах <sup>1)</sup>. Наконец, в верхних горизонтах, окрашенных в более густо-зеленый цвет, синяя глина носит иногда сильно песчаный характер, отделена линзами и слоями песка, коим она потом в большинстве мест и покрывается.

Детальные исследования этой синей глины нам показывают, что в своем составе она весьма постоянна, но что изменчивость ее цвета обуславливается различным содержанием мельчайшей пыли октаэдров пирита (в среднем около 1%) и зернышек глауконита, временами достигающих 30% всего состава. Осаждаясь, очевидно, в небольших глубинах, илистый кембрийский осадок в качестве минералов диагенеза накапливал в себе глауконит и органогенные элементы в виде гидротроилита и следов фосфатов. Путем дальнейших геохимических процессов часть глауконита разрушилась под влиянием инфильтрованных сверху вод и положила начало конкрециям сферосидерита, а гидротроилит превратила в кристаллики пирита. Повидимому, медленно и сложно шли эти процессы, но более интенсивны они были там, где, как в районе Котлина, рано смыты были все вышележащие горизонты, и воды ледникового покрова могли глубоко проникать в различные горизонты глины. Эти поверх-

<sup>1)</sup> Палеозойский возраст этих образований не доказан.

ностные воды, циркулируя по песчаным прослойкам верхней части толщи, еще сейчас производят огромную геохимическую работу, разлагая пирит, обогащаясь сероводородом и вторично осаждавая в верхних горизонтах кристаллики марказита. Бурные ржавые потеки окислов железа сопровождают выходы источников из этих горизонтов, а скопления травертина местами обнаруживают обогащение подземных растворов бикарбонатом кальция (по р. Тосно).

Не меньше деятельность и двух более глубоких водоносных горизонтов (второго и третьего по *Иностранцеву*), сильно обогащенных NaCl, причем с глубиной их минерализация увеличивается <sup>1)</sup>.

Уже верхние горизонты синей глины обнаруживают обмеление бассейна, и от глины мы переходим к мощной свите песков—унгулитового яруса, весьма однообразного по своему петрографическому составу, но довольно характерного по геохимическим особенностям. Вся мощная толща (до 20 метров) песков сначала пустых, а потом оболочных, носит на себе тоже следы слабых гидрохимических процессов и в общем остается в главной своей части очень слабо цементированной. Представляя собою механические продукты размыва феноскандинавского массива, эти осадки (моё дюжтеб л ы) и прибрежной зоны в верхних горизонтах ряда местностей окрашены в красный цвет гидратами окиси железа, которые составляют в форме, вероятно, гидрогематита цемент кварцевых песчинок, тогда как в нижних частично пропитаны марказитом, образующим, напр., около ст. Поповки, по наблюдениям *В. Миронова*, очень типичные оолиты. В других горизонтах мы встречаемся с бурорыжим цементом, связанным с гидратацией вышеотмеченных слоев, и, наконец, третьи—почти совсем лишены железа, представляя высокоценный кварцевый материал для хрустального производства. Местами заметно катагенетическое цементование песков, реже известково-доломитовым цементом, чаще кремневыми растворами, которые сначала образуют в массе песка мелкие стяжения в виде горошин, разрастание которых и приводит к более полному цементованию всего горизонта. Более внимательное отношение к этому процессу показывает, что он вряд ли связан с привнесением кремневого вещества со стороны, а скорее является в результате частичного растворения кремнезема щелочными углекислыми водами. Кембрийский песчаник довольно неопределенно делится на две части: нижнюю толщу с малым содержанием оболуса и верхнюю, при чем на их границе залегает своеобразный конгломерат с галькой и своеобразными железистыми конкрециями, внешне напоминающими боксит (р. Тосно).

В верхних частях оболочного песчаника мы встречаемся обычно с небольшою прослойкою, обогащенную черными раковинками *Obolus'a*. По анализам *Кундфера* эти раковинки состоят из фторapatита, образующего таким образом довольно большие скопления фторофосфатов, с свыше чем 3% фтора и 36% фосфорной кислоты.

Единственный сколько-нибудь характерный катагенетический процесс наблюдается в верхней части толщи, непосредственно под черным диктионемовым сланцем. Из него в процессе катагенеза проникают соединения сернистого

---

<sup>1)</sup> Ср. стр. 114 при описании миграции Cl.

железа, которое в форме пирита или марказита цементирует верхние горизонты песков, образуя очень характерную породу — песчаник с колчедановым цементом и черными обломками створок оболуса.

Прибрежная зона песчаных отложений сменяется черною углистою прослойкою диктионемового сланца разной, но в общем небольшой мощности (не свыше 1—1½ метров). Эта прослойка разделяет пески унгулитовые от песков, богатых глауконитом, и, повидимому, намечает собою условия довольно глубокого открытого моря, на дне которого могли накапливаться органические животные остатки. В илистой массе, обогащенной аммиаком и сероводородом, в процессе диагенеза выростали конкреции антраконита с одной стороны и колчедана—с другой. Первые в своем радиально-лучистом строении намечают рост кристаллов кальцита, радиально обогащенных углистым веществом; в центре нередко находятся скопления пирита или пустоты, выстланные кальцитом, реже сплошным доломитом. Интересно отметить, что эти крупные диагенетические образования частично замещаются при последующих процессах (катагенетических?) доломитом, причем кальцит выносится, оставляя иногда пустые полости или скопления бурых железистых соединений.

Одновременно с этим идет и накопление конкреций колчедана—пирита, образующего красивые друзы кристаллов. Его окисление на поверхности в процессах гипергенеза вызывает целый генетический цикл минеральных образований, придающих этому горизонту некоторый минералогический интерес. Самыми обычными продуктами распада пирита является накопление кристалликов гипса в виде пластинок и плоских звезд, покрывающих плоскости тонких трещинок, разделяющих сланцы на тонкие листочки.

Мелантерит сравнительно редко наблюдается в этих процессах окисления; насколько мне известно, никогда не наблюдалось самородной серы, хотя ошибочно ее показывали очень многие авторы; за то очень типичны и сложны окисные сульфаты, которые в довольно значительных количествах накапливаются по трещинам в виде чижево-желтых, канареечно-желтых и буровато-красных образований неясного кристаллического строения. Значительная часть их при выветривании переходит в лимонит; отсутствие химических анализов не позволяет точнее определить их минералогическую природу.

Резко и очень определенно отделяется диктионемовый сланец от выше лежащей глауконитовой толщи; иногда глауконитовый песок непосредственно налегает на сланец, в других случаях он отделяется или глауконитовой зоной с ржавыми пятнами окисленного пирита, или резко обособленной красною охристою тоненькою прослоечкою, к сожалению до настоящего времени еще не изученною, хотя очень резко бросающеюся в глаза в районе Ямбурга и Копорья. Весьма вероятно, что эта прослоечка позднейшего образования представляет продукты осаждения тех вод, которые инфильтруются через пески и образуют на поверхности сланца водоносный горизонт, из коего иногда в местах выхода осаждаются известковый туф.

Несомненно, что глауконитовые пески знаменуют собою очень быстрое обмеление бассейна; в этих песках, с огромным содержанием глауконита, содержащего до 20%  $FeO + Fe_2O_3$ , до 8%  $K_2O$ , и до 4%  $MgO$ , мы видим огром-

ное первичное накопление железа и калия <sup>1)</sup>, этих двух важных органических элементов, к которым в качестве такого же первичного образования присоединяется сера в форме мельчайших кристалликов пирита, примешанных к глауконитовым зернам.

В общем глауконит сохраняет свежесть и свой первоначальный состав, хотя в некоторых горизонтах мы наблюдаем процессы его изменения: обычно это изменение заключается в окислении тех немногих процентов закиси железа, которые в нем содержатся, и в выносе окиси, отлагающейся нередко при этом или в трещинах самих зерен, или же вне их; с внешней стороны эти процессы сказываются в постепенной замене ярко-зеленого цвета глауконита сине-зеленым с отчетливым синеваато-серым тоном, а затем в появлении зеленых и бурых тонов, кончающихся темно-бурым и шоколадным.

Среди всей нижней толщи песков с геохимической точки зрения являются очень интересными редкие скопления асфальта, ближе не изученные, и затем своеобразные пустоты в строго определенном горизонте (около 60 сант. над диктионемовым сланцем) с кальцитом, медными окислами и синеваатым баритом. Хотя до сих пор совершенно ничтожны эти минералогические находки, тем не менее с геохимической точки зрения они представляют большой интерес.

Постепенно в смене геологических процессов море углублялось, и не без перерыва или не без задержек в минералообразовании песчанистые отложения стали сменяться известковыми. Постепенно падает количество глауконитовых зернышек, лишь изредка в выше лежащих горизонтах попадаются фосфорнокислые и углекислые стяжения с содержанием битумов и остатками трилобитов внутри, как бы намечающие собою особые моменты массовой гибели организмов. К востоку эти известняки все более и более обогащаются магнием, тогда как на западе сохраняют свой нормальный состав.

Это углубление моря на востоке продолжается дальше, сменяясь, не без какого-то несогласия, ортоцератитовым горизонтом, тогда как на западе эта смена отложений очень резко выявляется перерывом в минералообразовании. Этот горизонт на востоке составляет в общем верхний край обрыва глинта.

Глубокое ортоцератитовое море приносит с собою ряд новых геохимических явлений, и было-бы весьма благодарною задачею более детально изучить те процессы, которые еще и ныне в явлениях катагенеза видоизменяют и перекристаллизовывают его верхние горизонты.

В самых нижних горизонтах—в областях моря, в которых еще отлагались редкие зернышки глауконита, мы встречаемся с нижним чечевичным слоем—из сферосидеритовых стяжений скорлуповатого и радиально-лучистого строения; содержание в них до 3% фосфорной кислоты совершенно определенно приводит их в связь с органическими процессами <sup>2)</sup>; об этом же говорят редкие

<sup>1)</sup> Средний состав глауконитов района:  $\text{SiO}_2$ —51;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ —10;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ —16;  $\text{FeO}$ —4;  $\text{MgO}$ —4;  $\text{CaO}$ —0,2;  $\text{K}_2\text{O}$ —8;  $\text{Na}_2\text{O}$ —0,2;  $\text{H}_2\text{O}$ —6,6. Сумма 100.

<sup>2)</sup> Очень интересно сравнение этих образований с совершенно аналогичными чечевичными рудами Чехии, связанными с нижним силуром. Для них детальные исследования *Славика* установили образование в период диагенеза. См. *Fr. Slavik. Der Phosphorgehalt d. Eisenerze in böhm. Untersilur. „Bergbau u. Hütte. 1918. № 5. L. Slavikova et F. Slavik. Etude sur les minerais du fer du sil. inf. de la Bohême. Bull. Intern. Acad. Sc. Bohême. 1918. XXII.*

черные фосфориты, рассеянные на западе по всей толще известняка, или-же с блестящею поверхностью, сгруженные вместе в основании горизонта; об этом же говорят и редкие углисто-асфальтовые включения, намечающие собою обмеление моря в конце отложений.

Эти сильно трещиноватые породы с ясно выраженными водоносными горизонтами являются областью резких катагенетических реакций, совершенно понятных, если мы вспомним, что только небольшой слой трещиноватых эхиносферитовых известняков отделяет их от воздействия тех процессов частью материкового, частью озерного характера, кои типичны для девонского времени в этих местах. Этим катагенетическим воздействием инфильтрованных сверху растворов мы объясняем более обычное нахождение в этих горизонтах барита (в друзах кальцита Ревеля), галенита, сфалерита и соединений меди, обычно связанных с медьсодержащими пиритами. В некоторых случаях, как, например, по р. Волхову, это позднейшее проникание медных соединений вместе с карманами девонской глины является вполне доказанным.

Особенно характерными катагенетическими реакциями является новообразование мельчайших кристалликов, преимущественно, калиевого полевого шпата, а также перекристаллизация этих известняков с обогащением магнием (особенно в верхних горизонтах и, в частности, в восточных частях отложений) и образованием многочисленных полостей, пустот и трещинок, выстланных тоненькою корочкою доломита и кристаллами кальцита.

Аналогичное катагенетическое изменение (тоже без следов окремнения) мы встречаем при характеристике выше лежащего эхиносферитового горизонта, очень бедного минералами, лишь с отдельными кристалликами кальцита и изредка линзами асфальтоподобного вещества и прослойками кукурсита в верхней толще. Отделяясь снизу, аналогично ортоцератитовому ярусу, прослоечкою небольших стяжений почти совершенно окисленного сферосидерита, называемую верхним чечевичным слоем, этот горизонт представляет отложения глубокого моря, сменившегося позднее на востоке материком.

В то время, как на востоке новый материк обусловил собою начало катагенеза ниже лежащих отложений, более или менее глубокое море продолжало на западе покрывать старые известковые осадки и в смене фаун продолжало отлагать известняки целого ряда отложений кукурского и иевского яруса и целой свиты эстляндских известковых слоев нижнего силура и целого ряда мощных горизонтов верхнего. В мелких морских лагунах и заливах кукурского моря отлагались мощные скопления водорослей, давшие начало *кукурситу*—глинистому горючему сланцу с большим содержанием органического вещества, но почти лишенному серы и фосфора. Частично повторялись эти отложения и в выше лежащих иевских известняках, сходных с кукурскими и столь-же бедных какими-либо минеральными образованиями.

Несколько больше разнообразия в геохимическом отношении приносят с собою эстляндские нижнесилурийские слои, носящие местами более мелководный характер с мергелистыми известняками, частью включающими кремень в качестве диагенетического продукта. В трещинах катагенетического характера мы наблюдаем кальцит, кварц, изредка галенит, малахит, азурит (по Нарове) и пирит.

Значительно более интересными являются в геохимическом отношении выше лежащие слои пентамерового яруса, великолепно изученного химически Дерптскими учеными. Известняки и доломиты этого горизонта отличаются или серым или желтым тоном, причем причиною окраски первых является примесь мельчайших кристалликов пирита и углеродистого вещества. Вместе с этим пиритом и кремнь, часто заключенный в форме больших конкреций в этих известняках, можно отнести к процессам диагенеза, тогда как кристаллики доломита, кварца, халцедон, пирит, кальцит и галенит являются типичными минералами катагенеза, Особенно любопытным, хотя и загадочным, остается нахождение здесь довольно больших скоплений галенита, образовавшего неправильные гнезда вместе с железистой охрой, явившейся предметом добычи в XVIII веке и горно-технической разведки позднее (в 1802 г. и в 1855 г.).

Приблизительно ту же геохимическую картину мельчающего, но все еще довольно глубокого бассейна дают нам и нижние, и верхние эзельские слои, лишенные, однако, тех тяжелых металлов, о которых говорилось выше.

Наступило девонское море. На востоке его известково-мергелистые отложения (средних горизонтов) покрыли непосредственно ехиносферитовые известняки, и длинный континентальный период разделил на востоке эти две эпохи морских отложений. Не то было на западе, где верхнесилурийское море без перерыва сменилось мощною серией мелководных осадков—прибрежных песков древнего красного лежня.

Пеструю свитую лежат перед нами пески с большим содержанием полевого шпата, роговых обманок и измененного в бауерит биотита,—продуктов размыва феноскандинавского массива. К этим чисто механическим осадкам почти не присоединялись химические отложения, и только постепенно путем местных трансгрессий с ними стали переслаиваться слои мергелей и известняков. Никаких химических процессов не обнаруживается в этой толще, и при катагенезе и гипергенезе только немногие верхние слои цементируются углекислую известью или доломитом.

Постепенная трансгрессия заливает эту область среднедевонским морем, и в отдельных озерах с насыщенными солями, лиманах и заливах происходит осаждение той серии осадков, кои мы относим к среднему девону: доломиты, доломитовые мергеля, отпечатки кристаллов каменной соли, гипсы и известняки обнаруживают перед нами типичную картину пустынного осаднения солей из мелководных бассейнов, обрамленных песками по берегам древнего песчаника. Местами слои гипсов должны были переслаиваться с отложениями каменной соли, по большей части лишь пропитывавшей глинистые слои, и мы сейчас судим о них по вытекающим минеральным источникам, например, в Старой Руссе и ряде других мест северо-запада России.

Весь генетический цикл тех химических элементов, которые сопутствуют современным минеральным озерам, повторяются и тут, и подобно другим мощным отложениям гипса мы встречаем и здесь редкие образования целестина и барита.

Характерно повторяется здесь генетический цикл и других гипсовых бас-

сейнов—в тех редких скоплениях асфальта, которые иногда отмечались по р. Двине.

Наконец, как и в ряде ниже лежащих слоев, мы встречаемся с рядом небольших находок тяжелых металлов — галенита и очень редкого медьсодержащего колчедана.

В процессе катагенеза мы не наблюдаем здесь сколько-нибудь серьезных химических преобразований, и, если частично здесь идут процессы обогащения магнием, то в главной своей части доломиты должны быть признаны за образования диагенетического характера. Очень любопытно, согласно *Розену*, новообразование в доломитах кристаллов полевого шпата и слюды, повидимому, магнезиальной. С этим катагенетическим образованием алюмосиликатов мы встречаемся еще в целом ряде пунктов Европ. России, каждый раз в связи с перегруппировкой мергелистых доломитов.

Если здесь мы таким образом встречаемся с ничтожными процессами катагенеза, то за то процессы гипергенеза, идущие еще в настоящий момент, заметно преобразуют эти отложения. Воды выщелачивают из них сернокислые соли магнезии и кальция, хлористый натрий. Частично идет восстановление серобактериями сернокислых соединений в сероводород, разложение которого на поверхности приводит к образованию налетов мелкокристаллической серы (серного цвета).

Равным образом накапливаются здесь выцветы магнезиального сульфата—эпсомита, очевидно, образующегося при воздействии растворов гипса на доломиты.

Озерные отложения сменяются снова прибрежными песчанистыми отложениями верхнего девона, и море надолго покидает большую часть района, чтобы превратить всю область в материк.

С этого момента до настоящего времени большая часть северо-запада России остается материком: ледниковая эпоха сглаживает лишь его поверхность и покрывает своими отложениями, частично заливаются края осадков послеледниковыми, новейшими морями, а размывные линии глинта подготавливают современные границы морей, озер и материков.

Мало геохимических процессов оставил по себе этот длинный континентальный период, и сравнительно ничтожны были вызванные им изменения в составе пород.

Не обнаруживаются геохимических результатов образования глинта и той зоны опускания, которая озерною областью отделила русскую платформу феноскандинавского щита.

Наконец, нам остается еще описать те химические процессы, которые идут на наших глазах в настоящее время, продолжая или заканчивая генетические циклы послеледниковой эпохи. Привлекает прежде всего наше внимание Балтийское море с его Финским заливом, размывом феноскандинавского массива и илистыми выносами Невы. В небольших глубинах (до 30 метров) Финского залива, на обломках гранита и гнейса, в ряде мест (около Ревеля, Биорке и др.) драги русских миноносцев приносили с собою железо-марганцевые конкреции в форме плоских пяточков слоистой структуры, окружающих обломки гранито-гнейса. Эти желваки, известные у моряков под именем исаги, напоминают

скопления аналогичных конкреций в Ледовитом океане (*Норденшильд*); сейчас они изучены *Я. Самойловым* <sup>1)</sup>; повидимому, их образование идет в небольших глубинах, но все же недоступных для поверхностной морской волны. И в противоположность этим более глубоким осадкам идет своеобразное накопление целебной черной грязи в тихих, замкнутых заливах западных берегов Эстонии и ее островов: исследования *Гебеля* показали, что здесь, в условиях накопления органических остатков, идут мощные процессы биохимического характера, совершенно тождественные с отложениями озер и лиманов юга России, с накоплением гидратов сернистого железа, медленно путем диагенеза превращающегося в пирит.

Не менее сложную картину геохимических процессов рисуют и накопления сапропелей или отложения в торфяниках, в большом количестве рассеянных по подзолистой почве севера. Среди обычных процессов накопления сфагнома и связанных с ним бобовых и болотных руд, редких фосфатов (вивианита) и еще более редких сернистых соединений (пирита) наше внимание в районе привлекает своеобразный продукт, носящий название у немцев *Wiesenkalk*, у нас в технических кругах—гажи; это известковый туф, образующийся в самих торфяниках или болотах путем поглощения водорослями свободной угольной кислоты вытекающих из известняков источников или накопления некоторых пресноводных раковин. В виде известкового туфа <sup>2)</sup> он образуется по склонам обнажений водоносных горизонтов, рисуя перед нами цикл почвенных вод, легко проникающих в трещиноватые известняки карстового ландшафта и растворяющих по дороге углекислый кальций.

Такие-же образования известны в качестве цемента галек и местами носят очень серьезный характер важного геохимического процесса.

В небольших размерах идет и накопление трепела жизнедеятельностью диатомовых водорослей, отмеченное в целом горизонте песков по реке Нарове (у дер. Смолки).

Продолжается и деятельность минеральных источников то слабо минерализованных, то очень богатых растворимыми солями. Одни вытекают из песчаных горизонтов над синей глиной, обогащенные сероводородом; они выделяются своими железистыми осадками и мощным образованием углекислого туфа, образующего в некоторых местах большие скопления (по р. Тосно). Другие обнаруживаются глубокими бурениями в Петроградской области и приносят с собою слабую минерализацию галоидных солей. Наконец, самые интересные—это источники, вытекающие из девонских отложений, богатых гипсом, которые приносят с собою сероводород, а в известных Старо-русских рассолах—хлористые натрий, калий и кальций, сернокислый кальций, бромистые соли и ряд небольших количеств кремнезема, фосфорной кислоты и карбонатов.

Сложные процессы идут в почвенном покрове, преобразующем ледниковые

<sup>1)</sup> *Я. Самойлов* обнаружил в них следы Ni, Cu, Ba.

<sup>2)</sup> Весьма любопытна, но геохимически не выяснена способность этих образований твердеть на воздухе (напоминая затвердевание римских травертинов), что особенно характерно для айона Гатчины и Ропши.

наносы или отложения послеледниковых морей и озер, видоизменяясь в зависимости от петрографического характера подстилаемых коренных пород.

Такова геохимическая картина северных окраин русской платформы. Только в самом восточном уголке, как было указано в геологической части, мы наблюдаем совершенно обособленное поле пермских, юрских, меловых и отчасти третичных отложений; первые представлены известняками цехштейна с колчеданом и редким халькопиритом, в юрских отмечаются угли с пиритом и сернистым цинком, меловые мергеля содержат кремний, фосфориты, глауконит, а в третичных (олигоценых) наблюдается бурый уголь, янтарь в пластичных глинах.

Общего геохимического значения эти маленькие островки иметь не могут и в деталях строения геохимического горизонтов они совершенно тождественны с соответствующими отложениями других частей русской платформы.

### Общее заключение.

На основании сказанного можно подойти к характеристике геохимии изученного района в виде нижеследующих пунктов:

1. В отложениях кембросилура и девона северо-запада России мы совершенно не встречаемся с явлениями вулканического, поствулканического или посторогенетического характера.

2. Преобладающим типом минералообразовательных процессов является образование сингенетического или еще более диагенетического характера, связанное с отложениями в разных условиях из морских бассейнов или сильно минерализованных лагун или озер.

3. Процессы катагенетического характера во всей толще носят очень слабо выраженный характер, при чем очень мало значения имеют химические реакции, связанные с обменом веществ между отдельными горизонтами.

4. Особый минеральный тип представляют геохимические образования, связанные с резким регрессивным или трансгрессивным движениями водных бассейнов. Регрессивные движения характеризуются накоплением глауконита, трансгрессивные — скоплениями фосфорита и известковых глубоководных пород. Предположенные здесь в нижних горизонтах частые трансгрессии не находят себе оправдания в геохимических особенностях области и скорее являются глубоководными перерывами породообразования.

5. Геохимическая ассоциация элементов довольно сложна, слагаясь из элементов органогенного цикла, цикла минеральных озер и загадочных сернистых соединений тяжелых металлов. Генезис последних не выяснен, хотя и есть основание связывать их с моментами материковых перерывов и инфильтрацией соединений, особенно из девонских отложений или в течение девонского времени (Каледонские образования?).

6. Нет никаких геохимических процессов, которые видимым образом могли бы быть поставлены в связь с дисъюнктивными дислокациями, с севера ограничивающими кембросилура от феноскандинавского массива.

7. Геохимическая характеристика области, благодаря работам Юрьевской школы, может быть сделана весьма детально и, если и нуждается сейчас в

углублении и обосновании некоторых положений, то вообще вряд ли может дать много нового и сколько-нибудь существенно пополнить геохимическую ассоциацию известных здесь элементов.

8. В первом приближении процессы минералообразования распадаются на три группы: в первые эпохи преобладают явления механического характера (кембрий и нижний силур), в середине периода начинают преобладать биохимические реакции, и, наконец, для девона мы имеем широкое развитие процессов чисто физико-химического характера.

## ГЛАВНЕЙШАЯ ЛИТЕРАТУРА.

### По геологии.

1. *Jeremejew*. Geognost. Beobachtung. Wolchow. Verh. Miner. Gesellsch. 1856. 63.
2. *F. Schmidt*. Untersuch. u. silurische Format. Archiv f. Naturkunde Liv—Esth—Kurland. (Ser. I.) II. 1858. 1—249, особенно 32.
3. *H. Struve*. Die Artesischen Wasser. Mem. Acad. Sc. Spb. 1865. VIII. (Serie VII). № 11.
4. *И. Бок*. Геогност. описание нижнесилур. и девонской сист. СПб. Мат. Геол. России. 1869. I. 103.
5. *Н. Кудрявцев и Лебедев*. Геологич. описание окр. Красн. и Царского Села. Труды СПб. Общ. Естеств. 1882. XII. 125.
6. *А. Карпинский*. Zur geologie Gouv. Pscow. Bull. Acad. Sc. XXXI № 4, 1887. 473.
7. *А. Карпинский*. О кембросилурийских отлож. Псковской губ. Горн. журн. 1887. II. 261—270.
8. *F. Schmidt*. Kurze Uebersicht d. geolog. Umgeb. v. Petersburg. Guide du Congrès géolog. Spb. 1897. XXXIV. См. также XII.
9. *В. Ламанский*. Древнейшие слои силур. отлож. России. Труды Геолог. комит. 1905. XX.
10. *А. Иностранцев*. Вода и почвы Петерб. СПб. 1910.
11. *Б. Райков*. Геолог. экскурсии в окр. Петрограда. СПб. 1911.
12. *Н. Погребов*. О результатах гидрогеологических исследований в С.-Петербурге. Труды II Съезда Практ. геол. СПб. 1913, стр. 60.

### По минералогии и геохимии.

13. *I. Georgi*. Versuch einer Beschreib. Petersb. Gouvern. 1790 Spb. 7,51 (медь близ Дудергофа).
14. *Вансович*. Горн. Журн. 1827 кн. 8. 47—48. См. также 1828. IX. 3 (галенит в Прибалтийском крае).
15. *Г. Гельмерсен*. Горн. журн. 1842. IV. 210. (Медь по р. Волхову и р. Поповке).
16. *Strangways*. Schriften Mineral. Gesellsch. 1842. I. 1—90 (стр. 18, 42 о соединениях меди и свинца).
17. *Еремеев*. Горный журнал 1855. I. 313.
18. *S. Kutorga*. Verh. Mineral. Gesellsch. 1856. 242 (медь под Петр.). Там-же *Oversky* (о галените в Лифляндии).

19. *G. v. Helmersen*. Vorkommen v. Asphalt silur., Format. Bull. mathem. Acad. Sc. Pétersb. 1856. XIV. № 14 p. 214.
20. *G. Schrenck*. Uebers. d. ob. silur. Schichtensystem. Archiv. f. Naturkunde Liv—Esth... land. (Ser. 1). 1857. I. 1—112.
21. *A. Goebel*. Ueber die Färbung d. Dolomiten. *ibidem*. I. 239—292.
22. *C. Schmidt*. Die untersilur. Thone... *ibidem*. I. 507.
23. *Lemberg*. Chemische Unters. unterdevon. Profil. Archiv f. die Naturkunde (Ser. 1) III. 1859. 85.
24. *C. Grewingk*. Geologie v. Liv.—Kurland. Devon. *ibidem*. 1861. II. 479 (химич. состав девонск. отл.).
25. *F. Rosen*. Die chem. geognostischen Verhältnisse der devon. Formation. *ibidem*. 1864. III. 105.
26. *G. v. Helmersen*. Bull. Acad. Sc. Petersb. 1864. (V). IV. (минер. в скважине Экспед. Загот. Гос. бумаг).
27. *A. Kupffer*. Ueber die chem. Constit. d. baltisch. silur. Schichten. Archiv f. Naturkunde. 1870. V. 113.
28. *А. Карпунский*. Горн. Журнал. 1876. I. 173 (соль в Псковской губ.) Горн. Журн. 1887. II. 261 (медь у Холма).
29. *C. Grewingk*. Sitzungsber. Naturf. Ges. Dorpat. 1889. VIII. 45 (сводка минералов), 83 (дополн.).
30. *B. Doss*. Ueb. d. Limanschlamme d. S. Russlands sowie analoge Bildung in Ostseeprovinz. Korrespondenzbl. Naturf. Verein zu Riga. 1900. XLIII. 213. (там-же стр. 162 о битумах).
31. *К. Глинка*. О залежах гипса в Псковском уезде. Псков. 1901. 1—12. (Отд. брошюра).
32. *W. Deescke*. Die Südbalt. Sedimente in ihrem Zusammenhange m. d. Scand. Schilde. Centralbl. f. Min. 1905. 97—109.
33. *F. Ludwig*. Die Küstenseen d. Rigaer Meerbusens. Arbeiten d. Naturf. Vereins zu Riga. N. F. Heft. 11. 1908.
34. *Н. Погребов*. Труды СПб. Общ. Естествоисп. 1912. XLIII. 56.
35. *А. Иностранцев*. Геологич. строение о-ва Котлина. Труды СПб. Общ. Ест. 1912. XXXV. 245.
36. *B. Doss*. Ein Vorkommen v. Grahamit im Silurkalk v. Kunda. Centralbl. f. Min. 1914. 609.
37. *Н. Погребов*. О находке асфальтообр. минерала в силуре Эстл. губ. Геолог. Вестн. 1916. II. 143.
38. *А. Ферсман* и его сотрудники. О глауконитовых глинах Петроградск. уезда. Труды ком. Сырья. 1915—1916. I—III.
39. *П. Землячченский*. Фельдшпатизация известняков. Изв. Ак. Наук. 1916. 101.
40. *Е. Костылева*. Барит в силур. отложениях по р. Поповке. Изв. Академии Наук (в печати).
41. *Е. Костылева*. Отчет о поездке на р. Волхов (в печати).
42. *Я. Самойлов* и *А. Титов*. Железомарг. желваки со дна Черного и др. морей. Труды Геолог. и Минер. Музея Академии Наук. 1919. III. 27. (1922).

# Область третья.

## Московский каменноугольный бассейн

(с краткою характеристикою мезозойских геохимических циклов Центральной России).

„История земли не только должна разгадать историю происхождения растений и животных, но и мир мертвых пород пронизать живительной идеей геветнки“.

*Вальтер.* 1893.

### Границы района.

Границы района определяются на западе и севере сравнительно хорошо, тогда как на юге и востоке их проведение крайне искусственно, что объясняется общею геологическою историею Центральной России. Восточная граница определяется границею каменноугольных отложений <sup>1)</sup> и проходит приблизительно от Архангельска по прямой линии на Новгород (несколько восточнее), затем в меридиональном направлении несколько восточнее Смоленска и затем, с юга огибая бассейн,—на Орел—Мценск и далее Елец, Липецк, Козлов. От Козлова она идет на север в меридиональном направлении на Касимов, Владимир, огибая с востока и запада Костромскую губернию, на Вологду и прямо на север к Архангельску. Таким образом вобщем восточную границу, начиная с Касимова, может служить граница пермских отложений, но с резким введением на востоке Костромской губернии по линии Владимир—Юрьевец—Ветлуга—Солигалич—Вологда.

С точки зрения административных границ в район входят: очень небольшая часть Архангельской губ., южные и восточные уезды Олонецкой и Новгородской губ., почти вся Костромская губ. без восточной части Ветлужского края, полностью губернии Тверская, Московская, Рязанская (почти вся), Тульская, Калужская, Смоленская, южные и западные уезды Ярославской губ., западная половина Владимирской губ.; самые незначительные участки касаются северных уездов губерний Тамбовской и Орловской (Липецк).

---

<sup>1)</sup> Как выше было отмечено, метаморфизованные части известняков и доломитов в районе Онежского озера включены в описание первого района, хотя каменноугольный возраст их предполагается некоторыми русскими геологами и отмечен на картах *А. Карпинского* (в противоположность мнению финляндской школы; см. стр. 103).

## Геология всей области.

Как видно из геологической карты, каменноугольная область представляется в виде центрального бассейна с двумя крыльями, отходящими к северо-востоку. Первое, самое длинное, доходит до Архангельска, второе, много меньшее, образует бухточку к востоку по направлению к Вятке. Такое неправильное строение объясняется наложением здесь двух совершенно разнородных с геохимической и петрографической точки зрения явлений, отделенных большим промежутком времени: отложениями верхнего девона и каменноугольной эпохи и затем, после континентального перерыва, отложениями юры и мела. Оба эти хронологически обособленных процесса отличаются очень резко геохимически. Более глубокое море каменноугольное представлено в подавляющей части известняками, лишь в нижних горизонтах давая картину прибрежных лагунных отложений, тогда как юрскомеловые моря этой области носят характер илистых мелководных осадков небольших водоемов, сильно менявшихся в своей конфигурации во времени. Но при всем резком различии этих двух осадочных серий мы не можем их достаточно резко отделить и топографически, и геохимически, так как именно это сочетание глинистых песчаных слоев наверху и известковых внизу создает ряд разнообразных минералообразовательных процессов, к которым еще присоединяется влияние и больших масс ледниковых глин, песков и суглинков. Поэтому в центральном районе юра и мел, покрывая собою каменноугольные известняки, обуславливают в последние течение ряда новых для них реакций.

В дальнейшем я разобью свое описание на две главы, отдельно касающиеся каждой из указанных групп.

### А. Палеозойские отложения.

#### Геология.

Каменноугольные отложения Центральной России покоятся на отложениях девона, которые в северо-западной части носят характер мелководных прибрежных отложений, с глинами и песчаниками, а в юго-восточной части более глубоких морских осадков—мергелей и известняков, образующих переходный горизонт к каменноугольным. Временное отступление моря привело сначала к прибрежным лагунным осадкам песков и глин, но затем, под влиянием каменноугольной трансгрессии, они сменились более глубокими осадками горного известняка (наверху Серпуховским ярусом), на который легла мощная свита отложений Московского и Гжельского ярусов. Здесь перед нами рисуется толща известняков, переслаивающихся с доломитами, мергелями, а в верхних частях и с глинами.

Долгий континентальный период пермского и триасового времени отделяет эти отложения от того неравномерного покрова юрских и меловых слоев, тех неглубоких и менявшихся морских бассейнов, которые отлагали илистые осадки, пески и глины с богатыми продуктами гниения и распада организмов как животных, так и растительных. Только на востоке в сухом континентальном

климате пермотриаса между юрою и карбоном вклиниваются пресноводные песчанистые и глинистые слои татарского яруса

В этой картине спокойных трансгрессивных и регрессивных движения береговых линий и спокойных смен глубокого моря мелководными бассейнами или невысокими берегами материков никакие явления магматического или тектонического характера не нарушают течения минералообразовательных процессов и миграции элементов, и лишь один момент привлекает особое внимание, найдя в *Карпинской* своего истолкователя: это момент перехода от отложения Серпуховского к Московскому ярусу. *Карпинский* подчеркивает, что он характеризуется каким-то перерывом, наличием явно выраженных тектонических процессов в западной части, у берегов каменноугольного моря, и вместе с тем отмечает, что хронологически эти явления в центральной России совпадают с аналогичными нарушениями на севере, излиянием щелочных магм на юге и усиленную горообразовательную и эффузивную деятельность на востоке в области позднее образовавшегося Урала<sup>1)</sup>.

Таким образом, мы видим картину относительно спокойной платформы, на которой идут отложения осадков морей, на севере еще идет размыв высот феноскандинавского массива, еще вероятно покрытого эопалеозойскими осадками, по южному краю которого мы можем допустить ряд (?) новых магматических излияний и тектонических сбросов. Глубокое море простирается к востоку, где во вторую половину карбона на месте отдельных островов начинается поднятие мощного Уральского хребта, а на юге сбросы и складки сжимают широкую полосу вдоль герцинской линии древних Алтаид, давая выход по линиям сбросов и осей складок ряду изверженных пород и горячих рудных растворов таким образом, по периферии спокойного моря идут сложные горообразовательные и минералогенетические процессы, и неизбежно их влияние и ими выносимые химические элементы отражались на судьбах химических процессов этого бассейна. Эта характеристика имеет огромное значение для геохимической оценки каменноугольных отложений России, специфические особенности коих будут понятны после детального сравнительного изучения одновременных с ними отложений Урала и Донецкого бассейна (см дальше).

### Минералы каменноугольных отложений.

Минералы палеозойских отложений центральной России и его крыльев изучены сравнительно недурно, главным образом благодаря работам последних десяти лет Московской школы минералогов и затем тем исследованиям практического характера, которые предпринимались, с одной стороны, в угленосных областях, с другой—при изучении залежей фосфоритов.

Из самородных элементов за исключением обычных газов атмосферы нам неизвестно ни одного вида, хотя не исключена возможность нахождения самородной серы при процессах окисления колчеданов.

<sup>1)</sup> Я не говорю о других более мелких тектонических процессах, сведенных в книге *А Карпинского* (Очерки геолог прошлого Евр России 1919 123), часть которых приурочена к границам с феноскандинавским щитом; в общем их геохимическое значение пока ускользает от нашего внимания

Из сернистых—огромную роль играет только колчедан (пирит, в значительно меньшей мере марказит); далее следует образующийся при их распаде  $H_2S$  и сульфиды тяжелых металлов (Zn, Pb, Cu) в ничтожных количествах (Боровичи).

Из окислов обращают на себя внимание три группы: окислы алюминия, железа и кремния. В первой группе отметим шанявскит (коллоидальный гидрат глинозема), диаспор, гидраргиллит, боксит, во второй—лимонит, гематит, гидрогетит и гидрогематит; сюда же относятся мало изученные охры этой области, часть коих, вероятно, должна быть отнесена к ферро-силикатам; в третьей—кварц, дымчатый кварц, аметист, цитрин, халцедон, агат, сердолик, полуопал, кремь; кроме того, гидраты марганца и марганцевые окислы неопределенного состава.

Из силикатов, кроме каолина, известны только палыгорскит, мусковит (новообразование?) и кристаллики ортоклаза и микроклина (см. далее стр. 156). Что-же касается до аллофана и аллофаноидов, то может быть правильнее относить их к гидрогелям окислов алюминия и кремния.

Из фосфатов—ничтожные следы бераунита, из сульфатов—гипс, разнообразные, ближе не определенные сульфаты окиси железа и мелантерит.

Очень богато представлены карбонаты—доломит, сферосидерит (анкерит?), кальцит (известковый шпат, оолиты известковые, известковый туф, известняк, так называемый мрамор), арагонит.

Из галлоидных соединений отметим только ратовкит, а из соединений углерода—уголь нескольких типов.

Мы видим таким образом, что разнообразие минеральных видов очень не велико, и что большинство известных минералов принадлежит к окисленным соединениям. По всему минеральному комплексу пород трудно сейчас ожидать большого пополнения этого списка.

Количественно многие из соединений образуют очень крупные скопления, имеющие практическое значение и разрабатывающиеся, таковы: кварцевый песок, уголь, железный колчедан, огнеупорные и гончарные глины, железные руды (бурый железняк, сферосидерит), доломит, известняк, мрамор и в будущем может быть боксит.

### **Генетические типы палеозойской свиты Центральной России.**

В общем геохимические процессы этой области довольно просты, так как в них совершенно отсутствует целый ряд генетических циклов: магма и ее поствулканические действия, гидротермальные процессы разных типов, глубинный метаморфизм давления, посторогенетические явления и т. д.

В сущности мы во всех процессах минералообразования видим прежде всего явления первичного осаждения, синхронического или диагенетического, с одной стороны, и катагенетического, с другой. Провести, однако, резкую разницу между этими двумя типами химических явлений затруднительно, равным образом невозможно точное проведение границы между типично катагенетическими явлениями и процессами гипергенеза—современного воздействия атмосферы и биосферы. Такая невозможность разделения объясняется тем, что

по своему характеру катагенетические явления продолжают и ныне, при современной физико-химической обстановке. Более подробное описание самих процессов дается ниже на стр. 153.

Несколько иной характер приобретают минералообразовательные процессы в северном крыле каменноугольного бассейна, если только действительно Олонецкие известняки и доломиты надо рассматривать, как часть каменноугольного бассейна. Здесь известняки, по мнению *Борисова*, подверглись следам метаморфизации под влиянием близких выходов изверженных пород и вызванной ими перекристаллизации, благодаря чему окремнение и доломитизация усиливались по направлению к северу и делались более интенсивными.

На таблицах мною отмечены перерывы в напластовании, причем к таковым мною, по *Карпинскому*, отнесено и некоторое несогласие в налегании Московского яруса над Серпуховским.

Распределение минералов по трем генетическим группам (син-, ката- и гипергенеза) мною проведено частью по данным *Никитина*, но главным образом по собственным наблюдениям в Подмосковном и Боровичском районах.

В графе „порода“ в списках минералов поставлены цифры (напр. ратовкит 1—3), что обозначает, что ратовкит связан с породами, при которых стоят эти-же цифры (1—3), т. е. известняки, красные глины и известняки.

### Элементы палеозойских отложений.

Как видно из прилагаемой таблицы, в каменноугольных и верхнедевонских горизонтах Центральной России принимают участие всего лишь 24 элемента, по сравнению с таблицей V на особом листе дающие такое отношение групп: 1 : 0,4 : 11 : 0,9<sup>1)</sup>. Это соотношение прекрасно показывает огромное преобладание элементов обычного поля, с очень слабым развитием кислого и почти одинаковым присутствием элементов основных и глубинных. Для пород осадочного характера очень значительным является последнее число, показывающее совершенно необычное нахождение тяжелых металлов. Очень интересно сравнение этой таблицы с геохимической ассоциацией южной герцинской полосы или рудных элементов Урала, обнаруживающих значительную аналогию. Еще разительнее будет аналогия, если мы сравним эту ассоциацию с ассоциацией одновременных по образованию рудных полей Гарца и отчасти Фрейбергского района. Подробнее об этом в заключительной главе к 1-му тому.

Есть, однако, в этой ассоциации и ряд очень характерных черт, мало обычных и, потому, весьма резко бросающихся в глаза: роль титана, с одной стороны, и фтора, с другой, ничтожная роль фосфора и марганца. В общем мы можем характеризовать всю ассоциацию, как преобладание элементов органического происхождения (биохимических).

Водород.

Для него мы имеем соединения:  $H_2O$ ,  $H_2S$  и органическая часть угля. Никаких особенностей в истории этого элемента мы не наблюдаем.

<sup>1)</sup> Я не включил в диаграмму стр. 136 стронций, так как пока оставляю под сомнением анализ накипи из вод второго горизонта артезианской скважины Петровско-Разум. (с 6,43% SrO). *А. Виноградов*. Ежег. по геологии и минерал. России 1910. XII. 294

### Углерод.

Играет огромную роль в истории бассейна, так как в том или ином виде подавляющее большинство осадков является биохимическими, в которых углерод принимает участие или как таковой (уголь), или в виде углеводов (богхед, бурый уголь), или в виде карбонатов щелочноземельных элементов (известняк, доломит). Первые два вида распространения углерода являются очень важными с геохимической точки зрения, так как создают восстановительную обстановку в среде осадков и этим определяют весь генетический цикл тех образований, кои связаны с этой восстановительной средой (образование сернистого железа, перенос железа в виде углекислых закисных соединений, накопление глинистых образований путем выщелачивания других продуктов). Не меньшую геохимическую роль играет карбонатная форма накопления углерода, приводящая к целому сложному генетическому циклу, описанному ниже при изложении процессов Московского яруса, причем значительная роль принадлежит вадозной углекислоте, частью проникающей из воздуха, частью образующейся при процессах замещения карбонатных пород.

### Кислород.

В центральном районе окисляющая роль кислорода протекает в несколько необычных условиях, на которых мне придется подробнее остановиться при рассмотрении верхнего покрова мезозойских отложений.

В общем покров юрских глин создает настолько восстановительную среду, что почти повсюду, где вадозные воды проникают через юрскую толщу в известняки, они лишены окислительной способности, и, потому, в этих местах кислородная поверхность лежит выше залегания известняков. В тех местах, где этого покрова нет, и где воды, проникающие через ледниковую толщу, не теряют своего кислорода, там мы наблюдаем опускание кислородной поверхности до границы средних горизонтов Московского яруса, особенно в переходных зонах доломита. Конечно, иначе расположена была эта поверхность в те материковые периоды, которые отвечали мезозойскому времени, и в которых деятельность кислорода проявлялась иным образом; так, в областях мелководных бассейнов нижнего карбона, в которых накапливалось органическое вещество, была восстановительная среда, но зато на берегах этих бассейнов, при вероятном субтропическом климатическом режиме, должны были наблюдаться процессы, напоминающие наши латериты и образование terra rossa в карстовых областях (генезис боксита), идущие при большом воздействии кислорода в процессах гипергенеза.

Фтор нам известен в палеозойской свите лишь в виде скоплений ратовкита, землистой разности плавикового шпата: сложная картина генезиса этих скоплений может быть объяснена лишь биохимическим путем и позднейшей концентрацией поверхностными водами из скоплений в раковинах; возможно, однако, и другое объяснение, ка которое наводит ничтожное содержание в скоплениях ратовкита фосфорной кислоты. Подтверждая роль биохимических реакций в этом процессе, можно допустить мысль о том, что первичною формой осадка фтористых соединений были фосфаты типа фторapatита, распад которых и вызвал накопление плавикового шпата. Что такой вынос фтора из фосфоритов

Геохимическая диаграмма **каменноугольных отложений** Центральной России.

Ряды.	I	II	III	IV	V	VI	VII	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Ряды.
1	H	—	—	—	—	—	—	.	.	.	.	C	N	O	F	.	2
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	.	K	Ca	.	Ti	.	.	Mn	Fe Ni	4
5	Cu	Zn	.	.	As	.	.	.	.	.	.	.	.	.	?	.	6
7	Ag	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	?	.	8
9	Ап	.	.	Pb	.	.	?	.	?	.	.	.	.	.	—	—	10

Геохимическая диаграмма **юрско-меловых отложений** Центральной России.

Ряды.	I	II	III	IV	V	VI	VII	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Ряды.
1	H	—	—	—	—	—	—	.	.	.	.	C	N	O	F	.	2
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	.	K	Ca	.	.	.	.	Mn	Fe	4
5	Cu	.	.	.	As	.	.	.	.	.	.	.	.	.	?	.	6
7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Ba	.	.	.	.	?	.	8
9	.	.	.	.	.	.	?	.	?	.	.	.	.	.	—	—	10

*Примечание.* Геохимические таблицы необходимо для понимания сравнить с Менделеевской таблицей, приложенной на особом листе. Тире обозначает свободное место в таблице Менделеева; точка—неизвестность данного элемента в исследуемой области; знак вопроса—неоткрытый еще элемент.

возможен, показывают нам апатиты южной России, в которых, по данным В. Чирвинского, часть фтора замещена карбонатом.

О фторе подробнее см. ниже, стр. 151.

Натрий почти никакой роли в современных геохимических процессах не играет, и нам неизвестно ни одного минерального тела, в котором бы он накапливался в сколько-нибудь больших количествах (немного в глинах). Это, конечно, не исключает, что в прошлой истории этот элемент, особенно в связи с хлором, играл большую роль, особенно в тех морских бассейнах, которые испытывали регрессию и частично замыкались в небольшие водоемы с большою концентрацией. Может быть, именно, к таким процессам регрессии при повы-

шенном содержании хлоридов относятся иловатые осадки доломита, которые местами переслаивают Московские известняки.

**Магний.** Роль магния интересна лишь в толщах известняков и совершенно нам неизвестна в песчаноглинистых осадках. Первичною формой накопления является образование доломитомергелистых прослоек и большей или меньшей доломитизации самих известняков самых разнообразных горизонтов. Вторичные накопления, с одной стороны, вызваны поверхностным выщелачиванием карбоната кальция и, таким образом, образованием верхних доломитов гипергенеза, с другой—фиксацией части магнезии в виде алюмосиликата-пальгорскита. Последняя реакция тем более интересна, что дает нам пример устойчивости кремнекислых соединений в той обстановке поверхностных реакций, в которых считался невозможным обратный переход карбонатов в силикаты. Подробнее о миграции магния в известковых породах палеозоя см. при описании четвертой области.

#### Алюминий.

Вероятно на всей территории России по отношению к алюминию мало других областей, в которых процессы накопления глинозема и алюмосоединений в осадочных породах шли бы с такою интенсивностью и постоянством. Накопление гидратов глинозема как в верхних, так и в самых нижних горизонтах каменноугольных отложений повторяется и в других областях земной поверхности, но причинно оно связано не с определенным геологическим возрастом этих отложений, а с тем генетическим циклом, который создается налеганием глинистых продуктов мелкого моря на глубоководные известняки или же действием теплого климатического режима на те же известняки.

Если, как мы увидим на стр. 157, фосфориты обычно накапливаются в местах перерыва осадков или морских трансгрессий, то накопление глинозема обратно является весьма часто результатом регрессивных движений и быстрой смены условий глубоких карбонатных фаций материковым климатом. Действительно, этим условиям отвечает как верхняя часть Московского и Гжельского яруса, так и верхнедевонские или нижнекаменноугольные известняки. Хотя до сих пор мы не можем получить точной картины тех химических явлений, которые сопровождают эти процессы бокситизации, латеритизации или каолинитизации, но все же их течение под влиянием атмосферных условий, при отсутствии органического покрова и сильном действии вадозных углекислых вод, несомненно. В то время как в условиях влажного болотного режима идет процесс накопления каолинов, обратно в процессах субтропического режима—идет образование бокситов. В малом масштабе эти явления проявляются в верхней толще Московских известняков, где осаждаются гидрогели кремнезема и глинозема. Впрочем, в данном случае возможно влияние серной кислоты, проникающей сверху из выше лежащих в юре колчеданов.

#### Кремний.

Кремнезем, подобно глинозему, играет роль сингенетического образования исключительно в мелководных осадках, тогда как в известняках огромная роль в его миграции должна быть отнесена к катагенетическим процессам, при которых идет концентрация рассеянного биохимического кремнезема. Однако, в смысле активности-кремнекислых растворов мы видим как раз обратную зависимость.

В глинистопесчаных осадках кварцевый материал песков, образовавшихся из размыва ранее накопленных отложений или массивов, почти не участвует в гидрохимических реакциях, и лишь сравнительно редко в нем начинают возникать шарикообразные скопления, цементирующие опаловым цементом песчинки сначала в так называемую на месте „опоку“ (Боровичи), а потом в более плотный песчаник. Гораздо шире протекает деятельность кремнекислых растворов в известняках, где щелочная среда создает при одних концентрациях перенос гидрозолей, при других—их фиксацию в виде разнообразных разновидностей кремнезема или даже силикатов (палыгорскит). Процесс окремнения имеет огромное значение для всей области. См. подробнее о нем на стр. 153.

#### Ф о с ф о р.

Интересно отметить почти полное отсутствие фосфора в палеозойской свите. Ничтожные количества его отмечаются в железных рудах, образующихся путем замещения известняков угленосного яруса, ничтожные следы попадают в скопления ратовкита, и, наконец, в переходных слоях между черными юрскими глинами и метаморфизованными известняками попадают неясные землистые фосфаты, частью коллоидального строения, очевидно вызванные проникновением раствора сверху. Старые анализы каменноугольных известняков и доломитов окрестностей Москвы обнаружили в них самих в среднем сотые доли процента фосфорной кислоты (0,03).

Детальные исследования ратовкита разных месторождений обнаружили в некоторых образцах довольно значительное содержание фосфорной кислоты (см. стр. 152).

#### С е р а.

Вся сера—органогенного происхождения и связана почти исключительно с мелководными осадками нижнего яруса. В самых верхних горизонтах Московского или Гжельского мы изредка в катагенетических реакциях наблюдаем скопления сернистых соединений, вероятно связанных с восстановлением нисходящих сернокислых растворов. Процессы окисления сернистых соединений обычны (см. стр. 121, при описании Северо-западного района). Содержание серы в самих известняках ничтожно и до сих пор не изучено (S или  $SO_3$ ?), хотя *Траутшольд* в 1868 г. отметил  $SO_3$  в известняках окр. Москвы 0,06—0,08%, в доломитах 0,2—0,5. Постоянно несколько повышенный процент  $SO_3$  в верхних доломитах весьма характерен и, вероятно, связан с прониканием в доломиты сульфатных вод покрывающих горизонтов юры.

Х л о р — известен в небольших количествах в артезианских источниках среди известняков Московского яруса, в которых он, вероятно, рассеян в виде NaCl.

К а л и й—подобно натрию не играет роли, хотя для него любопытно отметить скопление листочков калиевой слюдки в некоторых глинах, особенно Гжельского яруса, и новообразование в известняках полевого шпата. Хотя *Никитин* определенно считает листочки слюды новообразованием в глинах остаточного происхождения (из известняков), тем не менее вопрос об их генезисе остается открытым.

К а л ь ц и й — в виде карбоната играет роль в глубоководных осадках, в

виде бикарбоната выносятся вадозными водами, обуславливая ряд обычных катагенетических и гипергенетических реакций.

#### Т и т а н.

Несмотря на отсутствие достаточного количества анализов, титан несомненно связан с скоплениями в угленосной толще, как в подчинецких им бокситах, так и в огнеупорных глинах. Для последних имеется анализ глины из Раненбургского уезда в Рязанской губ., где в белом „сухаре“ было обнаружено около 1,32%  $TiO_2$ . Еще гораздо яснее связь накоплений титана с бокситовыми залежами Тихвинского уезда Новгородской губ., где обнаружено постоянное присутствие около 2,5%  $TiO_2$  с содержанием до 6,4% в отдельных образцах.

Исследования В. Исколя установили, что часть этого титана связана в иголочках рутила и, может быть, зернышках ильменита. Генетически эта связь вообще непонятна, и особенно замечательно, что одновременна с почти полным отсутствием марганца.

М а р г а н е ц—играет ничтожную роль, отсутствует даже в тех отложениях, где его следовало бы ожидать, совершенно неизвестен в красных бокситах и ничтожными нежными дендритами покрывает изредка стенки известняков верхних горизонтов Московского яруса. В северном крыле марганец частично появляется в красных железняках верхних горизонтов песчаной свиты нижнего карбона, реже в железных рудах продуктусовых известняков юга.

#### Ж е л е з о.

Железо не играет роли во всем верхнем карбоне и даже при процессах катагенеза нигде не накапливается в сколько-нибудь заметных количествах, зато в нижнекаменноугольных отложениях и в верхнем девоне приходится отмечать весьма серьезные скопления окисных или закисных соединений железа, образующих целый ряд месторождений железных руд. В работе Земляченского с большой обстоятельностью дается описание генезиса этих руд, по преимуществу в толщах продуктусового яруса и девонских известняков, причем автору с несомненностью удалось выяснить связь этих скоплений с катагенетическими процессами позднейшего времени. Для девонских и непосредственно над ними лежащих горизонтов известняков (так же, как и для пермских слоев более восточных областей) источником железа является более или менее очевидное проникновение железистых растворов сверху из мелководных материковых горизонтов биосферы (юры—в одних случаях, нижнего карбона—в других); менее частым является накопление этих же соединений в горизонтах продуктусового яруса в тех случаях, когда он перекрыт Московским; по внимательному изучению разрезов выясняется, что накопление и в этом ярусе наблюдалось лишь в тех случаях, когда он непосредственно перекрывается трансгрессивно мезозойскими осадками, и таким образом и в этом случае источником замещения железа являются процессы в своей основе биохимического характера.

#### Н и к к е л ь.

Единственная находка соединений никкеля известна из верхних горизонтов Московского яруса, где в трещинах доломитизированного известняка (Подольского цементного завода) был мною найден натек кальцита, окрашенный

никкелевыми солями в слабо-зеленый цвет. Происхождение этого элемента остается невыясненным, причем мною было высказано предложение, что никкель мог проникнуть в растворы путем разложения какого-либо никкелевого предмета, что делается особенно вероятным, так как находка сделана была в карьере—в самом дворе завода. С другой стороны, не следует забывать, что никкель был обнаружен с несомненностью в пермских отложениях Поволжья (см. ниже стр. 177).

#### М е д ь.

Несмотря на обилие колчеданов в разных горизонтах, медь в них до сих пор не обнаружена, и лишь на пиритах Боровичского района мною были найдены ничтожные количества халькопирита. Генезис см. стр. 149.

#### Ц и н к.

Подобно другим тяжелым металлам (Cu, Pb, Ag, Au), цинк был обнаружен мною в виде железистой цинковой обманки на колчеданах Боровичей. Количество его в общем ничтожно, но, вероятно, больше, чем это кажется на первый взгляд, так как отличить мелкие черные кристаллики сфалерита с металлическим блеском от кусочков угля затруднительно.

#### М ы ш ь я к.

Для мышьяка в центральном районе мы имеем некоторые данные. Мышьяк исключительно связан с колчеданами, причем в пиритах угленосной толщи содержание мышьяка ничтожно (измеряясь десятими и сотыми долями %), тогда как достигает одного процента лишь в некоторых месторождениях юрских колчеданов. Происхождение мышьяка биохимическое; миграция его после разрушения колчеданов неизвестна.

С е р е б р о — обнаружено несколькими анализами в Боровичских колчеданах; в них самих количество Ag колеблется в сотых и тысячных долях %. Равным образом оно входит в состав свинцового блеска тех же месторождений, где обнаруживается вполне очевидными пробами. Происхождение, очевидно, аналогичное золоту. В колчеданах южного крыла угленосной толщи ни серебро, ни золото не отмечаются, что, однако, можно объяснить, с одной стороны, отсутствием химических анализов специально с целью открытия редких металлов, с другой—отсутствием чисто минералогического обследования южных месторождений.

З о л о т о—обнаружено непроверенными химическими анализами в Боровичских колчеданах, в количестве от десятитысячных до тысячных долей %. Содержание золота сильно колеблется, но накопление его приходится считать не первичным, а связывать с теми процессами диагенетического характера, которые столь типичны вообще для угленосных отложений каменноугольного возраста.

С в и н е ц — отмечался только в колчеданах северного крыла угленосной толщи, причем старые анализы говорят о содержании 2% свинца при валовом анализе колчедана (что, вероятно, неверно). Мои наблюдения в Боровичском районе обнаружили довольно большое распространение намазок свинцового блеска в колчеданах среди самого угля, в кристаллах, в пустотах сферосидеритовых конкреций среди подстилающих глин и песков, а также в виде обмазок больших желваков песчанистого колчедана нижних песков.

*Примечание.*

Общий обзор геохимических процессов в исторической последовательности приведен будет после обзора минералов и элементов мезозойских и новейших отложений центральной области, см. стр. 146.

## **В. Мезозойские и четвертичные отложения.**

### **Геология.**

Для нас важно отметить, что период образования морских глубоководных осадков каменноугольного и потом пермского моря <sup>1)</sup> сменился длительным континентальным периодом, в течение которого шел грандиозный размыв, еще усилившийся при наступании юрского моря, захватившего огромные области Центральной и Северо-Восточной России.

Келловейское море, оксфордское, секвано-киммериджское, затем период отложений, так называемых, волжских слоев и меловых колебаний представляют картину длительных регрессивных и трансгрессивных движений, с усиленным размывом западных берегов и той оси, которую *Мурчисон* назвал девонской (Смоленск — Орел, Воронеж). Илестопесчанистые отложения характеризуют небольшие глубины этого моря, а частные местные перерывы в сериях показывают неустойчивость контуров юрских морей и их заливов.

В общем нижнемеловая эпоха носила этот же характер, и еще более суженное меридиональное море пересекало Россию от устья Печоры до Астрахани: Крупная верхнемеловая трансгрессия совершенно изменила эту картину и покрыла морем весь юг России, почти не захватив нашей области, до настоящего момента оставив ее частью материка.

Ледниковый покров закрыл собою сильно размытые остатки — островки этих мезозойских отложений, а его южный конец, в связи с колебанием ледника, как раз захватил южные границы нашей области, еще усилив их размыв. Таким образом, частая смена морских и континентальных периодов с усиленной эрозией, довершенной ледником, весьма усложнила картину постпалеозойских горизонтов и связанных с ними геохимических процессов.

**Минералы мезозойских и более молодых отложений.**

Минералы мало разнообразны, однако благодаря работам Московской Фосфоритной Комиссии под руководством проф. *Самойлова* изучены сравнительно хорошо.

Самородные элементы неизвестны (только золото в валунных ледниковых песках).

Из сернистых — мы знаем только пирит (и в меньшей мере марказит), образующий очень большие скопления и вызывающий при окислении ряд новообразований, а также  $H_2S$ , как продукт распада колчеданов.

Из кислородных — лимонит (частью в виде первичных оолитов, частью,

---

<sup>1)</sup> В восточной части мы кое где встречаемся с отложением пермских пестрых мергелей, геохимическое описание коих мы, однако, относим к району четвертому. В большей же части изучаемой нами области в пермскую эпоху была суша — берег восточного пермского моря.

как продукт окисления колчедана); бобовые и дерновые руды, железомарганцевые скопления ортштейнов; кварц в чистых песках и гидраты кремнезема в подзолах современных почв.

Из силикатов — совершенно особое внимание привлекает глауконит, имеющий огромное распространение и в огромных количествах; другие силикаты, как слюды, глины, совершенно не изучены, и природа их образования мало выяснена.

Из карбонатов — кальцит в септариях, известковый туф в современных и послеледниковых образованиях и сферосидериты глинистого типа в оксфордских глинах.

Сульфаты довольно разнообразны, но плохо изучены: к катагенетическим минералам относятся барит и гипс, к гипергенетическим — гипс, мелантерит, свободная серная кислота, водные сульфаты окиси железа.

Совершенно исключительное внимание приходится приписать фосфатам, фосфориту, который в неизменных образцах по своему составу точно отвечает фторапатиту, тогда как в продуктах перекристаллизации обогащается карбонатом кальция с переходом в штаффелит. Известны также вивианит и бераунит.

Наконец, из соединений углерода надо отметить бурый уголь, иногда замещенный частично или вполне пиритом, или фосфоритом, торф в межледниковых и современных отложениях и сапропелевые осадки на дне озер.

Большие скопления соединений элементов мы знаем только для серы (пирита), фосфора (фосфорита), алюминия (гончарные келловейские глины), кремния (кварцевые пески аквилонские) и углерода (торфяники). Все они имеют практическое значение и разрабатываются.

### Генетические типы.

С точки зрения минералообразовательных процессов район представляется довольно простым, хотя детали отдельных реакций представляются еще неясными. Основным типом является синхроническое или диагенетическое образование минерала одновременно с глинистым или песчаным осадком прибрежной неглубокой полосы мелкого моря: таков генезис большинства соединений — глин, песков, глауконита, фосфоритовых стяжений и оолитов лимонита, известковистых, сферосидеритовых и баритовых конкреций — септарий, стяжений колчедана, кусков углистого вещества и некоторых других. В современных отложениях такими первичными соединениями являются: торф, гидраты кремнезема в подзолах, вивианит в торфяниках и сапропелевые осадки.

Сравнительно мало значения имеют катагенетические реакции, которые частично продолжают и довершают диагенетические процессы, частично вызывают новообразования. таковы кристаллы кальцита, иногда барита, частью гипс. К ним же относятся продолжающиеся еще и сейчас процессы цементации песков: обычно цементом служат — известковый шпат, лимонит, фосфорит, реже кремнезем; этот процесс, ясно наблюдаемый в некоторых

обнажениях, приводит к превращению рыхлых песков в плотные жерновые песчаники.

К этой же группе явлений приходится относить и ледниковые процессы, которые, кроме накопления глин и валунов, частично приводят к большим скоплениям песков, богатых тяжелым шлихом, который при современном размыве еще более концентрируется и изредка превращается в типичный шлик с магнетитом, гранатом и золотом (напр. у ст. Икши около Москвы).

Из современных процессов гипергенеза три заслуживают по своему значению особого внимания: во-первых—новообразование синих фосфатов в торфяниках с последующим их окислением в бераунит, во-вторых—серия окисления колчеданов, резко наблюдаемая весной на черных юрских глинах, и, наконец, в-третьих—почвенные процессы вымывания полуторных окислов, с накоплением подзола и ортштейна, частью довольно богатого марганцем.

### Э л е м е н т ы .

Геохимия необычайно проста и состоит по преимуществу из элементов обычного поля; всего нам известно 19 химических элементов, из коих некоторые, как As, Cl, Na, Cu, играют совершенно ничтожную роль следов. Вряд ли в будущем этот список сильно увеличится, так как даже специальные пробы на некоторые элементы (напр. на J) дали результат отрицательный.

Общая геохимическая ассоциация интересна по сравнению с палеозойскими отложениями, с одной стороны, и с общими орогенетическими процессами мезозоя—с другой. По отношению к первым отмечается отсутствие тяжелых металлов и титана и сильное преобладание чисто органогенных элементов; впрочем, в этом они скорее сходятся с отложениями предыдущих эпох, разделяя с ними нахождение фтора. По отношению к общим орогенетическим процессам и общей геологической истории этих отложений необходимо иметь в виду, что юрскомеловые образования связаны были в этом районе с размывом и химической переработкой скорее старой осадочной каменноугольной и девонской суши, чем каких-либо хребтов кристаллических пород. Очень любопытным является нахождение бария, столь типичного элемента мезозоя.

Наибольшую геохимическую роль играют: C, O, F, P, S, K, Ca, Fe, Si.

Незначительную — Al, N, H, Ba, Mn.

Не играют роли — Na, Mg, Cl, As, Cu.

Перехожу к геохимической характеристике отдельных элементов.

Водород—особой геохимической роли не играет, только в виде водных растворов и сероводорода при разложении колчеданов.

Углерод — сравнительно редок в виде углистых кусков древесины, находимой в келловейских, оксфордских и портландских горизонтах. Гораздо больше значение углерода в виде так называемого углистого вещества, которое в большом количестве пропитывает большинство глин юры и обуславливает их черный цвет и некоторое сходство с угольными сланцами. Рассеянное в ничтожных количествах это вещество обуславливает общий восстановительный характер геохимических реакций этих областей.

Наконец, неизвестные нам углеводороды входят в состав фосфоритов (в

среднем—в количестве около 1%) и вызывают характерный, еще не изученный запах этого ископаемого при разломе образца.

Углерод в виде карбонатов играет мало роли, вызывая несколько мергелистый состав горизонтов ниже портланда или собираясь в желваки сферосидеритового или кальцитового характера (секванские септарии).

Частично углекислый кальций замещает  $\text{CaF}_2$  в фосфоритах, обогащаясь насчет последнего в наружных корках.

Азот — не играет роли, или, вернее говоря, его химическое значение неизвестно, содержится в органическом веществе фосфоритов.

Кислород — в качестве геохимического фактора имеет огромное значение, особенно хорошо наблюдаемое в свежих обнажениях юрских глин. Общая восстановительная среда этих обнажений заставляет глубину кислородной поверхности опускаться не глубже нескольких сантиметров, и только в ледниковом покрове, богатом уже окисленными соединениями, она опускается значительно ниже.

Окисление колчеданов вызывает длительный генетический цикл, ниже описываемый с большою подробностью.

Фтор — входит в состав фосфоритов в различных количествах. *Я. Самойлов* приводит содержание фтора в 2, 31—3, 28% в фосфорите неизвестного горизонта Костромской губ. К сожалению мне неизвестно достаточного количества полных анализов мезозойских фосфоритов, но уже сейчас можно видеть, что эти числа отвечают нормальному составу фторapatита и даже его превосходят. Повидимому, это положение носит общий характер для всего района. Таким образом, накопление фтора в центрально-русских фосфоритах достигает огромных величин; однако, частично, согласно позднейшим анализам, фтористый кальций в наружной корочке замещается веществом типа франколита-штаффелита с присоединением к частице  $\text{CaCO}_3$  и вынесением части фтористого кальция. Это очень интересная реакция, которая может быть дает объяснение происхождению ратовкитовых прослоек (см. стр. 152).

Натрий — играет ничтожную роль, входя в виде неизвестных нам минералов в состав глин, слюдистых минералов в глинах и в главконите.

Магний — входит в состав зерен главконита, в которых он в виде первичного соединения накоплен. Никаких дальнейших перемещений этого элемента мне неизвестно.

Алюминий — известен только в первичных формах накопления: в главконите, глинах и слюдах. Никакие особые реакции перегруппировки или миграции окислов этого элемента нам неизвестны, хотя, повидимому, в нижних горизонтах образуются растворимые сульфаты глинозема, которые вымываются водами из черных юрских глин и инфильтруются в глубину в каменноугольные известняки (см. стр. 147). Хотя этот процесс, повидимому, идет в довольно широком масштабе, местами обогащая некоторые глины и превращая их в нечто в роде квасцовых глин, тем не менее у нас, к сожалению, отсутствуют точные аналитические определения.

Кремний — Прибрежный и мелководный характер мезозойских отложений района обуславливает большое накопление кварцевых песков, которые вместе с глинами представляют единственную форму крупной концентрации этого элемента.

Среди многочисленных способов цементации песков (цементом—железистым, фосфоритовым, пиритовым и углекислым) лишь изредка наблюдается связывание кварцевых песчинок кремневым цементом. Таким образом, мы наблюдаем отсутствие циркуляции кремневых растворов, за исключением лишь самых нижних горизонтов юрской толщи.

Наконец, современным процессом миграции кремнезема является образование почвенных горизонтов—подзолов, богатых водной кремнекислотой.

**Фосфор** — подобно другим органогенным элементам играет огромную роль, и его скопления составляют колоссальные запасы. Генетически мы наблюдаем тесную связь фосфорнокислых соединений с явлениями распада органического вещества в зоне диагенеза, причем очень интересные соображения *Архангельского* связывают их фиксацию с массовой гибелью организмов в юрском море, под влиянием мерских течений или при трансгрессивном нарушении морского режима.

В дальнейшем ходе этих диагенетических процессов идет концентрирование фосфоритового вещества в конкрециях и перекристаллизация его.

В месторождениях вторичного характера намечается новая перекристаллизация фосфорита, с частичной заменой фтористого кальция карбонатом этого металла.

**Сера**.—Роль ее заключается главным образом—в фиксации сернистых соединений в форме пирита и в меньшей степени марказита. При окислении сера проходит обычный генетический цикл—серная кислота—мелантерит—гипс—сульфаты окиси железа.

**Хлор** — присутствует в фосфоритах лишь в виде ничтожных следов и очевидно никакой роли не играет.

**Калий**. — Роль этого элемента довольно значительна в виду огромных скоплений глауконита, обычно тесно связанного с фосфоритами. К сожалению, мне неизвестно точных данных анализов глауконита этих областей, но по частным аналитическим данным количество  $K_2O$  в них должно быть не менее 4—5%. Растениями этот калий непосредственно ассимилироваться не может, но прокаливание имнерала до 500—600° С. частично делает его растворимым.

**Кальций**. — Никаких особенностей миграции не наблюдается, роль в общем ничтожная. О карбонате Са см. на стр. 144 при углероде.

**Марганец** — входит в небольших количествах в состав большинства черных юрских глин и иногда накапливается в болотных рудах в довольно больших количествах (до 3%).

**Железо** — повидимому, главным образом, органогенного происхождения: первичное в оолитах, лимонитовых прослойках, пиритах и болотных рудах, вторичное—в окисных и закисных сульфатах, в псевдоморфозах лимонита по пириту и в железистых осадках водных растворов, вытекающих из некоторых горизонтов. Очень больших скоплений нигде не образует, но в среднем содержание железа в мезозойских отложениях весьма повышено.

**Медь**. — Хотя она и указывалась раньше старыми авторами по Волге, но, очевидно, эти указания ошибочны и должны быть отнесены к железному колчедану. Тем не менее интересно отметить ничтожные следы меди в келловейских колчеданах, обнаруженные *Я. В. Самойловым*.

**Мышьяк.** — *Самойлов* обнаружил небольшие количества мышьяка в фосфоритах Костромской губ. Более обычен он в колчеданах, причем в Костромской губ. обнаружено было до 1% As, тогда как в других мышьяк или отсутствовал (неокомский из Поливны), или содержался в тысячных долях процента (портландский). Отсутствие достаточного количества анализов не позволяет отметить здесь каких-либо закономерностей. Возможно, что нахождение мышьяка в фосфоритах объясняется содержанием примеси мышьяк—содержащего колчедана.

**Барий.**— Один из наиболее типичных и характерных элементов района, тесно связанный с определенными горизонтами: секваном и оксфордом. В терригенных прибрежных образованиях мы наблюдаем здесь накопление барита в виде конкреций диагенетического характера, причем частично сернокислый барий может накапливаться и в трещинках мергелистых септарий.

Приуроченность скоплений этого элемента к осадкам определенного возраста на огромной территории Костромской губ. является весьма характерной. Подробнее см. в заключительной части описания Европейской России.

## Генетические циклы центрального района.

### А. Палеозой.

#### Девон и переходные слои.

Как видно из помещенной на особом листе таблицы VI, история геохимических процессов в центральной области начинается для нас с осадков девонского моря. В то время, как на севере девонские слои представлены песками, песчаниками и слюдястыми глинами, на юге мы встречаем известняки и доломиты. Мелкие прибрежные образования севера, таким образом, на юге сменяются более глубоким открытым морем, тоже постепенно мелеющим и через переходную эпоху (малякко-мураевнинского яруса) переходящим в отложения угленосного яруса. Заболачивание старого отступившего моря, отдельные изредка заливаемые морем заливы и бухты, болота и топи в обстановке влажного жаркого (субтропического) климата — такова картина этих новых отложений песков, глин и угля.

На севере этот процесс перехода мелкого девонского моря в лагунные полупресные бассейны карбона не отразился геохимически в резком изменении пород и вмещающих их химических соединений. Практика горного дела Боровичского района опытным путем установила, что глины каменноугольные—серые, белые, черные, большей частью огнеупорные, с кусочками древесины, угля и конкреций пирита, тогда как девонские—слюдястые и песчаные с зеленоватым оттенком закисных соединений железа. Никакие особенные минеральные виды не привлекают здесь нашего внимания в девонских слоях или по границам осадков этих двух геологических периодов.

Иначе представляются химические взаимоотношения на юге, где налегание глинистой свиты на серию трещиноватых, поглощающих иногда даже воду, известняков представляет обильное поле для катагенетических реакций

обмена. Каких-либо особенных первичных минералов девонских известняков мы не знаем, но за то в ряде мест *Земятченский* наблюдал образование карманов бурого-железняка (лимонита и гидрогетита) и целых скоплений руд, образование которых, очевидно, приходится об'яснить инфильтрацией растворов сверху, может быть даже еще в тот период, когда шло осаждение каменноугольных слоев или в одну из последующих эпох континентальных периодов. К этим процессам инфильтрации железистых растворов приходится приурочивать и, новообразование мельчайших кристаллов полевого шпата в виде ясно образованных индивидуумов (ортоклаза и микроклина).

Очень своеобразный процесс в этих известняках (малявко-мураевнинского яруса) представляют неправильные скопления смеси боксита и гипса, открытые *Барботом-де-Марни*. Хотя они и не подтвердились позднейшими исследованиями и, очевидно, имели очень ограниченное распространение <sup>1)</sup>, тем не менее они намечают очень характерную реакцию, наиболее вероятное течение которой сводится: к окислению колчеданов верхней глинистой серии с частым образованием квасцовых глин, проникновением вниз в известняки растворов сернокислого глинозема; последний в известняках путем обменной реакции давал CO<sub>2</sub> (или бикарбонат закиси железа) и смесь гипса и гидратов железа и глинозема (напр.  $2 \text{FeS}_2 + \text{H}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot \text{H}_2\text{O} + 4\text{CaCO}_3 + 14\text{O} + 9\text{H}_2\text{O} = 2 \text{Fe}''\text{CO}_3 \cdot \text{CO}_2 + 4 \text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{SiO}_2$  <sup>2)</sup>).

Повидимому, возможен и несколько иной процесс, намеченный *Самойловым*, открывшим в известняках переходного возраста довольно большие количества аллофана: его скопления по аналогии с аллофаноидами выше лежащих горизонтов (см. стр. 155) могут быть об'яснены инфильтрацией сверху золь SiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и коагуляцией этих золь в области известняков действием электролита бикарбоната кальция; вышеприведенное уравнение химической реакции дает об'яснение образованию аллофана.

Как видно, соотношение глинистых осадков с колчеданами наверху и известняками внизу приводит к очень интересному генетическому циклу с рядом обменных реакций: это соотношение очень часто повторяется не только в истории центрального бассейна, но и в других частях Европейской России (напр., в Пермском бассейне, см. четвертую область), и определенно говорит, что смена глубоководных осадков моря континентально-прибрежными образованиями создает вполне определенный и богатый минералообразованием генетический цикл.

### Угленосный ярус.

Перехожу к следующей серии осадков угленосного яруса, может быть самых интересных во всей каменноугольной толще и дающих большое разнообразие минералов и элементов; в них не только намечается ряд разнообразных минеральных тел большого практического значения, но и ставится ряд проблем, еще далеко не решенных современной минералогией. Класси-

<sup>1)</sup> В двух пунктах Рязанской и Тульской губерний.

<sup>2)</sup> В сильно окислительной обстановке окисление железа шло еще дальше с образованием лимонита и свободной угольной кислоты.

ческими местами для изучения угленосного яруса являются угольные месторождения как северного крыла в районе Боровичей, так и в Подмосковном районе, где обилие добыч полезных ископаемых дало возможность весьма полного и детального обследования геохимической обстановки.

По данным *М. Залесского* перед нами рисуется картина прибрежной низины у девонского материка, с болотами, топиями, озерами, с роскошной лесной растительностью субтропического климата. Водоросли и споры вместе с торфяною массой составляли главный материал для образования угольных прослоек, а колебания морского уровня то засыпали их песком и глинистыми осадками, то в отдельные моменты быстрых наступаний моря покрывали слоем известняка. В топях шло накопление приносимых ветром с берега спор, дававших начало курным углям (кеннэлям), тогда как в самых озерах образовывались из отмерших водорослей богхеды. Распад растительных веществ с заключенными в них элементами приводил к образованию большого количества конкреций пирита и марказита<sup>1)</sup>, накапливавшихся почти всегда в нижних частях пласта угля или в подстилающих песках, и стяжений сферосидерита, тогда как отмученный илистый осадок, переработанный кислыми водами торфяников, приводил к скоплению чистых масс каолиноподобных осадков огнеупорных и гончарных глин высоких технических качеств. Геохимически мы подчеркиваем эту связь чистых глинистых продуктов с буроугольными осадками мелких бассейнов, так как эта зависимость повторяется и в других областях земной коры и в другие эпохи (напр., с третичными бурями углями).

Наконец, последним, очень типичным сингенетическим процессом этих отложений является скопление чистейших кварцевых песков, почти свободных от железа и, потому, имеющих большое практическое значение.

Вышеописанная картина более или менее выдерживается на всем протяжении угленосного яруса, но к ней в северной части примешивается два геохимических процесса, на которые следует обратить особое внимание, и которые по видимому, должны быть отнесены к явлениям катагенетического или древнегипергенетического характера,—это образование боксита и сернистых тяжелых металлов в Боровичско-Тихвинском районе. Все остальные катагенетические процессы носили более обычный характер и сводились к окислению пиритов, образованию квасцовых глин и частичному замещению известковых прослоек с преобразованием их в бурые железняки или сферосидериты.

Бокситовая область Тихвинского уезда, благодаря трудам *Ислюля*, *Васильевского* и *Стопневича* и на основании личных наблюдений, рисуется нам в следующем виде.

Мощные скопления бокситов и обогащенных глиноземом и окисью железа пород приурочены к определенной полосе вдоль границы, разделяющей продуктивные и продуктусовые слои. Бокситы лежат среди глин и песков нижнего горизонта, частью непосредственно на девоне; насколько можно судить по имеющимся обнажениям, они нигде не подстилаются известняками и образуют неправильные скопления и гнезда, кровля которых, к сожалению, в точности неизвестна.

<sup>1)</sup> По данным *Прокунина* совершенно без селена и со следами мышьяка.

как неизвестно и то, продолжают ли они далее на восток под известняки. Минералогически они отличаются большим содержанием гидраргиллита, диаспора, гидратов  $Fe_2O_3$ , близких к гидрогематиту, рутила и каолинита. Химически в них поразительно отсутствие Mn и ничтожные количества Ca, Mg и карбонатов, при очень высоком содержании  $TiO_2$  (до 6,4%) и  $Al_2O_3$  (до 72%).

Происхождение бокситовых скоплений, крайне изменчивых по своему составу, делает наиболее вероятным предположение, что они образовались путем гидрохимического изменения ранее бывших прослоек известняка, и что этот процесс приходится скорее всего относить к тому огромному континентальному периоду, который наступил в этом районе с момента отхода на восток каменноугольного моря. Лично я связываю его с прибрежным преобразованием береговой полосы известняков при отступании каменноугольного моря к востоку и готов видеть начало бокситизации еще в периоды отложения на востоке продуктусового известняка. Любопытно отметить, что этот процесс, правда в несколько ином виде, наблюдался *Зильберминцем* на южном крыле в Рязанской губ. В северных частях той-же полосы боксит отсутствует и заменяется железистыми прослойками красных и желтых охр высоких технических качеств, обычно перекрытых серыми и черными глинами.

Этот процесс бокситизации верхних горизонтов глинисто-песчаной толщи, таким образом, характерен лишь для одного участка каменноугольной полосы и, хотя и отмечается, как выше указано, частично и на юге, но в общем не носит общего характера. Во всей средней части каменноугольной дуги никаких аналогичных процессов на границе с продуктусовыми известняками не наблюдается, но за то на самом северном (Олония) и на самом южном крыле (Рязанская губ.) наблюдается другой процесс, очень постоянный и несомненно сходный с бокситизацией—накопление окислов железа. В районе на север от Северной жел. дор. в верхних слоях нижнего яруса наблюдаются целые горизонты железных руд, иногда почти чистого, бедного водою „красного железняка“ и сопутствующих ему прекрасных красных и желтых охр. Повидимому, эти осадки носят частично первичный характер и спокойно переслаиваются с песками; однако, точной картины их генезиса нарисовать нельзя. В противоположность бокситу для них типично содержание марганца.

Второй цикл интереснейших геохимических явлений области связан с накоплением сернистых соединений тяжелых металлов. Вообще количество сернистых соединений в угольных слоях и связанных с ними песках весьма значительно и для южного крыла выражается не менее, чем 1—2% на общее количество угля. Еще выше эта цифра для Боровичского района, где на одну кв. саж. выработки приходится не менее 20 пудов колчедана. Не менее высокие цифры получатся для содержания серы, если мы возьмем анализы богхедов и курных углей, в составе которых отмечается 3—5% серы. Эта-то сера, очевидно, и положила начало скоплениям сернистых тяжелых металлов. Мои исследования привели к нижеследующей вероятной картине генетического цикла. В мелководных бассейнах шло на дне накопление илистых осадков и гидратов сернистого железа, частей гниющей древесины и проч. При процессах диагенеза гидраты сернистого железа переходили в колчеданы, которые образовывали на месте среди обугленных остатков конкреции пирита, частью псевдоморфо-

зируя древесину и корневища (стигмарии), частью проникая в ниже лежащие пески и цементируя их; последним процессом было положено начало крупным стяжениям колчедана. Третьим моментом в этих процессах является фиксация на поверхности или в трещинках колчеданов сернистых соединений цинка, меди и свинца, из коих последний совершенно обвадакивал стяжения колчедана очень тонкою синестальной пленкою. Изредка галенит встречался и в самом угле между его слоями, реже в красивых кристалликах в сферосидеритовых конкрециях песков, вместе с пиритом и сидеритом. Катагенетическое происхождение этих тяжелых металлов не подлежит сомнению, но остается вопрос, откуда они проникли в каменноугольные слои. Мои детальные исследования показали, что и на западе с угольными слоями каменноугольного возраста связаны именно эти металлы <sup>1)</sup> и что там их происхождение частью приписывается гидротермальным процессам, частью, что вернее, сингенетическим осадкам мелких бассейнов. Полное отсутствие каких-либо глубинных термальных процессов центральной России заставляет отвергнуть первое объяснение и остановиться на идее фиксации органическим веществом растворов (гидрозолей) тяжелых металлов или в процессе жизнедеятельности, или, что вернее, путем поглощения этих солей угольным коллоидальным веществом. Вместе с тем нужно думать, что возможность этого процесса создалась в каменноугольную эпоху лишь благодаря тем мощным гидротермальным и тектоническим явлениям, которые шли по периферии Московского бассейна, вынося вместе с лавами и горячими растворами соединения тяжелых металлов. Обогащение морских бассейнов каменноугольного моря сначала тяжелыми металлами, а потом и соединениями фтора перебрасывает мост между рудными процессами герцинских складок и накоплениями этих металлов, а позднее и плавика в свите осадков путем, главным образом, биохимических реакций.

#### Продуктусовые и московские известняки.

Переходим теперь к следующим отложениям по геологической хронологии— к продуктусовому ярусу. Он знаменует собою вновь трансгрессивное наступание открытого моря и, если в своей нижней части еще содержит отдельные прослойки глин и углей, то выше сменяется сплошной массой известняков— глубоких осадков тянувшегося к востоку большого каменноугольного моря. Видимые отложения этого яруса довольно узкою полосой окаймляют Московский бассейн с его обоими крыльями и почти без каких-либо заметных колебаний перекрываются литологически сходными каменноугольными известняками Московского яруса.

Сообразно с этой историей продуктусовых отложений строится и геохимическая история пластов: в нижних горизонтах еще имеются слои угля с редкими колчеданами, огнеупорные глины, выше идет комплекс известняков с переслаивающимися мергелями и доломитизированными прослойками. Эти известняки прорезаны рядом водоносных горизонтов. Сами известняки местами состоят из сплошных скоплений кремневых рогулек, покрытых снаружи белой корочкою, а по своей форме представляющих ветвистое, замысловатое строение, часто с пустым каналом внутри (напр. по р. Мсте, выше Боровичей). Таким

<sup>1)</sup> Ср. заметку В. S i m m e r s b a c h в „Der Geologe“.. 1918. № 21. p. 381.

образом, из сингенетических образований продуктусовых отложений надо считать: углекислую известь, огнеупорные глины, марказиты и уголь и может быть частично надо относить, если не в настоящем своем виде, то все же в виде зачатков кремневые конкреции. Главное-же явление накопления кремневых горизонтов я отношу к процессам катагенеза, равно как и небольшие скопления кристаллов кварца и кальцита в пустотах известняка. Местами, особенно в южных областях, эти известняки, вероятно в периоды континентальных эпох, были превращены путем гипергенеза в скопления бурого железняка, представляющие практическую ценность.

Однако, в общем ни с минералогической, ни с геохимической точки зрения известняки продуктусового яруса ничего интересного не дают.

Как выше указано, без резких литологических изменений, хотя не без некоторого несогласия или перерыва, осадки нижнекаменноугольного моря покрываются глубокими известковыми осадками верхнего карбона; в самых нижних горизонтах Московских отложений, всего лишь в нескольких метрах от нижней границы мы встречаемся в ряде мест, особенно в Московской и Тверской губерниях, с прослойками землистого фтористого кальция—ратовкита <sup>1)</sup>. Большие скопления этого минерала в осадочной свите пород в сущности не имеют себе аналога в других месторождениях земной коры и невольно привлекли к себе внимание и геологов, и минералогов.

*А. П. Карпинский* первый обратил внимание на ту геохимическую обстановку, в которой происходило образование осадков нижних горизонтов Московского яруса, и, суммируя большое количество фактов из истории этого переходного момента, установил, что как раз в начале отложений Московского яруса по периферии русской платформы шли весьма серьезные дисъюнктивные и пликативные дислокации, результатом которых явились ряд несогласий на северном берегу и излияния изверженных пород и горячих водных растворов или эманации на южном и восточном (Уральском) берегах каменноугольного моря <sup>2)</sup>.

Эти крупные геологические процессы оказывали свое влияние на центральный морской бассейн, изменяя его границы и в самый переходный период между обоими ярусами обнаруживая какой-то перерыв нормального напластования с известковыми конгломератами, глинами и т. п. К этому еще присоединялся ряд небольших сбросов и по самой западной границе нижнекаменноугольного моря и ряд несогласий, обнаруживающихся сейчас в области Тверской губ.

Такова была обстановка образования осадков нижних горизонтов Московских известняков, и в ней совершенно понятно искать отражение тех геохимических реакций, которые шли по периферии и под поверхностью каменноугольного моря. Я склонен думать, что в это время море обогащалось эманациями фтористых соединений, которые проникали на поверхность как на

---

<sup>1)</sup> Есть старое указание, что ратовкит встречается и у Боровичских порогов на реке Мсте, однако, все мои поиски в этом направлении не увенчались успехом.

<sup>2)</sup> Только начиная с верхнего карбона на Урале начались излияния и поднятия гранитных магм, основных носителей фтористых возгонов. Подробнее см. в заключительных главах к первому тому.

южном и Уральском берегу, <sup>1)</sup> так может быть и на западном берегу моря (Ржев—Зубцов). Это обогащение создавало возможность, путем биохимических реакций, фиксировать фтористые соединения и отложить их в ряде прослоек ратовкита, следующих по определенным стратиграфическим горизонтам. Однако, эти горизонты я не могу считать первичными: ратовкит проникал сюда вместе с подземными водами, фиксируясь в подходящей для этого петрографической среде, и наблюдения мои 1920 г. показали, что наибольшие скопления их обычно приурочены к вертикальным трещинам, в которых сам минерал не встречается, но накапливается вместе с кремнем в местах пересечения этих трещин с некоторыми определенными горизонтами.

Таким образом, я считаю скопления ратовкита образованиями катагенетического характера, связанными с биохимическими процессами (что доказывается присутствием в его скоплениях небольших количеств фосфорной кислоты, с содержанием до 4—5% фосфата кальция). Сама возможность образования этих скоплений создана наличностью тех процессов тектонического, магматического и гидротермального характера, которые шли по периферии Московского моря.

Обогащение местами ратовкита фосфатами и сульфатами кальция (5% максимум для первых, а 2—3% для вторых) наводит на мысль об осаждении этих соединений в виде комплексных солей типа фосфорита.

Перейдем теперь к последовательному изучению всего генетического цикла, связанного с этим глубоководным бассейном московского времени, накопившим мощную свиту известняков, доломитов, мергелей и мергелистых глин. Вся эта серия осадков без перерыва переходит в более глинистые и магнезиальные разности Гжельских отложений, а затем выше, после перерыва, лежат уже мелководные глины и пески мезозоя и ледниковый нанос. Огромный континентальный период после каменноугольной эпохи, мощная эрозия ледникового процесса и, наконец, характерное взаимоотношение серии пород из известняков внизу и глинистых осадков с фосфатами и сульфидами наверху, обуславливают катагенетические явления в огромном масштабе, причем местами эти процессы идут и поныне, сливаясь вместе с гипергенетическим воздействием атмосферы.

В сущности только эти катагенетические образования и привлекают наше внимание, тогда как из образований сингенетического или диагенетического характера мы можем отметить только следующие минералы: известковый шпат, доломит, конкреции кремня.

В сущности долго останавливаться на этих образованиях не приходится, так как необходимо иметь в виду отсутствие каких-либо особенных геохимических процессов при образовании карбонатных пород. Любопытно только отметить, что по данным *Николаевского* среди обычного биохимического осаждения углекислого кальция в каменноугольном море шло образование арагонита в качестве окаменяющего вещества кораллов *Chaetetes*. Может быть часть кремней относится к этим же периодам диагенеза, но наше особое внимание привлекают прослойки доломитовых мергелей, постоянно переслаивающихся с известняками. В то время, как часть доломитов верхних горизонтов несомненно относится к позднейшим гипергенетическим процессам выноса карбо-

---

<sup>1)</sup> См. подробнее в главе, посвященной геохимии Урала.

ната кальция, другие горизонты мергелистого характера и обычно зеленоватых тонов (с закисью железа) несомненно должны считаться первичными (вернее диагенетическими). Их образование можно объяснить фиксацией магния при больших концентрациях мелющего морского бассейна, что особенно видно по тому илистому характеру осадков, которые обычно сопутствуют слоям, обогащенным магнезией.

### Катагенез московских известняков.

Как указано выше, наибольший интерес в Московских известняках играют катагенетические процессы, которые в значительной степени продолжаются и сейчас в современной обстановке; таким образом явления катагенеза сливаются с явлениями гипергенеза, и к последним в чистом виде можно относить только ничтожные дендриты марганца, окисление железа или образование пенистого шпата и туфа в местах выхода источников.

Все катагенетические процессы, особенно хорошо наблюдаемые под самую Москву, находятся в зависимости от ряда обменных реакций между карбонатами известняков и элементами покрывающих их глинистых толщ юры и ледникового покрова и частью элементами самой атмосферы. Они могут быть сведены к следующим типам:

- 1) окремнение;
- 2) палыгорскитизация;
- 3) доломитизация (частью процессы диагенеза и древнего гипергенеза);
- 4) накопление каолина (главным образом, процесс древнего гипергенеза);
- 5) образование железных руд <sup>1)</sup>;
- 6) накопление землистого флюорита (ратовкита);
- 7) кальцитизация (кальцит, мрамор);
- 8) накопление коллоидальных гидратов глинозема и кремнезема и землистых фосфатов;
- 9) образование полевых шпатов.

Процесс 6 приурочен к наиболее нижним горизонтам Московского яруса, 1, 2 и 7 — к нижним и средним, а 3, 4 и особенно 8 — почти исключительно к верхним горизонтам или к самой поверхности так называемых переходных слоев.

1) Несомненно самым крупным и очевидным процессом является окремнение известняков с образованием халцедона, агата, полуопала, кремня, кварца, цитрина и аметиста. Целые горизонты Московского яруса сплошь замещаются кремнеземом, образуя красивые пустоты, выстланные различными разновидностями этой минеральной группы (Дорогомиллово, Подольск, Русавкино, по р. Вазузе, Осуге и др.). Этот процесс окремнения шел в значительной степени не только в прошлые материковые периоды этой части русской равнины, но особенно в ледниковое и настоящее время; тем не менее нельзя не отметить, что некоторая часть кремней должна была быть связанной с процессами диагенетического характера, так как носит характер окремнения некоторых палеонтологических остатков, органическое вещество коих, пови-

<sup>1)</sup> Для известняков Московского яруса мало типичный процесс.

димому, непосредственно было замещено кремнеземом. Наблюдение над аллофаноидами (см. ниже) наводит на мысль, что эти реакции вызываются гидрозолями кремнезема, вымываемыми поверхностными водами из коллоидальных глин юрского или ледникового возраста; эти гидрозоли, переходя в гидрогели, или фиксируются в виде силикатов под влиянием карбонатов известняка или доломита; обменная реакция с последними, повидимому, и дает начало тому свободному выделению  $\text{CO}_2$ , которое имеет место в ряде источников, вытекающих из горизонтов Московского яруса.

2) П а л ы г о р с к и т и з а ц и я — является одним из таких процессов обменных реакций между притекающими кремневыми растворами и магнезией глинистых осадков. Весьма вероятно, что значительная часть этого магнезиального алюмосиликата образуется на месте доломитомергелистых прослоек, по которым обычно наблюдаются водоносные горизонты, которые и дают возможность перегруппировки соединений слоя в палыгорскит; однако, не исключено влияние и притекающих вод с кремнеземом, так как изредка этот минерал не только приурочен к определенному горизонту, а наблюдается в вертикальных трещинках доломита.

Из разностей палыгорскита встречаются  $\alpha$  и  $\beta$ , с различным содержанием глинозема, причем первая, как более богатая глиноземом, тесно связана с глинистыми осадками, пропитывая кои, она превращает их в своеобразную массу, напоминающую плохой картон или бумагу. Подробнее ход этих реакций будет описан в главе четвертой.

3) Д о л о м и т и з а ц и я. Как выше отмечено, часть прослоек, содержащих магнезию, носит первичный характер; однако, большие скопления желтого железистого доломита в верхних частях Московского яруса носят несомненно катагенетический или гипергенетический характер. Их образование приходится связывать с выщелачиванием поверхностными водами углекислого кальция и с постепенным обогащением магнезией, благодаря чему образуются иногда чисто мучнистые массы доломитовых кристалликов с большими седлообразно изогнутыми кристаллами в полостях и трещинах.

4) Накопление каолина и глин — связано изредка с верхними горизонтами Московской толщи и достигает большого развития лишь в отложениях Гжельского яруса. Хотя, подобно доломиту, часть глинистых прослоек, переслаивающихся с известняками, носит первичный характер, другая, и притом несомненно большая, связана с катагенетическими реакциями, вызванными водами поверхности восстановительного характера с обычным содержанием угольной кислоты, сероводорода и т. д. Эти воды, по преимуществу, из юрских глин восстанавливают железо и в виде бикарбонатов выносят кальций, магний и железо, накапливая однородный, чистый, иногда белоснежный материал, приближающийся к каолину. Это один из типичных процессов, имеющих место лишь в случае возникновения на поверхности восстановительных вод и повторяющихся постоянно, когда распад известняка или мергеля вызывается растворами, проникающими сверху из глинистых толщ с органическими остатками <sup>1)</sup>. Наоборот — чисто материковое выветривание (ти-

<sup>1)</sup> Часть глин по времени может быть связана с первыми моментами наступания юрского моря.

пичный гипергенез), в сухом и жарком климате и с глубоко расположенною кислородною поверхностью, приводит к процессам иного типа, с замещением известняков железными окисленными рудами или с накоплением продуктов дальнейшего распада глины—бокситов.

5) Процессы образования железных руд на размытой поверхности каменноугольных и девонских известняков изучены с большою детальною *П. Земятченским*. Часть аналогичных процессов замещения связана с пермскими отложениями и подробно излагается при описании четвертой геохимической области.

Хотя эти процессы связаны с воздействием атмосферы и поверхностных деятелей, тем не менее они носят типично катагенетический характер, так как находятся в зависимости от тех железных скоплений, которые приурочены к разным горизонтам юры. Исследования *Земятченского* с полною обстоятельностью показали, что накопление руд не приурочено ни к какому определенному стратиграфическому горизонту карбонатных пород, тесно связано с теми горизонтами, кои непосредственно перекрываются юрскими, меловыми или третичными отложениями, и что по времени этот процесс мог захватывать огромные промежутки начиная от мезозоя вплоть до настоящего времени. Нормальный ход процесса выражается прежде всего в замещении кальция известняков закисью железа и в превращении сидеритов в лимониты, гетиты, гидрогетиты и охры. Некоторые авторы, как *К. Глинка* или *Н. Боголюбов*, связывают генезис этих руд с разрушением глауконитовых песков верхне-волжских горизонтов. Для горизонтов Московского яруса это мало типичный процесс.

6) Накопление ратовкита. Этот процесс уже описан выше детально, и мне остается лишь прибавить, что он идет нередко одновременно с окремнением и палыгорскитизацией, и, потому, парагенезис палыгорскита, кварца, халцедона и ратовкита является весьма постоянным (См. стр. 151).

7) Немного приходится останавливаться и на процессе кальцитизации, которая очень характерна для некоторых средних горизонтов, выражаясь, с одной стороны, в образовании кристаллов кальцита и доломита и налетов известкового шпата, а с другой — в полной перекристаллизации некоторых горизонтов с образованием плотных мраморных масс превосходных технических качеств (Подольский, Шемардинский мраморы и др.).

8) Наконец, весьма интересным процессом является осаждение коллоидальных гидратов глинозема, кремнезема и отчасти железа (см. стр. 153). Гидрозоли этих окислов из черных юрских глин проникают в подстилающие их верхние доломиты, в трещинах коих они отлагаются в виде аморфных корочек типичного коллоидального строения. Повидимому, этот переход в гидрогели связан с действием угольной кислоты известняков или может быть фиксацией угольной кислоты в виде бикарбоната щелочноземельных металлов. В результате этих процессов получается накопление гидратов самого разнообразного состава от чистого гидрата глинозема (шанявскита) до чистого коллоидального кремнезема - лярдита, впервые наблюдавшегося *П. Земятченским* в трещинках каменноугольных известняков различных возрастов. Все промежуточные соединения коллоидов, близкие к аллофанам, были очень

удачно названы аллофаноидами и являются, повидимому, вообще типичными для всех тех случаев, когда коллоидальные глины перекрывают известняки (см. аллофан в девонском известняке стр. 147).

9) К процессам гидрохимической переработки известковых пород (известняков и доломитов) в катагенетический период надо относить и новообразование кристалликов полевого шпата (ортотклаза, микроклина и анортотклаза), отмеченное *И. Землячским* в каменноугольных известняках Тульской, Калужской и Рязанской губерний и девонских—около гор. Липецка. Повидимому, мы имеем здесь дело с общим процессом большого геохимического значения, идущим в древних породах России в колоссальном масштабе. Желательно было бы более систематическое изучение этого вопроса.

### Гжельские слои.

Нам остается сказать еще несколько слов о самых последних отложениях карбона—Гжельского яруса, которые далеко не всюду сохранились, будучи снесены и размыты долгой эрозией юрских бассейнов и в течение материкового периода. Там, где породы этого яруса еще сохранились, они имеют характер верхних горизонтов Московского—преобладание пористых мучнистых доломитов, накопление чистых огнеупорных глин, как результат выщелачивания мергелей, может быть при наступлении юрского моря, проникновение кремневых растворов с осаждением кристалликов кварца, стяжениями кремня и т. д.

Качественно мы в них не встречаем ничего нового, но количественно в них несомненно привлекает внимание распространенность огнеупорных глин высоких технических качеств.

Любопытно новообразование больших кристаллов кварца (до 1 сант.) белого цвета или водянопрозрачных в белой огнеупорной глине ст. Кудиново.

Вслед за известными нам осадками Гжельского яруса наступает долгий континентальный период, смывший и уничтоживший все те прибрежные и мелководные осадки, которые должны были образоваться при отступании Гжельского моря к востоку. Континентальный период с его мощным размывом, а затем последующая келловейская трансгрессия еще более усложнили рельеф известняков, обусловив их метаморфизм и положив начало тому длинному генетическому циклу ката—и гипергенетических процессов, о которых сказано выше.

### **В. Генетический цикл мезозойских отложений и ледникового покрова <sup>1)</sup>.**

В окрестностях Москвы и по Волге в Костромской губ. уже давно было обращено внимание на те минералы, которые связаны с черными глинами, и в которых процессы минералообразования заслуживают особого внимания.

На размытые в течение долгого континентального периода каменноугольные известняки или пестрые пермские мергеля здесь залегли осадки юрских горизонтов от келловей вплоть до гольта и апта (и отчасти турона) мелового возраста. Прибрежные образования мелкого моря, извилистая непостоянная

<sup>1)</sup> Я даю ниже лишь весьма краткое описание геохимических циклов мезозоя, так как вновь вернусь к ним при описании пятой области во втором томе.

береговая линия, может быть местами сильные течения, замедлявшие накопление осадков, и сложные биохимические процессы — такова общая картина химических превращений этого длинного периода времени, отложившего разнообразную серию глин, богатых органическим веществом и фосфорной кислотой, мергелей и песков <sup>1)</sup>. Огромные скопления организмов положили начало ряду особых минералов, среди которых пирит, глауконит и фосфорит являются образованиями, тесно перемешанными между собою и тесно связанными общим генезисом.

В илистой массе осадков, богатых сероводородом и продуктами распада органических соединений, в сильно восстановительной обстановке шли реакции образования конкреций сферосидерита, фосфорита (и барита). Фораминиферы и радиолярии накапливали углекислый кальций и кремнезем, частично потом замещаясь фосфоритным веществом. Остатки аммонитов и других раковин замещались колчеданом или фосфоритом; в сложной химической реакции накапливались зернышки глауконита. Особенно интересными являются те образования, кои приурочены к ряду моментов геологического перерыва: так, в основании неокома и отдельных зон портланда лежат глянцево-фосфориты, образующие весьма крупные скопления в виде конгломерата. По мнению одних они являются вторичным накоплением моря при его трансгрессивных или регрессивных движениях; однако, отсутствие окатанности заставляет искать и другого объяснения: *Архангельский* совершенно справедливо видит в них серию непрерывных, но очень медленных осадков и приурочивает такие кажущиеся перерывы в осадках не столько к трансгрессиям, сколько к очень замедленному темпу осаждения в области сильных морских течений; он очень остроумно привязывает к этому же процессу и массовую гибель планктона и, таким образом, объясняет широкую возможность накопления именно фосфорнокислых скоплений.

Ряд других фактов определенно говорит нам о непостоянстве и резких изменениях режима некоторых горизонтов, напр., портландского, и накоплении фосфоритных слоев в связи с особенно резкими движениями.

В области катагенеза мы не знаем сколько-нибудь резко выраженных химических реакций; что же касается явлений гипергенеза, то их характер в значительной степени сходен с современными воздействиями атмосферы, что и понятно, так как мезозойские отложения, начиная с верхнего мела, сделались поверхностью материка и таким образом уже давно подверглись действию атмосферных агентов. К чисто катагенетическим реакциям надо отнести: накопление кристалликов барита в известковых септариях (Макарьев, Костромской губ.) и пропитывание некоторых горизонтов гидратами окиси железа, или углекислым кальцием, или колчеданом.

Несомненно особый интерес представляет генетический цикл, связанный с процессами гипергенеза. Основным фактором этих процессов является кислород и угольная кислота воздуха. Окисление колчеданов идет по весьма определенному порядку: колчедан прежде всего окисляется в серную кислоту и железный

<sup>1)</sup> Анализы оксфордских глин Елатьмы и Дорогомилова см. Труды Вольно-Экономич. Общ.; 1885. IV. 409.

купорос; первый частично входит в состав мелантерита, образуя кислые соли, частично же дает гипс или вымывается дождем в виде сульфата кальция. Мелантерит в весеннем ландшафте накапливается на черных глинах в довольно больших количествах в виде зеленоватых выцветов; первый дождь смывает эти соли и переносит сульфаты в воды, где железо окисляется и осаждается в виде гидрата, а серная кислота связывается с кальцием. В очень сухую весну можно наблюдать другой тип процесса, когда мелантерит обезвоживается на месте, здесь-же окисляется и, переходя сначала в белую соль, потом постепенно превращается в неизученные еще водные сульфаты окиси железа, столь часто принимаемые по ошибке за самородную серу. Интересно отметить, что при процессах ката—и гипергенеза идет изменение и фосфоритов, из которых частично выносятся фтористый кальций. Другим очень редким продуктом изменения фосфоритов является образование вивианита в его трещинах.

Частично идет просачивание кислых сернокислых растворов в глубины, с чем можно связать накопление некоторых вторичных огнеупорных глин.

Ледниковый покров, размывая мезозойские отложения, положил начало мощной свите глин, частично обусловивших поверхностные водоносные горизонты и этим путем предохранивших юрско-меловые отложения от энергичного окисления. Никаких особых геохимических реакций в их среде мы не знаем.

Наконец, в современной обстановке идет ряд типичных и хорошо изученных геохимических процессов. Почвенный покров почти нигде не захватывает в свой цикл мезозойские отложения и обычно образуется на толщах моренных глин, превращая их в подзолы с горизонтами орштейна. Обычный цикл проходят и болота с их сначала синим, а потом быстро бурющим вивианитом, с болотными и дерновыми рудами.

С геохимической точки зрения—перед нами типичная картина географического режима средних широт с большим однообразием подпочвенных горизонтов (ледниковых), обуславливающих интенсивность атмосферного воздействия на коренные породы лишь в немногих обнажениях по крутым берегам рек или оврагов.

### Общие заключения.

На основании сказанного можно наметить несколько выводов из вышеприведенного разбора минералообразовательных и геохимических процессов области, обоснование и развитие коих является задачей дальнейших, более полных и более планомерных исследований:

1. Центральный район характеризуется отсутствием процессов гидротермального, магматического или посторогенического характера, а его слабые дислокационные явления лишь косвенным образом явились причиной некоторых геохимических процессов (F).

2. Самыми интересными геохимическими явлениями области следует признать сингенетические и диагенетические образования с фиксацией фосфора и калия, а также ряд катагенетических процессов, возникающих на границах глинистых (юрских) и известковых (каменноугольных) осадков.

3. Смена глубоководных бассейнов континентальными образованиями и мелководными бассейнами создает своеобразный и несколько раз повторяю-

щийся генетический цикл, в котором особенно характерным является образование сульфата глинозема, во первых, и осаждение его известковыми породами с накоплением гидратов глинозема (бокситов, аллофана, аллофанов и т. п.)—во вторых.

4. Катагенетические процессы в ряде отложений продолжаются и ныне, продолжая окремнение, доломитизацию, лимонитизацию и палыгорскитизацию карбонатных пород, часть коих выносятся водами, часть же разлагается с выделением свободной угольной кислоты.

5. Геохимическая ассоциация элементов резко отлична для палеозойских и мезозойских отложений; первая характеризуется весьма своеобразным комплексом элементов обычного поля с определенно выраженным развитием поля глубинного; в этом виде ассоциация элементов совершенно сходна с соответственными ассоциациями тех жильных процессов и горных хребтов, кои возникли в конце палеозойской эры (Нагольный кряж, Урал).

6. Характерными чертами этой ассоциации является своеобразная роль F.

7. Геохимическая ассоциация элементов мезозойской толщи совершенно определенно построена из элементов органогенного характера, чему и отвечает целый цикл биохимических реакций на дне неглубокого моря.

8. Отличительными чертами ее является обогащение K и P, а также приурочение бария исключительно к горизонтам секвана и оксфорда.

9. Катагенетические реакции в мезозойской толще развиты весьма слабо а гипергенетические, хотя и носят весьма интенсивный характер, но известны лишь в немногих местах, где кислородная поверхность может быть проведена через их толщу.

## ГЛАВНЕЙШАЯ ЛИТЕРАТУРА.

### По геологии.

1. Бок и Дитмар. Матер. геологии России. 1871. III. 79, 186.
2. С. Никитин. Лист 56-ой. Труды Геолог. Комит. 1884. I. № 2 (Ярославль, Ростов....).
3. Struve. U. Schichtenf. in den Carbonabl. im südl. Th. d. Moskauer Beckens. Mem. Acad. Sc. 1886. XXXIV. № 6.
4. С. Никитин. Каменноугольные отложения подмосковного края. Труды Геолог. Комит. 1890. V. № 5.
5. С. Никитин. Лист 57-ой. Ibidem. 1890. V. № 1.
6. Guide du Congrès géolog Spb. 1897. (S. Nikitin).
7. Труды фосфоритной Комиссии при Сельско-Хозяйственном Институте в Петровско-Разумовском. 1909—1915. I—VII (под редакцией Я. В. Самойлова).
8. П. Борисов. Очерк геологии и полезных ископаемых Олонецкой губ. СПб. 1910. 30.
9. В. Хименков. Каменноугольные отложения Тверской губ. Ежег. геол. и мин. России. 1910. XI. 174—190.
10. В. Хименков. Изв. Геолог. Комит. 1912. XXXI. 247—248. (Тверской губ. по р. Волге и притокам).
11. А. Розанов. О зонах Подмосковного портланда. Bull. Soc. Nat. Moscou. 1912.

12. *Н. Соколов*. Гидрогеологический очерк Московской губ. Изд. Моск. губ. земства. 1913.

13. *А. Шавлов*. Геологический очерк окр. Москвы. Москва. 1914.

14. *П. Пальчинский*. Боровичско-Тихвинский район. Цетр. 1919.

15. *Я. Самойлов*. Залежи известняк. для сельско-хоз. нужд Московской губ. Изд. Общ. Комит. по делам удобрений. Москва. 1919 (с картой).

**По минералогии и геохимии.**

16. *А. Крылов*. Труды Яросл. Статист. Комит. 1871. Вып. 7 (источники Яросл. края).

17. *П. Земятченский*. Железные руды Центральной России. Труды СПб. Общ. Ест. Отд. геологии и минералогии. 1889. XX.

18. *Д. Артемьев*. Барит из Костромской губ. Bull. Soc. Natur. de Moscou. 1904. p. 364.

19. *Zemiatčenski*. Ueber Orthoklas... Lipezk. Zeit. f. Kryst. 1904. 379.

20. *А. Иванов*. Матер. минералог. экскурс. в окр. Москвы. Журн. „Естествознание и География“. М. 1907. №№ 2—3.

21. *С. Чарноцкий*. Очерк месторождений железных руд... Зап. Горн. Инст. 1908. I. 343.

22. *Я. Самойлов*. О месторождениях тяжелого шпата Костромской губ. Изв. Акад. Наук. 1910. 857.

23. *В. Ильин*. Микроскоп. строение подмоск. каменноуг. изв. Bull. Soc. Nat. Moscou. 1911. XXV. Прот. 11.

24. *Ф. Николаевский*. Ряд статей по минералогии окр. Москвы. Изв. Акад. Наук. 1912. 292, 715; 1914. 147.

25. *А. Ферсман*. Материалы и исслед. магнез. силикат. Зап. Акад. Наук. (VIII). XXXII. 1913.

26. *Хименков и Соколов*. Серный колчедан, огнеупорная глина и каменный уголь. Москва. 1913. Изд. Рябушинского.

27. *А. Ферсман*. К минералогии окрестностей Боровичей. Изв. Акад. Наук. 1915. 1559.

28. *А. Сергеев*. Поиски ратовкита в отложениях Подмоск. края. Труды Геолог. Музея Акад. Наук. 1915. I. Год издания 1919.

29. *Я. Самойлов и Н. Червяков*. Об аллофане Рязанской губ. Изв. Акад. Наук. 1915. 197.

30. *А. Карпинский*. О происхождении накоплений плавикового шпата. Изв. Акад. Наук. 1915. 1539.

31. *П. Степанов*. Изв. Геолог. Комет. 1915. XXXIV. 329 (Боровичи).

32. *М. Пригоровский*. Серные колчеданы в южной части Подмосковного бассейна. Изв. Геолог. Комит. 1915. XXXIV. 807.

33. *М. Пригоровский*. Об углях и некоторых других ископаемых Подмосковного бассейна. Изв. Геолог. Комит. Ibidem. 1057.

34. *Я. Самойлов*. Месторождения серного колчедана. Мат. Ест. Пр. Сил России. 1916. № 12.

35. *П. Земятченский*. Фельдшпатизация известняков. Изв. Акад. Наук. 1916. 99—122.

36. *Н. Боголюбов*. Разр. железной руды... Калужской губ. „Рудный Вестник“. 1916. I. 109—115.
37. *А. Антропов и Э. Акерман*. Анализы ратовкита. Труды Комиссии Сырья. I. 1916 42; III. 1916 52.
38. *И. Епифанов*. Боровичское месторождение каменного угля. Отд. брошюра. СПб. 1916.
39. *С. Обручев*. Поиски алюмин. руд в Тульской и Рязанской губ. „Рудный Вестник“. 1917. № 1.
40. *В. Хилленков*. Троицко-Екатерин. минер. источн. Мат. общей и прикл. геологии. 1917. XIII.
41. *Б. Кротов*. О месторождении флюорита близ дер. Лаклы. Прил. прот. Каз. Общ. Ест. № 335. 1917.
42. *М. Пригоровский*. Мат. по прикл. геологии. XXX. (Угли, колчеданы и глины Подмосковного края).
43. *А. Стопневич и В. Исюль*. Тихвинский боксит. Мат. Ест. Пр. Сил России. 1919. № 31.
44. *М. Пригоровский*. Огнеупорные глины Центральной России. Мат. Ест. Пр. Сил России 1921 № 35.
45. *В. А. Зильберминц*. Месторождения глин в Вытегорском у. Маг. по общей и прикладной геологии. 1921, № 55.

# Область четвертая.

## Пермские море и суша <sup>1)</sup>

„Сменились бухты великого продуктового моря Фетиды волнами цехштейна, но в борьбе северной пустыни и моря победителем вышла пустыня—правда только на время“

*Вальтер, 1908*

### Г р а н и ц ы.

Г р а н и ц ы области—определяются вообще довольно резко, за исключением южных, где меловые и юрские трансгрессии частью перекрыли пермские отложения и, потому, местами сильно усложнили проведение границы или сделали ее условной.

Опираясь на побережье Ледовитого океана, на востоке граница идет вдоль больших палеозойских складчатых хребтов сначала Тимана, а потом Вишерского Урала; вдоль западных склонов Урала она протягивается вплоть до Оренбурга, причем всюду за предельную границу мною взяты горизонты, отложившиеся после главнейшей фазы образования Урала, т. е. после конца артинского времени. Огибая с юго-востока Оренбург, граница идет вдоль р. Самары, охватывает с запада район Жигулей и затем идет вдоль Волги до Тетюш, севернее Симбирска, откуда ее направление можно в общих чертах наметить так от Тетюш до устья Суры, далее на Ардатов, Муром, Ковров, Ярославль и вверх по Мологе и далее на северо-восток. При таком проведении границ в область включается вся зона юрско-меловых отложений, уже описанных в районе III.

С административной точки зрения в район входят: значительная часть Архангельской губернии, почти вся Вологодская без северо-восточных уездов, значительная часть Костромской губернии и лишь северная часть Ярославской, вся Вятская и почти вся Казанская без юго-западной части, западные уезды Пермской и Уфимской губерний, северная часть Самарской и почти вся Нижегородская без самого южного участка.

---

<sup>1)</sup> Я обязан исключительной благодарностью *Б. К. Лихареву*, крупнейшему специалисту русского палеозоя, за многочисленные замечания и исправления в тексте настоящей главы, часть которых ниже мною отмечена особо

## Геология.

Геологическое строение огромной территории мало разнообразно, и, если мы снимем на карте мощный покров послетретичных и ледниковых отложений, то перед нами вырисовывается однообразная окраска пермских горизонтов, в середине и на юге перекрытых пестрыми мергелями пермотриаса, и лишь в качестве отдельных, но довольно больших пятен на ней были бы остатки юры и мела. Если к этому еще прибавить, что под поверхностью пермских известняков и мергелей кое-где, особенно на юге и на обеих окраинах, выглядывают верхние (частью и средние) каменноугольные горизонты, очевидно подстилающие всю область на всем ее протяжении, то мы получим довольно простую картину пермского бассейна в его главнейшей части <sup>1)</sup>.

В сущности довольно проста и сама геологическая история.

Мы видим в середине каменноугольной эпохи большое восточно-русское море, далеко протягивающееся с севера на юг и уходящее на восток в Азию. Оно омывает отдельные острова, длинную цепью вулканических покровов и отдельных выходов тянущиеся на месте современного Урала. Начало отложений Московского яруса знаменует собою перелом: сбросы и сдвиги протягиваются по линии Уральских островов, мельчает и мелеет восточное сибирское море, постепенно превращаясь в сушу. Мощные дислокации продолжают нарушать глубины верхнекаменноугольного моря на месте современного Урала, глубокие впадины геосинклинали углубляют море в этом же районе, тогда как с запада море медленно оттесняется к востоку, а на востоке подготавливается образование большего материка.

Перед нами начало перми: пермское море сменяет на востоке Европейской России верхнекаменноугольное; на западе эта смена протекает без перерыва, на востоке ее намечают прибрежные отложения артинских песчаников, тогда как в центре наступает длительный перерыв минералообразования, на границах с пустынной сушей Азиатской Гондваны из глубоких синклиналей и вулканических островов вздымается складчатый Урал, образуя береговой кряж великого русского пермского моря, которое омывает склоны этого молодого хребта и одинокий осгров уфимского нагорья. Смяты и сжаты в складки, прорваны изверженными породами отложения верхних каменноугольных горизонтов, еще испытывали сильные складчатые дислокации отложения пермокарбона (артинского), но все спокойнее и спокойнее лежат перед нами слои сначала кунгурских известняков, потом могучих песчанистых пород Уфимского яруса. Глубокие геосинклинали вдоль вздымавшегося массива сменились прибрежными отложениями, не надолго нашло на них кунгурское море, и лишь отдельные меридиональные сбросы нарушали картину этих отложений верхней перми, открывая доступ соляным источникам (Чернов).

Резко различаются перед нами эти песчанистые восточные окраины от западных глубин моря, спокойно накопившего свои известняки Казанского

<sup>1)</sup> В меридиональном направлении пермский бассейн тянулся далеко на юг, вероятно занимая место современного Каспия и Астраханской низины и отделяя от себя два залива — один к Харькову, в область Донецкого бассейна, другой в область Предкавказья и современного Крыма.

яруса, разделяясь менее глубокими зонами на три меридиональных полосы более глубоких бассейнов (*Кротов*).

В сложной цепи явлений умирает и это море к концу пермской эпохи; разбиваясь на бухты, озера, моря, оно то мелеет, превращаясь в соляные озера, то вновь углубляется, пока в конце перми и начале триаса не сменяется сушей—необозримой спокойной равниной с озерами, низинами и мелкими, то солеными, то пресноводными бассейнами. А на юге в Астраханской степи расстилается южное море, связываясь с великим теплым триасовым океаном—Фетидой.

Наступает долгий континентальный период, смывающий и разрушающий Уральский хребет: сносятся реками на материк продукты его размыва, и лишь временно пересекает север этого материка верхнеюрское и нижнемеловое море, отлагая свои продукты небольших глубин. Широким рукавом перерезало оно к Ледовитому океану поверхность триасовой суши, то связываясь отдельными проливами с морями запада, то расстилаясь к югу. К югу от линии Вологда—Казань—Оренбург перед нами открывается серия изменчивых береговых линий верхнеюрского моря, и, таким образом, весь юго-западный край нашей области покрывается изменчивыми глинистыми осадками юры, от которых сейчас лишь остались отдельные островки. А между Вологдой и Казанью другой северный рукав простирался к ледовитым морям, омывая Тиманский остров и заходя на восточный берег разрушающегося Уральского хребта. Многие из этих осадков смыто и уничтожено, лишь отдельные островки сохранились на пестрых отложениях татарских мергелей, но огромно было геохимическое значение этой серии, сконцентрировавшей в себе новые элементы, накопленные на поверхности суши в долгие годы ее континентального режима.

Спокойно и тихо лежит перед нами пермская равнина; мягко, нолото сгибались в антиклинальные складки вятских увалов, столь-же мягко изогнулись их линии в разных местах Поволжья, и только на юге в верхнетретичное время картина была нарушена рядом более крупных дислокаций (Жигули на Волге, Сюкеево, р. Шешма и др.), разбивая трещинами и сбросами старые мягкие складки и устанавливая связь между горизонтами разных возрастов. Уголком покрыла более древние отложения на юге третичная (акчагылская) трансгрессия, а двигавшийся с северо-запада ледник покрыл всю северную часть ледниковым наносом, а далее к югу—своими флювиогляциальными отложениями рек и озер.

С севера бореальные воды бореальной трансгрессии покрывали своими мелководными осадками части нашего района, с юга их заливала каспийская трансгрессия, но все эти моменты с геохимической точки зрения не имели большого значения.

Что же окружало пермское море и пермскую сушу? Что давало материал для их отложений и влияло на их геохимический характер?

Пермское море на северо-западе лишь узкою полосой каменноугольных известняков, образывавших его берега, отделялось от Феноскандии, вероятно в те времена еще покрытой эопалеозойским покровом, и обильный материал песку и гальки или растворимых солей, щелочей и щелочноземельных металлов, давал размыв этого гранито-гнейсового горста и покрывавших его песчаников и известняков. На юго-западе те же верхнекаменноугольные известняки образывали берег уходившего на восток моря, и на берегах шли процессы их хими-

ческого и физического изменения морскими волнами. Открытое море тянулось далее на восток; лишь вулканические острова и на их обломках выросшие Уральские складки то давали в геосинклиналях кремнеземистый материал для обильной фауны кремнистых организмов (губок, радиолярий, диатомовых и т. д.), то сносили к берегам гальку, песок и ил размываемых массивов.

Великая пермотриасовая суша рисуется нам лишь как северо-восточная окраина Азиатской Гондваны. Те же породы на западе доставляли материал кластического характера, тогда как Урал, в виде мощной горной цепи вздымаясь среди Европейской и Азиатской равнины, в процессах своей денудации давал обильный материал для континентальных и прибрежных отложений.

Такова в общих чертах картина геологии нашей области. Подведем кратко итоги сказанному:

1. Характерною чертою геологии IV области является спокойное и почти ненарушенное напластование известковых пород пермского моря, в значительной части области непосредственно продолжавшего осадки каменноугольного <sup>1)</sup>.

2. Почти вся поверхность морских осадков покрыта осадками терригенного, пресноводного или солономелководного характера,—пестрыми мергелями пермотриаса.

3. Через северную часть с юго-запада на северо-восток и вдоль юго-западной границы протягиваются частично уцелевшие отложения юрского и мелового возраста.

4. В остальное время и в остальной части вся поверхность пермских отложений до настоящего времени оставалась сушей, будучи лишь покрыта ледниковым наносом и отчасти осадками постплиоценовых бассейнов (бореальной и аралокаспийской трансгрессий).

5. Большая часть области лишена крупных дислокаций, за исключением с одной стороны юга, где ряд сбросов и пологих складок нарушают равновесие слоев, давая начало ряду геологических и геохимических процессов, с другой—востока, где накопление в геосинклинали осадков пермокарбона сопровождалось вдоль Урала меридиональными сбросами.

6. Восточной границей района являются Тиман и Урал, главные времена складчатости которых относятся для первого к верхнему карбону, а для второго к началу перми (нижнему пермокарбону), причем эта складчатость поступно налегает на старые тектонические направления девонского и до-девонского времени.

7. Ледниковый покров перекрывал больше, чем половину всей области, лишь на юго-востоке оставив область Прикаспия свободною.

8. Незначительные мягкие складки или флексуры (типа Вятского увала) геохимически не выразились в каких-либо заметных посторогенических процессах, за то молодые сбросовые линии южной части района, по Волге и у Жигулей, сделались серьезным геохимическим фактором. Равным образом и сбросы Приуралья дали новый материал для геохимических процессов, открыв доступ к поверхности соляным растворам.

---

<sup>1)</sup> Максимальная мощность пермских известняковых отложений достигает 300 метров.

9. Роль юрского и мелового покрова с их органогенными скоплениями заслуживает исключительного внимания, дав основной материал для скоплений железных руд и ряда других соединений.

10. Долгий континентальный период, частично с характером пустынь, вызвал процессы элювиального и делювиального разрушения пород и этим подготовил на осадках различных возрастов накопления глин и железных руд, главным образом, в связи с геохимическими особенностями послетретичных отложений и с субтропическим климатом некоторых периодов третичной эпохи

### О р о г р а ф и я и м е с т о р о ж д е н и я

Слабо холмистая и увалистая равнина с необозримыми лесными пространствами и широкими долинами на севере и степями на крайнем юге — такова основная картина современного ландшафта нашего района, далеко тянущегося от берегов Ледовитого океана с тундровым покровом почти вплоть до полупустынных картин южных уездов Самарской губернии. Слабые увалы как Вятский, или широкие долины мощных рек разнообразят картину рельефа, несколько осложняящуюся к востоку, где местность, сливаясь с предгорьями герцинских складок Урала, носит более холмистый, а далее и гористый характер. Усложняется рельеф и к югу, нарушенный третичными складчатыми движениями широтных направлений. В этой общей картине хорошие обнажения и доступные исследователю месторождения открываются почти исключительно по обрывистым берегам рек или впадающих в них глубоких оврагов. По Северной Двине, Сухоне и Вычегде, по нижнему течению Оки, по Волге с ее многочисленными притоками и особенно по Каме с Вяткой и Белой в обрывистых нагорных берегах на целые версты обнажаются породы осадочной серии, доставляя местами обильный и прекрасный материал для наблюдений и сбора.

За последние два столетия к естественным выемкам присоединились и искусственные таковы многочисленные дудки для добычи железных руд в Нижегородской губернии (особенно в Ардатовском уезде на границе с Владимирской губернией и в Вятско-Камском водоразделе), многочисленные ломки известняка, доломита и алебаstra по Оке и Волге, добычи строительных известняков по Волге у Казани или у Жигулей, разработки асфальта (Жигули) или битуминозного сланца и нефти (Сюкеево, Тетюшского уезда Казанской губернии). Наконец, в Приуральской полосе таковы многочисленные (свыше 1000) рудники, некогда добывавшие медь из песчаников, но ныне совершенно заброшенные, а в Соликамском районе — многочисленные буровые скважины для добычи рассолов.

Нельзя не упомянуть и о железных дорогах, давших на юго-востоке ряд новых выемок, а в Предуралии осветивших своими разрезами целый ряд геохимических вопросов.

Однако, как бы ни многочисленны были обрывы речных долин или копи и копушки человека, все же часть поверхности, известной нам в нашей области с минералогической и геохимической точки зрения, совершенно ничтожна, и, если мы обратим внимание на то, что наш район превышает

более, чем в 1<sup>1/2</sup> раза Францию или Германию, то мы убедимся, насколько схематичны и отрывочны наши сведения об этой большой области.

### Минералы <sup>1)</sup>.

Минералы района не очень разнообразны, но зато весьма характерны и частью совершенно самобытны, характеризую ряд геохимических особенностей района.

Самородные соединения представлены весьма слабо: медь не часто попадается в рудниках Приуральских песчаников, более обычна и даже практически интересна сера, тесно связанная по своему происхождению с различными геохимическими процессами, но почти всегда в начальных стадиях процесса приуроченная к гипсам. Образование кристаллов серы в районе обусловлено двумя главнейшими процессами—восстановлением гипса углеводородами и окислением сероводорода в источниках в зимнее время.

Из сернистых соединений широкое распространение имеет только пирит (частично и марказит?) и особенно сероводород. Очень плохо изучены и химически неясны сернистые руды пермских медных песчаников, среди которых отмечается медный блеск, халькопирит и блеклая руда, но никаких химических доказательств этих определений не приводится, хотя В. И. Вернадский считает основной рудой халькозин и ставит тетраэдрит под вопросом. Остается недоказанным, хотя и возможным, нахождение никкелистых колючанов на берегах Волги (см. стр. 177).

Более богаты окислы: куприт (кирпичная медная руда) <sup>2)</sup>, кварц, халцедон, агат, опал, кремень, лимониты разных типов, вода, лед (пещерный). Огромного внимания заслуживают галоидные соединения: галит, вероятно, сильвин или их сростание в виде Hartsalz.

Совершенно необычным минералом является ванадат меди—фольбортит (открытый в 1839 г.), тогда как из фосфатов мы знаем фосфориты и вивинит и обильные скопления фосфатов в костях ящеров.

Углекислые соединения представлены минералами: кальцит в нескольких разновидностях, арагонит, сидерит, сферосидерит, доломит, стронцианит (Казань), малахит, азурит. Среди них особый интерес представляет описанный *Соболевым* холмогорит, основной доломит с избытком магнезии, по сравнению с углекислотой. Очень богаты и заслуживают особого внимания сульфаты: гипс, ангидрит, барит, целестин, мелантерит, фельсобаниит (Самарск. Лука), эпсомит, ближе

---

<sup>1)</sup> Говорить специально о горных породах области не приходится: коренных изверженных пород мы в районе не знаем. Обильные валуны ледникового покрова по преимуществу принесены с Коляского полуострова для большей части области и из восточных уездов Олонецкой губ. и Карелии—для западных, в меньшей степени с Тимана и Северного Урала. Из осадочных пород мы встречаемся с исключительно пестрою картиною известняков, доломитов, ангидрита, гипса, конгломератов, песчаников, песков, песчаникодоломитовых пород, мергелей, рухляков, глинистых пород, частью углистоглинистых сланцев. Петрографически и генетически изучены только породы Жигулей в прекрасной работе *Поинского* (См. Список литературы 19).

<sup>2)</sup> Если только такое определение правильно.

не определенные сульфаты типа квасцов и не вполне доказанная глауберова соль.

Среди силикатов мы встречаем, помимо ничтожных составных частей глин и песков (слюды, глауконит), любопытные минералы с классическими месторождениями мирового значения — палыгорскит, волконскоит, а также огнеупорные глины (частью типа каолина).

Наконец, весьма любопытен ряд соединений углерода: нефть, асфальт, битуминозные сланцы, углистые сланцы, бурый и каменный уголь, торф.

Таков очень небольшой список минералов этого района, минералогически очень плохо изученного и, потому, не дающего достаточного материала для минералогической характеристики.

### Э л е м е н т ы .

На таблице стр. 168 помещены все химические элементы, до сих пор наблюдавшиеся в области пермских отложений района. Поставлены в скобки элементы юрских горизонтов, так Р, F, как и некоторые другие, не вполне доказанные или случайные. К этой же группе недоказанных, но вероятных, *В. И. Вернадский* для этого района относит Sb, Ag, Pb и отчасти Co в медной черни. К сожалению, отсутствие точных аналитических данных не позволяет совершенно точно фиксировать эти данные.

### Геохимическая диаграмма пермского моря и суши.

Ряды.	I	II	III	IV	V	VI	VII	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Ряды.
1	H		—	—	—	—	—	.	.	.	.	C	N	O	(E)	.	2
3	Na	Mg	Al	Si	(P)	S	Cl	.	K	Ca	.	Ti	V*	Cr*	Mn	Fe Ni	4
5	Cu*	.	.	.	(As)	Se	(Br)	.	.	Sr	.	.	.	.	?	.	6
7	.	.	.	Sn	.	.	.	.	.	Ba	.	.	.	.	?	.	8
9	.	.	.	.	.	.	?	.	?	.	.	.	.	.	—	—	10

*Примечание:* Тире обозначает свободное место в таблице Менделеева; точка — отсутствие данного элемента в исследуемой области, знак вопроса — неоткрытый еще элемент. Элементы в скобках — по преимуществу связаны с отложениями юры и мела; элементы со звездочкой — встречаются лишь в восточной части области. Ср. с таблицей Менделеева, приложенной на особом листе.

В таблицу вошло всего 27 элементов, среди которых условно (в скобках) помещено четыре элемента преимущественно мезозоя.

Геохимическая ассоциация весьма своеобразна. С одной стороны она состоит почти исключительно из элементов обычного поля, в котором, однако,

появляется вся группа основных элементов Ti, V, Cr, Mn, Ni, Fe и далее следующий по Менделеевской таблице Cu. Таким образом все элементы ультраосновных магм, занимающие в Менделеевской таблице строго определенное место, обнаруживаются в описываемом районе, но при том почти исключительно приурочиваясь к восточным его частям. В этом не трудно видеть влияние Урала и основных выделений его магм. Из необычных полей кроме меди, о которой уже упомянуто, определенно отмечаются только барий и стронций. Первый, как и тяжелые металлы обычного поля, приурочен к восточным частям, второй широко связан с известковой свитой осадков сернокислого и углекислого типа, т. е. его скопления оказываются приуроченными к определенным биохимическим условиям, которые широко повторяются как в России, так и вне ее, всегда обуславливая связь стронциевых соединений с регрессирующими морскими бассейнами (Сицилия, Предкавказье, Закаспийский край, Западная Двина и др.).

**Водород.** Входит в состав воды (льда), сероводорода и различных углеводородов, которыми столь богат этот район. О последних см. ниже при углеводе.

**Углерод.** Соединения углерода представляют во всем районе совершенно исключительный интерес, и, потому, на их характеристике мы должны несколько остановиться.

Первый тип—соединения карбонатов—играет огромную роль во всех отложениях области, причем размыв западных берегов пермского моря, состоявших из каменноугольных известняков, доставлял обильный материал углекислого кальция и отчасти магния и этим облегчал, особенно в западной половине бассейна, накопление путем биохимических и физико-химических реакций карбонатов щелочно-земельных металлов.

Гораздо сложнее, но и интереснее вторая группа соединений углерода в виде битумов, нефти, асфальта, углистых прослоек, битуминозных сланцев. Для их современного распространения мы можем нарисовать сейчас нижеследующую схему: <sup>1)</sup>

Современные и послетретичные отложения . . . . .	сапропели <sup>2)</sup> , торфяники * в различных районах: аллювий, пропитанный вытекшим гудроном (по р. Шешме); остатки древесины * в постплиоценовых и палеогеновых песках и глинах. См. ниже.
Третичные (акчагыл) . . . . .	измененный торф, превращенный в углистый сланец.
Юрские . . . . .	1) горючие сланцы * в портландских (нижневолжских) отложениях; 2) битуминозные и углистые сланцы * оксфордско-келловейские (Вятская губ.); 3) асфальт Жигулей.

<sup>1)</sup> Звездочки обозначают вероятную синхроничность с вмещающим осадком.

<sup>2)</sup> Пропуск отмеченный Б. К. Лихаревым.

Татарский ярус . . . . .	обугленные деревья *, прослойки угля—гагата, редко песчаники, окрашенные асфальтом—киром (Козьмодемьянский уезд, отчасти Чистопольский уезд).
Казанский ярус (верхи) . . . . . (преимущественно известково-гипсовая фауна)	1) в основании конхиферового горизонта—гудронный песчаник Шешмы; * 2) нефть и битумы в доломитах Сюкеева (6 горизонтов с увеличением книзу насыщенности и с переходом в более легкие фракции). 3) асфальт Жигулей.
Казанский ярус (низы) . . . . .	1) в медистых песчаниках обугленные стволы (гагат) *; 2) по р. Шешме два горизонта (главных) гудронного песчаника *;
Уфимский ярус (?) . . . . .	3) нефть из глинистых горизонтов по р. Соку *; 4) нефть * Стерлитамака и по р. Белой.
Пермокарбон . . . . .	1) асфальт Жигулей; 2) остатки стволов деревьев в артинских песчаниках.
Карбон C <sub>3</sub> . . . . .	1) асфальт Жигулей; 2) углистые сланцы * Уфимского плато; 3) асфальт по р. Белой.
C <sub>2</sub> . . . . .	
C <sub>1</sub> . . . . .	каменные угли * Приуралья <sup>1)</sup> ).

В вышеприведенной таблице можно подразделить все скопления соединений углерода на несколько групп: одни из них носят заведомо синхроничный характер с вмещающим его осадком и, потому, могут быть отмечены как образования, несомненно связанные с биохимическими реакциями на дне мелководных морских или пресноводных бассейнов. В этих случаях мы имеем дело с осадками глинистого характера, и часть скоплений носит чисто растительный характер углей, углистых сланцев без большого количества летучих соединений. (Образования терригенные или паралические). Другая часть в этой синхроничной группе характеризуется образованием битуминозных сланцев, тоже глинистого характера, но в накоплении которых несомненно принимали участие и планктонные животные. Это образование мелких частей морских бассейнов, богатые серою и железом, связанные, таким образом, с солеными бассейнами,—напр., юрские, верхневожские битуминозные сланцы.

Наконец, третья группа скоплений связана с песчаниками или известняками, с гипсами самых разнообразных возрастов; она носит характер нефти или гудрона, очень богата серою, иногда хлором: это гудронные песчаники уфим-

<sup>1)</sup> Горизонты C<sub>1</sub> с углем нам известны лишь в Приуралья, но их геохимический характер далее к западу нам совершенно неизвестен, хотя не исключена возможность продолжения угольных слоев и под артинские песчаники.

ских отложений и асфальты Жигулей, одинаково распространенные как в юрских, так и пермских, пермокарбонных и верхне-каменноугольных отложениях. По отношению к большинству из них синхроничность их подлежит вопросу, а в некоторых случаях даже опровергается рядом фактов. *Ноинский* по отношению к Жигулям совершенно определенно высказывается против синхроничности с каким-либо одним из вышеперечисленных отложений и склонен связывать накопление асфальта с проникновением нефти из глубины, в чем он совершенно сходится с предположениями *De-Launay*. Эта же синхроничность обычно отрицается и для Сюкеевских доломитизированных известняков, но определенно признается *Нечаевым* и *Замятинным* для песчаников нижне-казанского возраста в районе Шешмы. *De-Launay* делает довольно смелое предположение о связи с девоном, который должен подстилать каменноугольные известняки; для близкого (но далеко не сходного) Уральского района *Замятин* определенно высказывается за связь нефти с мезозойскими и, в частности, юрскими отложениями.

Я затрудняюсь дать правильное объяснение происхождению нефти, асфальта и гудронов, но согласно *Ноинскому* и *Frenzel'ю* и отчасти мнению *Замятина* и *Тихоновича* считаю их посторогенетическим минералом, связывая их распределение по различным горизонтам с третичными (альпийскими) дислокациями и облегчением проникновения растворов и обменных реакций. Лично я, в связи с общей теорией происхождения нефти, о которой я буду говорить в общем обзоре геохимии Европейской России, связываю их с моментом перерыва или мелководных отложений между пермокарбоном и серединой казанского яруса и думаю, что именно период уфимских песчаных отложений или озерных гипсов является первоисточником этих скоплений (см. таблицы VI и VII). С этой точки зрения я и толкую таблицу на стр. 169—170, при чем согласно с мнением *Замятина* допускаю некоторую миграцию этих образований как вверх, так и вниз в связи с процессами катагенетического и посторогенетического характера.

**А з о т.** Входит в разных количествах в состав битумов области, обнаруживая в некоторых из них высокий процент, что, наравне с высоким процентом серы, заставляет связывать их генетически с животными остатками.

**К и с л о р о д.** Никаких особенностей не обнаруживает. Окисление нефти и превращение ее в асфальты или вязкие битумы является, повидимому, весьма характерным процессом при ее миграции. Не менее любопытны процессы окисления железа и серы.

**Ф т о р.** Нам неизвестен в галоидных соединениях, а входит как нормальная составная часть фосфоритов юрско-мелового возраста. Вместе с тою же фосфорною кислотою он фиксирован в костях ящеров, образующих в пестрых мергелях, иногда целые прослойки.

**Н а т р и й.** Играет роль лишь в галоидных соединениях каменной соли; см. хлор.

**М а г н и й.** Принадлежит к важнейшим химическим элементам всего района, накапливаясь в некоторых горизонтах в огромных количествах. Вместе с тем особый интерес связан с ним благодаря той миграции, которая в общем не обычна для этого элемента, но в данном случае весьма характерна.

Соединения магния частично принадлежат к первичным осадкам регрессирующего замкнутого бассейна, где образование доломита шло непосредственно на дне бассейнов, обычно илестых и несколько глинистых.

Вторичное накопление того же доломита связывается с процессами поверхностного выветривания (гипергенеза) и катагенеза, при которых поверхностные воды выносят большое количество двууглекислых солей кальция, обогащая целые горизонты соединениями магния. В этом случае магний играет пассивную роль, мигрируя гораздо труднее, чем кальций, что мы наглядно видим по составу современных источников, вытекающих как из татарской толщи, так и из казанских или уфимских горизонтов: все они обнаруживают огромный процент  $\text{CaCO}_3$  при почти полном отсутствии углекислого магния, что очень наглядно сказывается на составе пресноводных туфов известняков, почти совершенно лишенных  $\text{MgO}$  и, потому, весьма ценных для обжига.

Тем не менее мы знаем в целом ряде горизонтов пермских пород и активную роль магния, раскрытую для средней части района моими исследованиями, а для южной — работами *Нюинского*. В первом случае магний фиксируется в виде водного алюмосиликата и накапливается в результате сложных обменных реакций в форме палыгорскита; (см. далее стр. 189), во втором случае, наоборот, наблюдается переход магния в подвижное состояние путем вытеснения гипсом угольной кислоты из карбоната магния и образования легко-растворимого эпсомита (стр. 185). Дальнейшая судьба миграции этого элемента в данном случае мне неизвестна; несомненно, однако, что  $\text{MgSO}_4$  растворяется текучими водами и с ними, очевидно, направляется в большие водные бассейны.

Одна поразительная реакция бросается нам в глаза в этой области. *Н. Н. Соболев* описал на огромном протяжении водораздела Онеги и Сев. Двины образование особых пород, названных им холмогоритами и отличающихся присутствием основной соли карбоната магния и кальция. Постоянный недостаток в анализах угольной кислоты для покрытия всего количества  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$  заставляет предполагать наличие каких-то нам неизвестных химических реакций, под влиянием которых частицы карбоната магния переходят в основную соль. В связи с этим процессом идет мощное выщелачивание известняков, частично обогащенных гипсом.

Характер этой реакции нам совершенно неясен.

Алюминий — принадлежит к элементам мало подвижным в условиях нормальной серии осадочных пород, и его миграция является возможной лишь при сочетании особых физико-географических и геохимических условий. Глинистые и мергелистые образования являются единственными известными для нас первичными минералами сингенеза. Отсутствие их геохимического обследования не позволяет нам говорить об условиях их образования, но во всяком случае прочная связь в них глинозема с кремнеземом и сравнительно слабая миграция этих двух элементов говорят о каолиновом строении главных минералов.

Лишь частично глинозем и кремнезем входят в обменные реакции с магнезиальными соединениями при образовании палыгорскита (см. стр. 189).

Тем не менее для глинозема во всех районах мы сталкиваемся с весьма важной реакцией, которая проходит красною нитью через всю таблицу гене-

тических циклов и определяет собою накопление высокопроцентных чистых глин в разнообразных стратиграфических горизонтах, но при условии, что последние испытали материковое выветривание (гипергенез) или подверглись катагенетическому воздействию юрских пород. При этих процессах, ниже описываемых с большою подробностью, частью образовались рудные образования, частью же получились высокосортные остаточные глины, благодаря химическому выщелачиванию большей части карбоната кальция.

Привожу систематику глинистых продуктов в осадочных отложениях района.

Возраст слоев, кои перекрываются глинами.	Вероятное время накопления глин.	Сопровождающие образования.	Местонахождение.
Пестрые мергеля (P <sub>3</sub> ).	Постплиоценовое или современное.	Сферосидериты, угли, пески.	Камско-Вятский водораздел.
Казанские известняки (P <sub>3</sub> ).	Третичное или постплиоценовое.	Железные руды.	Окско-клязьминский район.
Пермские известняки и доломиты разных горизонтов (P <sub>2</sub> ).	Юрское (бат) (самые нижние горизонты юры).	Бурый железняк, под меловыми кварцевыми песками.	Самарская Лука <sup>1)</sup> .
Кунгурские известняки (P <sub>3</sub> ).	Третичное? (по Варсонофьевой).	Железные руды (иногда).	Уфимское плоскогорье.
Артишские песчаники (P <sub>3</sub> ).	Третичное? <sup>2)</sup> (по Варсонофьевой).	Пески, обугленная древесина.	Уфимское плоскогорье.
Гжельские известняки и доломиты (C <sub>3</sub> ).	Постпалеозойское (третичное?).	Железные руды.	склон Урала.

Выяснение времени образования скоплений глин весьма трудно, тем более что оно захватывает огромный промежуток времени континентального и элювиального разрушения земной поверхности, во время которого продукты гипергенеза много раз перемещались и химически перегруппировывались, так что третичные или постплиоценовые осадки в своей основе базируются на уже подготовленных и, может быть, перемытых глинах предыдущих периодов. Исключение составляют лишь юрские огнеупорные глины, представляющие несомненные продукты гипергенеза периода от карбона до бата и перекрытые юрской трансгрессией.

Кремний — играет огромную роль в образованиях района, частью (на востоке) в качестве кластического материала (песков, песчаников, конгломератов), частью-же в форме биохимического осадка, связанного в известняках с органическими остатками (радиоляриями, фораминиферами, спикулями губок и т. д.).

<sup>1)</sup> Частью и над доломитами верхнего карбона.

<sup>2)</sup> Если отнести элювиальное образование к третичному периоду (миоцену?), то накопление мелкослойных глин и песков в районе артишских песчаников можно было бы приурочить к постплиоцену.

Часть кремневых скоплений мы связываем с диagenетическими процессами: таковы кремни дымчато-темного цвета, которые образуют огромные караваны с грубо слоистой или грубо агатовой структурой в казанских известняках Поволжья. Совершенно иной характер имеют в тех-же районах халцедоновые натёки и кремнистые образования вокруг конкреций гипса или целестина, образующие местами очень красивые скопления и связанные с позднейшими процессами миграции этого элемента.

**Ф о с ф о р.**—Обогащение фосфорною кислотою (до 1%) замечается в песчаниках, обволакивающих кости ящеров в татарских песчаниках по Двине, Сухоне и др. м.), а также в современных болотных рудах (в Нижегородской губ.—до 3,5%, в Костромской губ.—до 5,1%). Любопытно обогащение фосфором и некоторых горизонтов казанских известняков, заключающих вместе с тем обильные остатки рыб (особенно, так называемый, мыльник против Казани).

**С е р а.**—Этот элемент играет очень большую роль в геохимических процессах области, путем сложных биохимических реакций накапливаясь в ангидритах или гипсах пермокарбона и перми (редко карбона), или в виде колчедана,—в темных юрских глинах. Первый частично обменивается с доломитами и в виде выцветов  $Mg SO_4$  выносятся водами, второй разрушается по обычной схеме, превращаясь в мелантерит или вторичный гипс, тоже действующий на карбонаты магния.

Мало изученные, частью фреактические, частью биохимические восстановительные процессы в гипсах приводят к накоплению сероводорода, а затем и кристаллической серы, а с другой стороны и сами восстановители в условиях более глубоких горизонтов — нефть, асфальт и гудроны,—являются носителями этого элемента, содержа его иногда до 3,7% (напр., в гудроне Сюкеева).

**Х л о р.** — Единственным известным нам в области соединением хлора является хлористый натрий, которому, повидимому, в скромных размерах сопутствует хлористый калий. Галит является весьма распространенным соединением, будучи приурочен к разнообразным по возрасту горизонтам осадочной свиты:

Татарский ярус . . . . .	Илецкая Защита (по Д. Соколову,—? А. Ф.), Балахна Костромской губ. (А. Нечаев,—? А. Ф.).
Казанский ярус (нижние горизонты).	Соляные источники Среднего Поволжья.
Уфимский ярус . . . . .	Илецкая Защита (Замятин, Ноинский), Соликамские слои (Нечаев), (вероятно этого возраста Донецкая соль).
Кунгурский . . . . .	Соликамские слои (Чернов)—мощностью до 120—130 саж.
Пермокарбон . . . . .	Усолъе (Жигули по Ноинскому).
Артинский . . . . .	(Соликамские слои—Кротов <sup>1)</sup> ), слабые соляные источники Приуралья (Нечаев).

<sup>1)</sup> Б. К. Лихарев мне указал, что это мнение сейчас имеет лишь историческое значение.

Девон (средний и верхний). . . . . Соляные источники в Южном Приуралье (Нечаев).

Из этой схемы мы видим полное отсутствие определенных данных о возрасте главных соленосных толщ или пластов, обуславливающих минерализацию соляных источников, с другой стороны повторное осаждение гипсоносных и соленосных толщ, начиная с пермокарбона и кончая низами татарского яруса<sup>1)</sup>.

Для вопросов геохимии это отсутствие точной хронологии не играет большой роли, так как несомненно, что в течение большого времени в современной восточной России господствовали такие климатические и геохимические условия, благодаря которым в разные моменты в разных местах происходило высыхание или обмеление замкнутых бессточных бассейнов, окаймленных песками в обстановке пустынного ландшафта. Эти скопления (частично сжатые в штоки позднейшими тектоническими процессами) могут достигать колоссальной мощности; так, напр., в Илецкой Защите бурение в 68 саж. с лишним не дошло до подстилающих пород. Особенно типичным является приурочивание таких соляных озер как к восточной, так и к западной окраинам большого Пермского моря; к первым мы относим полосу Приуральских соленых варниц, ко вторым—многочисленные соляные источники Вологодской и даже Олонецкой губ. Впрочем, для части последних несомненна связь с соленосными породами девонского возраста, на что частично указывается и для Южного Приуралья.

К а л и й. — Вопрос о нахождении калиевых солей на востоке России, в связи с Соликамской или Илецкой соляной толщей, представляет огромный научный и практический интерес. До настоящего времени, однако, все сведения случайны, неполны и требуют подтверждения.

Больше всего указаний имеется на Соликамский район, где в коллекции минералов скважины был найден образец сильвинита (Hartsalz); к сожалению, это открытие не было подтверждено *in situ*, и действительное происхождение образца из скважины остается под сомнением. К сожалению, не вполне точными оказались указания на содержание калия и в других образцах Троицкого завода, где было сначала найдено довольно высокое содержание калия. Такие-же повышенные проценты калия были сначала обнаружены и в рассолах, однако, по подсчетам Курнакова количество KCl в рассолах не превышало 0,1—0,5 процентов, оставаясь вообще близким к отношениям между NaCl и KCl в морской воде. Любопытно, но еще не проверена находка Петунчикова в буровой скважине Иваново-Вознесенска на глубине 328 саж. водоносного горизонта с 5% NaCl и 5% KCl. Автор связывал эти соли с выщелачиванием пермских отложений (нет-ли ошибки в анализах?), однако, может быть было бы правильнее при этих глубинах говорить о девоне.

Целый ряд указаний связывался и с Илецкою Защитой, где по анализам было найдено в воде одного родника 1,26% KCl. Повидимому, цифры для этого района более правильны, хотя тоже нуждаются в проверке.

Во всяком случае, если мы до сих пор еще и не обнаружили действи-

---

<sup>1)</sup> Может быть—и в верхах татарского яруса, но из них соль могла быть выщелачена длительными процессами гипергенеза

тельных скоплений калиевых соединений в Приуральской полосе, то все же вся генетическая картина скорее говорит за возможность их нахождения где-либо в верхних частях соленосных толщ, что может быть доказано лишь систематическим бурением в разных частях Приуралья.

Вне растворимых солей калий нам известен лишь в очень редких глаукобитовых зернах преимущественно артинских песчаников.

Кальций—вместе с магнием играет огромную роль, особенно в западных частях области, где процессы его миграции заключаются, главным образом, в выносе известковых вод, с образованием пресноводных известняков. Огромный вынос солей кальция, частью с восстановлением кислородных соединений, идет в гипсоносных слоях, вызывая образование целых карстовых районов и своеобразных гипсовых пещер <sup>1)</sup>.

Титан—определен только в огнеупорных глинах Вятско-Камского водораздела и Уфимского плато, где его содержание доходит до очень высокого процента (4,1%)<sup>2)</sup>; для других районов отсутствуют аналитические данные, хотя и нет никаких оснований где-либо ожидать особых накоплений этого элемента.

Ванадий.—Нахождение ванадиевых соединений в пермских песчаниках тех горизонтов, которые обогащены и медными соединениями, составляет одну из любопытнейших задач геохимии района. Ванадий частично связан с определенным минеральным видом — фольбортитом, частью рассеян в неизвестных нам ближе соединениях в составе самих медных руд; так технические анализы и результаты выплавки меди в начале сороковых годов, по свидетельству *Шубина*, обнаруживали в среднем содержание V мет. не менее одного процента, причем для его отделения необходимо было прибегать к особым мерам.

Сам минерал фольбортит является уже позднейшим продуктом фиксации ванадиевой кислотой меди, кальция и бария.

Хром.—До сих пор остаются для нас загадочными находки волконскоита, минерала с 18 — 34% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, образующего неправильные гнезда или прослойки в медистых песчаниках, выше главного горизонта медных руд. До сих пор этот любопытный минерал из группы хромовых глин известен только из двух мест: с. Ефимятского Пермской губ. Оханского уезда (откр. в 1830 г.) и Ухтыма Вятской губ. К этим месторождениям надо прибавить старое указание *Георги* на шахты Аннинского завода, согласно толкованию его описания *Штукенбергом*. Так как по мнению *В. Юрыжановского* этот минерал образует довольно постоянный горизонт, то весьма вероятно, что он будет открыт еще в ряде других пунктов и в своем распространении захватит целую область.

И генетически, и геохимически образование этого минерала нам кажется загадочным, и приводимое в литературе объяснение, связывающее его, согласно мнению *Я. Самойлова*, с биохимическими реакциями, остается лишь красивым,

---

<sup>1)</sup> При изучении процессов растворения гипса геологи нередко упускают из вида максимальную растворимость его при 36° С. и ее уменьшение при изменении температуры в ту или другую сторону, что имеет при процессах пустынного климата огромное значение.

<sup>2)</sup> Повышенный процент титана весьма характерен как для глин Уфимского плато, так и для глинистых образований Камско-Волжского водораздела. В Иргинском районе процент окиси титана в белых глинах доходит до 3,5%, а в Кунгурском—даже до 4,1%

но не обоснованным предположением. Любопытно отметить, что согласно старым анализам *Керстена* и *Илмова* в волконскоите содержится около 0,2 — 1,0%  $PbO$ ? *Ангель* связывает его происхождение с разрушением хромовых силикатов типа уваровита, забывая, что до ближайших хромовых месторождений по прямой линии около 200 верст. Не исключено скорее накопление среди песков и песчаников шлихов магнетита и хромистого железняка.

**Марганец**—нам совершенно неизвестен в сколько-нибудь значительных количествах; только в железных рудах *Выксунского* района его количество колеблется около 2—3%. Иногда в известняках наблюдаются дендриты железомарганцевых окислов. В современных болотных рудах наблюдается повышенный процент марганца (в *Нижегородской* и *Костромской* губ. до 4%).

**Железо**.—Проблема миграции и накопления железа весьма любопытна, но не может быть пока выяснена с достаточной детальностью: этот элемент накапливается, во-первых, в виде болотных руд, богатых фосфором и с заметным содержанием калия, во-вторых, в виде колчедана, сферосидерита и бобовых руд в юрских отложениях, в-третьих, в многочисленных, весьма своеобразных скоплениях железных руд, приуроченных к разнообразным горизонтам, — верхам карбона, пермокарбону (особенно *Кунгурскому* ярусу на *Урале*), конхиферовому горизонту *Казанского* яруса, пестромергельной свите. Иначе говоря, обогащение железом может наблюдаться в самых разнообразных стратиграфических горизонтах. будучи, таким образом, связано с позднейшими процессами в меньшей степени катагенеза, в большей — гипергенеза. Повидимому, в этих процессах поверхностного накопления железных руд огромную роль играл размыв юрских отложений, весьма богатых соединениями железа; инфильтрация железистых растворов из этих слоев и могла обуславливать образование материковых или пресноводных скоплений железных руд.

Несколько иначе протекал процесс обогащения железом известняков в *Приуралье*, где мы имеем очень характерную лимонитизацию карбонатных пород по трещинам или карманам неправильной формы.

Привожу нижеследующую схему железнорудных месторождений нашего района: (см. таблицу на стр. 178).

Приведенная таблица обнаруживает два типа железных скоплений: одни сингенетичны с породой (а именно 1, 2, может быть 7), другие, наоборот, связаны с процессами скорее метасоматического характера, с замещением железистыми растворами карбонатных пород самых разнообразных возрастов.

**Никкель**. — Совершенно исключительным по интересу является нахождение никкеля в колчеданах неизвестного ближе горизонта района *Богородского* — *Тетюши* по *Волге*. Первое указание *Виллениуса* (1885 г.) было сначала опровергнуто, и его цифры (содержание  $NiO$  до 15%) подвергнуты сомнению. Между тем новые исследования *Драверта* обнаружили в доломитовом известняке близ лежащего *Сюкеева* мелкие вкрапления никкельсодержащего пирита. В этом-же районе *Драверт* встретил в трещине известняка лучистые звездочки никкелевого карбоната (заратита). Личный осмотр материала *Драверта* не позволяет сомневаться в правильности этого определения.

**Медь**. — Этот металл играет огромную роль в песчаниках *приуральской* **Ферсман**

Таблица распространения соединений железа

Возраст подстилающих горизонтов	Сопутствующие минералы.	Главные месторождения.	Время образования рудных скоплений.
1 Послетретичные осадки.	Вивианит, торф, болотная руда.	В разнообразных районах.	Современное или постледниковое.
2 Юра (нижнекелловейские).	Сидерит, лимонит, фосфорит.	По реке Сыsole	Одновременные.
3 Пестрые мергеля татарского яруса <sup>1)</sup> .	Сферосидерит, лимонит, углистые остатки, пески, огнеупорные глины	Камско-Вятский водораздел в районе Сыsole.	Постплиоценовые
4. Пестрые мергеля татарского яруса (под юрскими глинами, превращенными в глину—„талоконку“).	Сферосидерит, пески, кремни лимонит, палыгорскит.	Окско-Муромский район.	Послеюрский, может быть постплиоценовый.
5. Казанский ярус (конхифер гориз. чаще, реже брахиоподовый)	Глины, кремни, палыгорскит, обломки известняка, сферосидерит.	Ардатовско-Муромский район.	Послеюрский.
6. Кунгурский ярус (Pd).	Лимонит, огнеупорные глины	Приуралье, Уфимское плоскогорье	Третичный.
7 Артинский ярус (Pc).	Железистые конгломераты в основании	Приуралье	
8 Карбон C <sub>3</sub> .	Огнеупорные глины, углистые частицы	Окско-Клязьминский район	Постплиоценовый.
9 Карбон C <sub>3</sub> + C <sub>2</sub> .	Лимониты в известняке	Приуралье	Послепермский

толщи, причем главное его распространение должно быть отнесено к верхам Уфимского яруса. Повидимому, было-бы неправильно приурочивать скопления медных соединений к одному строго определенному горизонту, так как, очевидно, накопление меди связано с довольно длительною фазою геохимического процесса, в разных местах в разное время осаждавших сингенетически медь в мелководных высохавших соляных бассейнах. Хотя подавляющее число наблюдений говорит за связь медных руд с Уфимским ярусом, тем не менее ряд вполне вероятных отдельных наблюдений заставляет связывать их в некоторых случаях с Казанским или даже низами татарского, так что в некоторых районах возможно нахождение нескольких медных горизонтов,

<sup>1)</sup> К Богданович (1921) считает, что железные руды этого района лежат не на замещенном татарском ярусе, а на пестроцветной толще Уфимского, петрографически почти не отличимой от пород первого.

отстоящих на десятки метров. Точное определение возраста этих горизонтов далеко не всегда возможно благодаря литологической близости, но вероятно что такие указания на медные соединения, какие сделаны для Уржумского и Котельничского района *Кротовым* (связь с татарским ярусом), основываются на недоразумении<sup>1)</sup>.

До сих пор основными медь-содержащими минералами этого района считались: пирит с содержанием меди, халькозин, халькопирит и вторичные продукты их катагенеза и гипергенеза—малахит, азурит и фольбортит (в последнем 34—38% CuO); никаких других тяжелых металлов в них до сих пор не обнаружено, что может быть просто объясняется отсутствием детальных химических анализов. Очень типична и постоянна связь песчаных горизонтов со скоплениями остатков древесины, которые несомненно сыграли роль восстановителя при осаждении медных растворов из неглубоких бассейнов и озер пермского моря. Всюду медистые песчаники подстилаются красными глинами, называющимися на местах — вапом, ниже которого обычно поиски медных руд прекращаются.

Генетически мы не имеем никаких оснований не считать эти образования сингенетическими осадками и не ставить их в связь с мощным разрушением Уральской цепи с ее богатыми месторождениями медных руд. Сами детали фиксации медных соединений от нас сейчас ускользают, но наиболее приемлемой является гипотеза *Я. Самойлова*, связывающего медные соединения с физиологическими особенностями морских организмов пермского моря, замещавших в своей крови железо другим, близким по атомному весу металлом—медью.

Не менее интересно с геохимической точки зрения нахождение меди в пиритах доломитовоизвестковых слоев Казанского яруса Поволжья, где (Сюкеево-Богородское) *Виллениус* якобы обнаружил мышьяк и медь до 5—8%, и где вместе с медью обнаруживается и никкель (верно-ли?). Небольшое (в сотых долях процента) содержание меди обнаруживается в юрских колчеданах Поволжья, причем, повидимому, это содержание является весьма обычным и повторяется в целом ряде сколько-нибудь точных химических анализов.

Никаких других данных о распространении меди в нашей области не имеется.

Мышьяк — отмечается в ничтожных следах и не вполне достоверен: так химически не доказаны находки *П. Драверта* арсенопирита в пермских медистых песчаниках на кусках древесины. Не более достоверно указание *Виллениуса* на большое содержание мышьяка в колчеданах по берегу Волги ниже с. Богородского. Вероятно, совершенно произвольно отмечаемое в медистых песчаниках нахождение блеклой руды. В юрских колчеданах отмечается весьма часто, но обычно лишь в сотых долях процента (напр., Урмаево, на границе Казанской и Симбирской губ., в келловее).

Селен — отмечается в ничтожных количествах в юрских колчеданах (в келловее на границе Казанской и Симбирской губ.).

<sup>1)</sup> Отметим для сравнения, что очень сходные медистые песчаники Донецкого бассейна относятся *Н. Яковлевым* к верхней части карбона или пермокарбона и перекрываются соленосной толщей (аналогичной Уфимскому ярусу).

Бром—обнаружен в маточных рассолах Соликамских варниц в ничтожных количествах.

Стронций — является очень типичным и довольно распространенным элементом известково-гипсовой фации пермских отложений, в иных случаях генетически отвечая знаменитому месторождению сульфата стронция в Джирдженти (Сицилия). В противоположность бария, стронций связан с более глубоководными осадками карбонатного типа или с гипсами.

Нам известно нахождение целестина в нижеследующих восьми пунктах:  
В брахиоподовом горизонте Казанского

- |   |   |
|---|---|
| яруса <sup>1)</sup> . . . . .                         | 1) в раковинах на берегу р. Вятки и Яранском уезде;   |
|   | 2) против Казани на берегу р. Волги Свияжского уезда (Моркваши, Печищи, Верхний Услон и т. д.); |
|   | 3) у Красновидова в раковинах оолитов;  |
| В пермокарбоне . . . . .                              | 4) Серная гора Жигулей (среди гипса);   |
| В артинских мергелях . . . . .                        | 5) по р. Чусовой вместе с антраконитом, (в литературе ошибочно описан, как ангидрит);           |
| В каменноугольном известняке С <sub>3</sub> . . . . . | 6) на берегу р. Уфы в Уфимской губернии;  |
| Неизвестного возраста (пермокарбон?).                 | 7) в гипсе у ст. Томилово около Самары.   |

Наконец, восьмое месторождение открыто *Б. Федюским* в 1922 году в известняках, повидимому, наиболее верхних горизонтов пермских отложений по р. Пинеге

Из всех перечисленных месторождений единственно богатым является месторождение на берегу Волги против Казани, где запасы настолько значительны, что могли бы играть некоторую, хотя и скромную, практическую роль.

Стронций, повидимому, является в первичном своем залегании, т. е. вероятно сконцентрировался из рассеянного состояния в органических остатках и путем позднейшего метаморфизма в период катагенеза положил начало целестиновым желвакам. Часть целестина в процессах того же катагенеза переходит в стронцианит под влиянием углекислых растворов поверхности (гипергенез).

Барий.—В пермских отложениях барий очень редок и далеко уступает по своей распространенности стронцию, будучи вообще связан по преимуществу с прибрежными или пресноводными образованиями. До сих пор в виде барита он нам известен лишь в двух местах: с одной стороны в прибрежных осадках Приуральских толщ артинского яруса, где мы его знаем в форме прожилок в септариях с аммонитами. Второе месторождение, количественно совершенно ничтожное, мною было отмечено на сферосидеритовых стяжениях среди измененных пермских глин, повидимому, конхиферового горизонта в железнорудном районе Выксы. Однако, он и здесь носил позднейший характер и мог быть связан с теми юрскими растворами, кои вызвали оруденение известковых горизонтов, и остатки которых еще покрывают рудные слои.

<sup>1)</sup> Или в низах конхиферового горизонта

Тем более поразительным является содержание бария в целестинах Поволжья, где количество  $BaSO_4$  колеблется по данным *Драверта* от 1,4 до 4,09%. Мне кажется, что позволительно сомневаться в правильности этих указаний, так как точный анализ, произведенный позднее, обнаружил в Морквашском целестине всего 0,9 — 0,15%  $BaO$ . Совершенно исключительный интерес представляет содержание бария в фольбортите (до 4,3% — анализ *Гвнтон* минерала из Воскресенского рудника Пермской губ.). Происхождение  $BaO$  в данном случае неизвестно. Более широко распространение бария в различных горизонтах юры. См. область V.

Олово (?) — отмечалось в продуктах выплавки медистых песчаников, но в качестве минеральной составной части самих руд оно неизвестно.

### Генетические типы.

Генетические типы района совершенно исключительно интересны и особенно потому, что представляют замкнутую группу явлений, совершенно исключаящих магматические или иные термические процессы глубин. В этом отношении область представляет полную противоположность горсту Феноскандинавского щита, где почти всякая частица литосферы испытала на себе различные по глубине и интенсивности формы метаморфизма.

На всей территории мы не только не имеем процессов магматических, но нет никаких признаков явлений гидротермального <sup>1)</sup> или типично рудожильного типа; это тем более интересно отметить, что южные и восточные окраины захвачены дислокационными процессами; даже близость Урала нигде непосредственно не проявилась в области термальных процессов этих районов.

С другой стороны, если здесь отсутствуют явления поствулканического характера, то во всяком случае генетические процессы посторогенетического типа здесь несомненны. Образование дислокаций разных типов в восточном районе создали не только механические условия для совершенно новых путей циркуляции обменных растворов, но частично внесли в осадочные слои новые химические элементы, которые несомненно находились в генетической связи с Уральскими массивами (Sr, U, Cu). Не менее велико значение посторогенетических процессов в Поволжье, где все своеобразие химических реакций частично находит свое объяснение в создании мощного химического обмена между группами пород, раньше бывших совершенно разобщенными от обменных реакций (см. ниже стр. 136). В геохимических таблицах VI и VII процессы посторогенетические связаны с катагенетическими.

Помимо посторогенетического типа, частично сливающегося с явлениями катагенеза, мы сводим подавляющее число геохимических процессов к ниже-следующим типам:

1. Первичные и диагенетические типы как чисто физико-химического характера, так и биохимического.
2. Катагенетические процессы обмена и концентрации элементов.

---

<sup>1)</sup> Может быть, только некоторые кварцевые или кальцитовые жилы в артинских песчаниках носят термальный характер.

3. Процессы гипергенеза—физико-химического, атмосферного, биохимического и иных типов.

Таким образом, в четвертом районе наблюдаются все типы преобразований, связанных с нормальной жизнью свиты осадочных пород.

#### Таблицы генетических циклов (на особых листах).

Несмотря на кажущуюся простоту реакций пермского моря и сменившей его пермотриассовой суши, с геохимической точки зрения история генетических процессов в них довольно разнообразна и позволяет разделить всю область на две группы: западную и восточную.

Таблица VI дает схематическое изображение основных геохимических реакций в западной части бассейна в Поволжье, включая сюда и Жигули, ограничивая этот район приблизительно 22 меридианом от Пулкова: в нее вошла геохимическая характеристика пермских отложений области, и лишь кратко намечены особенности подстилающего карбона и покрывающей юры, мела и третичных или послетретичных отложений.

В таблицу VII вошла вся восточная часть области, занимающая прибрежные отложения Уральского хребта, начиная с пермокарбона вплоть до современных. Эта таблица тесно примыкает к описанию генетических циклов западного склона Урала, в том виде, как они даются на таблицах, приложенных к району XII.

Как в ту, так и в другую таблицу мезозойские отложения юры и мела, а также палеозойские образования вошли лишь очень кратко, и для понимания последних необходимо отсылать к описанию областей III, V и XII.

Большую сложность и неоднородность представляют явления катагенеза, к которому мною в таблице условно отнесено большое количество различных образований как чисто катагенетического, так и отчасти посторогенетического характера. При огромной миграции некоторых элементов и соединений (напр. углеводородов) из разных горизонтов, картина современного распределения минералов и химических элементов совершенно не отвечает их первичному распределению.

#### Генетические циклы.

Уже из геологического очерка была видна общая картина того пермского морского бассейна, с генетическими циклами которого нам приходится считаться в этом районе в первую очередь. Мы отмечали там границы бассейна, его залегание с восточным берегом, окаймляемым Уральским хребтом, прибрежной зоной большого Сибирского материка и с западными берегами из пологих склонов каменноугольных известняков и известняков пермокарбона. Эта несимметричность строения бассейнов резко проявилась в характере геохимических процессов и заставляет нас в нашем изложении генетических циклов разделить всю область на два района: собственно Поволжья и Приуралья. Сообразно с этим мною и даны на табл. VI и VII две схемы циклов, к изложению коих я и перехожу <sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Для правильной постановки стратиграфических подразделений этих таблиц мне дал многоценных указаний *Б. К. Лихачев*.

## I. Западная часть пермского моря и суши.

Мы должны были бы вероятно начать всю генетическую историю района с еопалеозойских процессов, но фактически они нам нигде неизвестны; равно всюду мы должны подразумевать в глубинах осадки мелкого моря нижнего карбона. В естественных обнажениях перед нами открываются первые геохимические картины свитой кремнистых известняков Московского яруса, с теми же типичными чертами окремнения и доломитизации, с которыми мы уже познакомились при изучении Центрального каменноугольного бассейна. Интересно отметить, что в данном районе, там где эти известняки перекрыты мощными толщами горизонтов  $C_3$  и всей пермской свитой, мы видим главным образом образование синевато-серых отдельных кремней диагенетического характера и почти совершенно не наблюдаем того массового окремнения целых слоев, которое наблюдалось в Московском бассейне под влиянием инфильтрованных сверху вод из юрских и ледниковых отложений (впрочем, в Жигулях, такие горизонты нам известны).

Несколько напоминают нам вышеописанные гжельские слои и более высокие горизонты карбона, где перед нами также картина сильного катагенеза слоев, превращение известняков в доломиты в одних местах, раздоломичивание (с выносом  $MgSO_4$ ) в других, образование скоплений кристаллов доломита и кальцита в пустотах (доломитовая мука) и, наконец, полное замещение карбонатных пород, с вынесением углекислого кальция и оставлением на месте чистых, частью даже огнеупорных глин и железных руд. Очень важным является для объяснения деталей этих процессов, что образование глин и железных скоплений наблюдается только в тех горизонтах карбона, которые по их осадке испытали регрессию и затем после материкового перерыва или сохранились в виде поверхностных (подпочвенных) образований, или же испытали на себе верхнеюрскую трансгрессию. Геохимическая судьба таким образом резко различна для этого типа осадков, с одной стороны (Окско-клязьминский район), и осадков непосредственно перекрытых пермокарбонem (как в Окско-клязьминском районе, так и в Жигулях).

К процессу образования глин и железных руд я вернусь в конце настоящей главы, сейчас же вкратце остановлюсь на тех геохимических процессах, которые отметил для верхнего карбона *Ноинский* при изучении Жигулей.

Каменноугольное море в своих отложениях верхних горизонтов, приравняемых обычно к гжельскому ярусу и более высоким горизонтам, по видимому, было не очень глубоким, что видно, например, из Балахнинской скважины, где эти горизонты сильно обогащены доломитами и гипсами, что вообще для каменноугольных отложений является исключительной редкостью: нигде в других районах мы не знаем этих геохимических особенностей верхних горизонтов карбона, и невольно напрашивается мысль, что наблюдаемые *Штукенбергом* гипсы были инфильтрованы из более высоких горизонтов (?), или же, что сами горизонты должны быть отнесены к пермокарбону.

В нижних горизонтах преобладают известняки, выще же господствуют доломиты, обнаруживая постепенное обмеление бассейна.

Частью без перерыва, частью после материкового периода разной продолжительности <sup>1)</sup> открытое каменноугольное море сменилось морем пермокарбона, тоже довольно глубокого, но более замкнутого водного бассейна с более повышенной соленостью воды. Постепенное обмеление бассейна постепенно сменяло глубоководные биохимические осадки карбонатов глинисто-мергелистыми доломитами, а потом чисто озерно-лагунными осадками с толщами осадков физико-химического характера: ангидрита, гипса, соли с редкими конкрециями кремня и вероятно зернышками глауконита. Еще сейчас вытекающие из пермокарбоната соляные ключи (Жигули) нам говорят об отдельных скоплениях соли, как раз в это же время особенно обильно накапливавшейся в Приуральской прибрежной полосе пермокарбона. Перекрытые сверху мощными известняками, доломитами и гипсами, подстилаемые снизу очень сходною и столь же мощною серией аналогичных пород осадки пермокарбона не могли испытать в явлениях катагенеза каких-либо особенно значительных химических превращений, и только местные перекристаллизации, образование желваков и жилок кварца и доломита или кристаллов кварца несколько разнообразили эту картину.

Краткое время какой то заминки в минералообразовании или может быть даже короткого перерыва наблюдаем мы на границе пермокарбона и Казанского яруса. Охватывая вероятно длинный период времени, отвечаемый для Приуралья мощным накоплением песчанистой (красноцветной) серии Уфимского яруса, этот промежуточный период для Поволжья и всего западного района тем не менее сыграл свою огромную роль, и я склонен к этому моменту относить большинство тех скоплений веществ, которые положили начало углеводородам, рассеянным по различным горизонтам всего района: и нефть, залегающая в низах Уфимского яруса, и асфальты можно связать с этим периодом кратковременного перерыва в породообразовании, связанного с мощным накоплением растительных и животных организмов планктона в прибрежных зонах. Но это только предположение, доказательства которого могут быть даны лишь новыми исследованиями.

Но вот начинается мощная свита Казанского яруса, часто называемого русским цехштейном, мощностью до 900 — 1000 футов, сплошь состоящая из белой серии известняков, доломитов и гипсов, лишь частично замещаемая к западу и к востоку песчаниками.

Особенно значительны здесь скопления гипса, выщелачиваемые поверхностными водами и образующие этим путем пещеры и сплошные пустоты, в которых обрушивающаяся поверхностная кровля известняков и доломитов превращается в своеобразную брекчиевидную породу, впервые разгаданную *Нюнкским* <sup>2)</sup>. Легко растворимый гипс обуславливает разнообразные процессы перекристаллизации этого минерала, и вообще трудно себе представить большее разнообразие внешнего строения, чем у гипса этой области, то образующего белоснежные массы мелкозернистого алебаstra, то серые кристаллические „глазчатые“ скопления с розами более крупных кристаллов, селенитовые волокнистые

<sup>1)</sup> В последнем случае часто отсутствует и пермокарбон.

<sup>2)</sup> Брекчиевидные доломиты известны в пермокарбоне, перми и даже в карбоне.

жилы, пластинчатые и листоватые массы; ко всему этому присоединяется красивый серый или голубоватый ангидрит, называемый местным населением мрамором или леденцом. Особое разнообразие минералов обнаруживает течение р. Пьяны у знаменитой Барнуковской пещеры в Нижегородской губернии.

Не менее разнообразны здесь и карбонатные породы самого разнообразного строения и внешнего вида, испытавшие на себе различные реакции диа-, ката- и гипер-генеза.

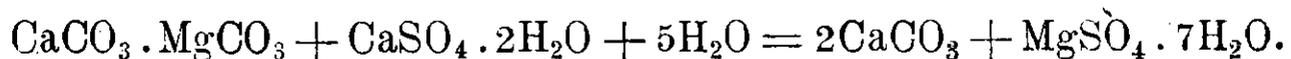
Мы лишены возможности во всей полноте и во всем разнообразии проследить все те химические реакции, которые шли или идут в этой интересной области, и список продуктов которых помещен у нас на таблице VI.

Ниже я остановлюсь лишь на некоторых наиболее интересных геохимических процессах.

О кремнии карбонатных пород носит здесь двойной характер, связываясь с реакциями диа- и катагенеза. Целые горизонты доломитов замещены вторичным кремнем, однако, самым красивым и своеобразным образованием здесь является катагенетическое возникновение больших желваков халцедона голубоватого цвета, с прихотливою concentрическою полосчатостью. Источник кремнезема вряд ли приходится искать вне самих известковых слоев, а скорее в кремнистых органических остатках, рассеянных в массе карбонатных пород.

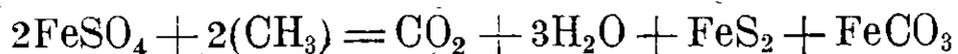
Однако, самые интересные генетические циклы в области катагенеза намечаются в двух направлениях: в обменных реакциях между породами Казанского яруса и их покрывающими юрскими и, во вторых, в пропитывании разных горизонтов жидкими углеводородами. Особенно интересен первый процесс, изученный с большою детальною *Нюнксним* в области Жигулей и дающий идеальный пример чистого катагенеза (т. е. обмена между петрографически разнородными слоями).

Как будет описано ниже, известняки и доломиты перми перекрываются юрскими песчанистыми и глинистыми толщами, богатыми колчеданом и железными рудами. Окисление этих сернистых соединений, наблюдаемое очень резко в весеннее время, дает начало растворам сернокислого кальция и железа, которые проникают через песчанистые толщи в пермские доломиты, вызывая, например, следующую очень характерную реакцию:

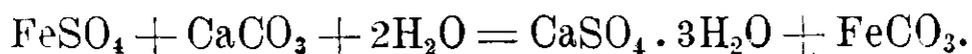


Эту реакцию геохимически мы можем расшифровать таким образом: доломит превращается во вторичный известняк, часто очень крупнокристаллический, напоминающий мрамор, а горькая соль в виде выцветов и водных растворов уносится текучими водами земной поверхности.

Одновременно с этим переносятся вглубь из юрских горизонтов и растворы  $\text{FeSO}_4$ , которые в известняках, особенно в местах богатых углеводородами, дают начало новым реакциям приблизительно такого рода:



или же в несколько другой геохимической обстановке:



В первом случае  $(\text{CH}_3)$  поставлено чисто условно, согласно приему

американского обозначения ближе не определенных природных углеводородов. В результате получается накопление сферосидерита, вынос карбоната кальция, благодаря его растворению угольной кислотой, и накопление пирита в мелко раздробленном состоянии. Таковую роль восстановителя играют, например, в Жигулях асфальты, пропитывающие некоторые горизонты Казанских известняков.

В случае второго уравнения происходит только обмен металлами без чисто восстановительных процессов.

Вторая группа катагенетических реакций в известково-гипсовой толще русского цехштейна связана с посторогенетическими процессами, т. е. с обменом химическими продуктами между горизонтами под влиянием трещин и разломов или частичного раздробления пород. К этим процессам мы относим: мощные сбросы по восточной окраине нашего бассейна, по которым прокладывают себе дорогу растворы гипса и соли, и, наконец, сбросы и флексуры в юго-западной части, с образованием серных источников и миграцией нефти. Хотя для нас происхождение нефти в районе Самарской губ. и Поволжья остается загадочным, тем не менее мы склонны их связывать с периодом накопления осадков, отвечающим Уфимскому ярусу или низам Казанского, и из этих горизонтов мы объясняем миграцию по трещинам нефти, битумов и получающихся из них асфальтов как в вышележащие слои, так и отчасти в подстилающий их пермокарбон. Попадая в гипсоносные толщи, углеводороды вызывают обычные реакции восстановления с накоплением самородной серы и сероводорода.

Так, в сложной цепи химических явлений перегруппировываются химические элементы в толще известняков и гипсов русского цехштейна, и надо еще много исследовательской работы, чтобы выяснить все детали геохимии этих интереснейших образований Поволжья.

Во второй половине Казанского времени началось вновь обмеление пермского моря, и к концу этой эпохи оно уже окончательно распалось на отдельные водоемы, все более и более суживаемое пустынной сушей, его окружавшей. С началом татарских отложений перед нами раскрывается последний период пермских отложений: суша завладела пространством, и наравне с песчаными дюнами нового пермотриасового материка в пестрой свите мелководных осадков стали накапливаться или то мелких пресноводных бассейнов, то отдельных соляных озер или водоемов. В этой обстановке пустынного ландшафта с его бурями пыли и потоками тропического дождя, с массовыми накоплениями остатков погибших ящеров протекала геохимическая история этой мощной серии пестрых мергелей.

Внизу эта серия пород еще довольно богата гипсом, может быть и хлористым натрием; выше она принимает чисто материковый или пресноводный характер.

Часть гипса позднее проникла сверху в нижние горизонты, сцементируя пески гипсовым цементом и положив начало тем своеобразным гипсовым песчаникам, кои под именем „печеры“ идут для полировки и выделки точильных брусков.

Длительный материковый период захватывает постепенно замиравшее на

востоке пермское море, и вплоть до верхней юры в смене различных климатических режимов шла постепенная переработка и размыв пермотриасовой суши. Процессы элювиального разрушения пород, вымывание растворимых соединений, снос песков и темных глин, местное накапливание вымытого из почвы железа—такова та обстановка, которую застало верхнеюрское, а потом меловое море плоско разливаясь извилистою меридиональною полоскою в низких болотистых берегах старой суши. Мощные биохимические реакции положили начало осадкам этих мелководных бассейнов, в илистой глине, богатой остатками растительных и животных организмов, диагенетически скоплялись конкреции сферосидерита, колчедана, фосфорита, образовывались зернышки глауконита в терригенных фациях этих морей.

Я не буду подробно описывать геохимические особенности этих циклов, к ним мы вернемся при описании области V, но их основные черты настолько характерны и имели такое огромное значение для всех последующих геохимических реакций, что нельзя не отметить вкратце их значения.

Новый материковый период сменил эти юрские и меловые моря.

На поверхность размытых отложений палеозоя и мезозоя легли новые осадки, частью еще не разгаданного происхождения, частью уже расшифрованные: то это отдельные части третичных трансгрессий (акчагыльская) с ее бурыми глинами и большими розами гипса, то это многообразные пресноводные осадки постплиоценовых бассейнов, чистые кварцевые флювиоглациальные пески и, наконец, все многообразие современного почвенного покрова, тесно связанного в своем химизме с подстилающими породами, окрашиваясь в разные цвета буро-красных оттенков на юге и в ярко-красные тона—на пестрых мергелях. В мощных торфяниках, особенно северных областей, накапливается синеющий на воздухе вивианит. в виде жилок, инкрустации или землистых скоплений, постепенно на воздухе переходящий в бурые минералы типа бераунита.

В источниках, вытекающих из гипсовых горизонтов различных возрастов, наравне с выносом растворимых солей гипса и хлористого натрия образуется путем нескольких глубинных реакций сероводород, создающий ряд целебных минеральных вод или насыщающий черные минеральные грязи серного озера (напр. Сергиевские, Черемуховские минеральные воды и мн. др.). Из этих растворов сера выпадает при окислении сероводорода, особенно зимою, инкрустируя иногда растения, покрывая желтым налетом камни или образуя белесые пленки на поверхности водоемов. Сбор этой серы является даже предметом кустарной добычи в Архангельской губ. и отчасти в Чистопольском уезде Казанской. Такие источники в области пермских мергелей выносят значительные количества углекислого кальция, откладывая его в мощных скоплениях (до 4 саж.) рыхлых белых известняков—травертинов по „Окской и Волжской гриве“ по местному выражению. Эти процессы, шедшие, повидимому, еще в третичную эпоху, производят мощный процесс декальцинации мергелей и доломитовых известняков.

И наравне с этими столь обычными реакциями русской равнины несколько своеобразных процессов привлекают наше внимание; мы остановимся ниже на них более подробно, придавая им особое значение в геохимической жизни страны: это накопление железных руд, с одной стороны, и палыгорскита, минерала, напоминающего горную кожу или пробку,—с другой.

А. Железные руды нам известны на огромных протяжениях и на севере, на границах Вологодской, Вятской и Пермской губерний, и на юге, в низовьях Оки и на склоне Урала. Мы уже наметили в главе о железе характерные черты этих процессов оруденения, связанных с породами самого разнообразного возраста, с геохимическими явлениями большого масштаба в пространстве и времени. Что же позволяет нам разгадать их происхождение? Прежде всего, нигде эти руды не перекрываются осадками мергелей, известняков, глин определенных горизонтов доюрского времени; всюду на всем их протяжении, начиная с Холуницких шахт и кончая Выксунскими дудками, перед нами размытые и химически измененные слои осадочных пород палеозоя или перми, на них рудные скопления, часто связанные с черными или красными илистыми массами, выше серые, белые, иногда прекрасные пластичные глины и, наконец, пески или песчанистые глины, перекрытые типичною мореною с валунным насосом. Таково первое наблюдение. Далее, если мы нанесем на геологическую карту месторождения железных руд, то мы подметим два любопытных факта: руды почти всюду приурочены к районам, связанным или непосредственно окаймляющим юрские острова; именно под ними или же <sup>1)</sup> около этих некогда мощных отложений юрского покрова обнаруживаются наши месторождения. Наконец, третье наблюдение менее знаменательно, но и оно бросается в глаза: руды в целом ряде случаев непосредственно или над перемытой юрой покрыты или проблематическими песками, или заведомо послетретичными осадками, хорошо выделяющимися на геологической карте под значком 'Q' — это осадки пресноводных бассейнов, частью предшествующих, частью одновременных с ледниковым покровом, главным образом постплиоценового, а может быть даже и верхнетретичного возраста.

Таковы факты, и мы строим на них наше объяснение <sup>2)</sup>: оно намечается само собою и рисуется нам в следующей картине: низкий спокойный рельеф материка, отошло юрское море, покрывшее своим широким но извилистым рукавом огромную часть восточной России; в длинный континентальный период элювиальное разрушение поверхности, мощный размыв илистых осадков юры, химически перерабатываемых на дне мелких бассейнов. Путем долгого воздействия растворенных коллоидальных гуминовых кислот илистые осадки, в обстановке жаркого, может быть влажного субтропического климата, столь типичного, напр., для части третичного периода, очищаются от заключающегося в них железа, выносятся избыток кремнезема щелочными водами, и на дне небольших материковых водоемов постепенно осаждаются слои чистых огнеупорных глин. А между тем, богатые коллоидальной гидроокисью железа воды, проникая в подпочвенные слои, замещают углекислый кальций этою же солью железа, образуют желваки сферосидерита в глинистых остатках когда-то бывших здесь известняков и мергелей и без всякого различия возраста размываемой поверхности известняка накапливают рудные массы. В большом масштабе *mutatis mutandis* это нам на-

<sup>1)</sup> В Вятско-Камском водоразделе они иногда залегают и на юрских глинах, в Окском — всегда под.

<sup>2)</sup> Мы знаем в литературе ряд попыток объяснить генезис этих рудных запасов. Оливье-ри, Докучаева, Гладкого, Крата, Покровского и многих других, но думаем, что наиболее правильный путь в анализе этих процессов принадлежит Земятченскому.

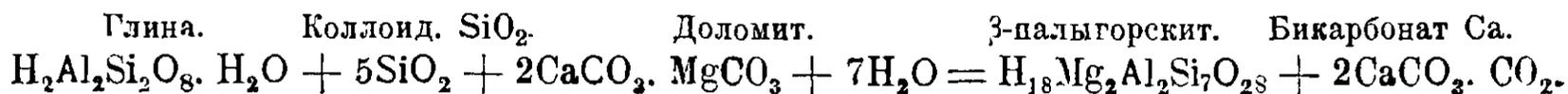
поминает образование ортштейновых горизонтов в наших почвах, где поверхностные слои совершенно освобождаются от железа, концентрируя последнее в виде сплошного горизонта на большей или меньшей глубине.

Нет никакого сомнения, что особенно интенсивно протекали эти процессы там, где шел усиленный размыв богатых железом юрских слоев, где окисление колчеданов приводило к обогащению растворов сернокислыми солями закиси железа, и где сама серная кислота играла роль химического деятеля, очищавшего от карбонатов глинистые осадки и постепенно способствовавшего превращению их в чистые пластические глины. В сильно измененных слоях глины, покрывающей под именем талоконки ряд железных месторождений, мы нередко можем узнать химически видоизмененные и перемытые келловейские осадки.

И если, таким образом, нам кажется весьма очевидною роль юрских осадков в возникновении вышеописанных геохимических явлений, то менее очевидною является точная фиксация времени этого процесса. Действительно ли нужно приурочивать возникновение вышеописанных химических реакций к моменту послетретичных бассейнов? Или может быть шли они и в другие эпохи геологической истории или идут еще и сейчас? Я склоняюсь скорее к последним предположениям, думая, что лишь наибольшей интенсивности могли они достигать при физико-географических условиях, отвечавших третичному или постплиоценовому климату, но что могли они идти и в другие моменты химических преобразований русской платформы, этого послемезозойского материка. Особенно интересным является сравнение всех этих образований с совершенно аналогичными процессами гипергенеза в миоценовое время всей западно-сибирской равнины и восточных склонов Урала (Крашенинников, Неуструев). Повидимому, климатические условия последних моментов палеогена особенно благоприятствовали каолиновому и отчасти латеритному процессу гипергенеза и этим создали тот мощный элювиальный покров, который дал материал для переотложения в последующие эпохи. К этому очень интересному вопросу я вернусь в заключительных главах при сводке геохимических реакций Европейской России.

В.—Еще другая картина большого геохимического значения раскрывается нам среди пестрой свиты мелководных осадков татарского яруса, в трещинах Уфимских отложений, среди размытых и перемытых известняков Казанского яруса: я говорю об образовании палыгорскита, этого своеобразного ископаемого, напоминающего кожу или пробку и накапливающегося в колоссальных количествах в некоторых горизонтах пестрых мергелей. Во всем мире нет другой области, где-бы этот минерал достигал такого огромного распространения и намечал собою столь значительную фиксацию силикатами глинозема и магнезии в процессах поверхностных частей земной коры. В моей работе, посвященной этому ископаемому, я отмечал, что он приурочен к самым разнообразным горизонтам: Татарскому ярусу, Казанскому и Уфимскому ярусам (и их оруденению), пермокарбону (Кунгурскому ярусу), а в области III (под Москвою) еще средним доломитовым горизонтам Московского яруса карбона.

Очень простое химическое уравнение связывает образование этого минерала:



Из этого уравнения мы видим, что образование палыгорскита требует присутствия глинистого вещества, карбоната магния и кальция и избытка кремнекислоты.

Теоретически можно себе представить образование палыгорскита следующими четырьмя способами:

1. Путем воздействия магниальных растворов на глину с большим избытком кремнекислоты (коллоидальной).

2. Путем воздействия кремневых и глиноземистых растворов на доломит или магнезит.

3. Путем обменной реакции между кремневыми растворами и составными частями доломитизированного мергеля.

4. Путем обменной перегруппировки составных частей магниального мергеля, содержащего большое количество свободной кремнекислоты.

Несомненно, что образование палыгорскита связано главным образом с деятельностью поверхностных вод, инфильтрованных из биосферы и ледниковых слоев. Так как для образования палыгорскита необходимо привнесение большого количества кремнекислоты, а последнюю особенно богаты воды, прошедшие через ледниковые глины, то накопление его главным образом приурочено к той части пестрых мергелей, которая была покрыта ледниковым покровом и его моренными отложениями.

Картина химических процессов рисуется в следующем виде: сверху инфильтруются поверхностные растворы, богатые гуминовыми и другими органическими кислотами и кремнекислотой; достигнув магниальных горизонтов, эти растворы образуют палыгорскит из магнезии карбонатов, глины мергеля и отчасти принесенной, отчасти заключенной в слое коллоидальной кремневой кислоты; одновременно с этим гуминовые кислоты выносят окислы железа, а освободившаяся угольная кислота уносит карбонат кальция. Таким образом горизонт мергеля превращается в палыгорскит — остатки глины, бывшей в избытке, — избыток песчинок кварца.

При этом красный мергель превращается в зеленый, что связано не с восстановлением железа в закись, а с вынесением окиси Fe из горизонта. Как общее правило, сам палыгорскит окутывается зеленою оторочкою, тогда как обычный цвет самого горизонта мергеля остается красным.

Так как очевидно, что зеленый мергель произошел из красного, то его состав по отношению к последнему характеризует те процессы, при которых образовывался и палыгорскит. Эти процессы особенно наглядно сказываются на образцах мергелей, обнажаемых по Волге, ниже Нижнего-Новгорода, и могут быть сведены к следующим:

- 1) выщелачивание гипса и щелочей;
- 2) извлечение магнезии для образования палыгорскита;
- 3) сильное увеличение глины, иначе говоря, вынос карбонатов и кремнекислоты;
- 4) извлечение окиси железа, при постоянном количестве закиси.

Таков один из своеобразных химических процессов, идущий на площади почти полумиллиона квадратных верст и связанный с теми процессами поверхностного типа, которые испытывала эта часть пермских отложений в долгий

континентальный период. Я уверен, что эта реакция могла идти и до образования ледникового покрова, и после него, что она идет частично еще и сейчас, обуславливая переход в растворимое состояние карбоната кальция, но несомненно, что в данном случае, подобно влиянию юры на образование железных руд, особенное значение в развитии этого процесса сыграл ледниковый покров.

## II. Восточная часть пермского моря — Приуралье.

Уже беглое сравнение особо приложенных к тому геохимических таблиц VI и VII показывает то глубокое различие, которое наблюдается между геохимическими циклами двух половин пермского моря и суши. В то время, как на западе геохимические процессы протекали в больших глубинах в обстановке обычных биохимических реакций моря, на востоке — Уральский хребет, образовавшийся в артинское время из девонской и каменноугольной геосинклинали, нарушил спокойное течение этих реакций и обусловил не только огромное развитие ряда таких процессов, которые на западе играли лишь подчиненную роль (напр., скопления соли), но и вызвал появление ряда новых химических элементов, приносившихся с разрушавшегося Уральского хребта и вызывавших новые формы их концентрации.

Я не буду останавливаться детальнее на тех геохимических циклах, которые тесно связаны с историей самого Урала; о них речь будет при описании двенадцатой области. Я начну описание с артинских горизонтов, т. е. с тех прибрежных, частью даже материковых отложений, которые отвечают времени максимального подъема Урала и которые накапливались в виде песчаников, глин и конгломератов на берегах моря, окаймлявших молодой хребет.

Под влиянием горообразующей деятельности обособлялись отдельные заливы более глубокого на западе моря, и огромные количества гипса и соли концентрировались на дне бассейнов, напоминая нам ту геохимическую картину, которая рисуется нам в настоящее время в той озерно-степной полосе, которая простирается вдоль Крымо-Кавказского мезозойского третичного хребта. Эти слои гипса и соли многократно перекрывались глинистыми и песчаными наносами, сносимыми бурными водами дождей или навеваемыми пылью, а в верхних горизонтах частично должны были накапливаться калиевые соли, открытие коих составляет одну из ближайших задач изучения этой огромной области.

В то время, как в прибрежной части, у берегов Урала, шло накопление механических или физико-химических осадков с редкими скоплениями сферосидерита, остатками древесины, а в процессах катагенеза в септариях и остатках раковин концентрировались соединения бария и стронция, на западе отлагались биохимические осадки известняков, частично перекрывшие артинские песчаники в недолгой трансгрессии Кунгурского яруса.

Так вдоль глубокой впадины геосинклинали на берегу вздымавшегося и набегавших с востока складок Урала шло осаждение артинских прибрежных слоев. Среди быстрых и внезапных смен дислокаций прибрежные зоны часто вдруг и сразу заменялись глубокими осадками абиссальных глубин, а эти в свою очередь быстро превращались в морской берег с его прибрежной флорой. Речная галька и песок выносились бурными реками, стекавшими с во-

сточных склонов Урала, а в холодное время с них спускались в бухты артинского моря могучие ледники (А. Чернов), сменяясь бурными делювиальными наносами илистых осадков.

Мощные скопления гипсов и соли остались нам в наследие от этой эпохи, и подобно западным окраинам умиравшего пермского моря перед нами рисуется все многообразие процессов катагенеза этих легко растворимых солей, то образывавших огромные пещеры с накоплением вечного льда (Кунгурская пещера), то перекристаллизовавшихся мелкокристаллические алебастры в волокнистые прослойки золотистого селенита.

Наконец, суша с ее материковыми и пресноводными процессами завладела большей частью пермского моря, прекратившаяся горообразовательная деятельность проявлялась лишь в возникновении меридиональных сбросов, и в эпоху Уфимских отложений пестрая и красная серия песчаных и частью мергелистых пород покрыла морские осадки пермокарбона. Повидимому, в эти же моменты шло разрушение молодой Уральской цепи, и одновременно с выносом реками механических продуктов гипергенеза шло растворение и перенос растворимых солей в те мелкие частью соляные, частью пресноводные бассейны, которые то тут, то там должны были возникать в пустынной низине на запад от Урала. В этих условиях изменчивых неглубоких водоемов мы ищем сейчас разгадку тех больших скоплений металлов меди, ванадия и хрома, которые нам известны не только в предгорьях Урала, но и за сотни верст от него среди песчано-глинистых осадков. При геохимическом обзоре меди и ее соединений мы говорили об этих своеобразных скоплениях, и было бы очень благодарною задачею чисто минералогически изучить геохимию этой области и в точном химическом учете самих осадков, песков и конгломератов попытаться выяснить происхождение этих загадочных образований. Широко известен нам этот геохимический процесс не только среди пермских отложений Приуралья, но и юг России, центральная Германия и Северная Америка рисуют нам аналогичные картины медистых скоплений в песчаных образованиях, окаймляющих области герцинских складок, с их богатством рудных жил.

Постепенно, без заметных переходов, сменились отложения скоплениями других песчаников, а еще выше—пестрыми мергелями татарского яруса.

Дальнейшие геохимические циклы тождественны с тем, что мы говорили, описывая западную половину области; только близость Урала влияла приносом своих продуктов механического разрушения, а мощные явления гипергенеза замещали на восточных склонах Урала известковые породы скоплениями железных руд (Чердынский и Соликамский Урал).

Здесь на восточных склонах Урала одно интересное геохимическое явление останавливает наше внимание: это накопление чистых керамических глин в районе Уфимского плоскогорья. Уже на предыдущих страницах мы видели близкий процесс среди осадков постплиоценовых бассейнов Камско-Вятского водораздела, где вместе с железными рудами и песками на измененных горизонтах большей частью татарского яруса скоплялись илистые глины этих бассейнов.

Вдоль северной оконечности Уфимского нагорья тянется ряд очень сходных скоплений огнеупорных глин, в области известняков связанных с железными рудами, в области песчаников—с песками. Перед нами рисуется своеобразная

картина элювиального разрушения каменноугольных и артинских известняков с накоплением на их месте своеобразных гнезд и карманов чистых глин, богатых титаном (до 50—40 метров мощности), с редкими кусками древесины, проникнутой иногда кристаллами колчедана. Эти же глины намыты сплошными слоями вместе с чистыми песками на артинских песчаниках того же района. Мы связываем эти образования со сложным элювиальным выветриванием долгого континентального периода этого района, но окончательное приурочивание самих скоплений к их современному положению может быть следует отнести к третичной эпохе, к тому климатическому режиму, когда богатая гумусом почва не только вызывала реакции распада силикатов в зоне гипергенеза, но и вымывала из одних горизонтов соединения железа, накапливая их в других (см. каолины пятой области). Ср. замечание по поводу генезиса железных руд Камско-Вятского бассейна стр. 178.

### З а к л ю ч е н и е.

Из вышеприведенного описания геохимических особенностей пермских отложений восточной и северо-восточной частей России мы можем сделать несколько выводов:

1. Область осадков пермской суши и моря в изученных выше границах совершенно не затронута ни вулканическими, ни гидротермальными геохимическими процессами. Даже наблюдаемые на востоке и юге посторогенетические процессы оказываются связанными лишь с холодными водами, обусловившими усиление нормальных реакций катагенетического характера.

2. Главнейшие и весьма сложные геохимические процессы области носят характер син-, диа-, ката- и гипергенеза, позволяя таким образом во всех стадиях проследить историю геохимических превращений осадочной серии пород.

3. Первую группу геохимических превращений представляют одновременные осадки химического типа: соль, гипс, известняк, доломит, тесно связанные с распространением в них соединений стронция, которые позднейшими процессами концентрируются в кристаллы целестина.

4. Вторую группу, связанную, повидимому, главным образом, с границей между карбоном и пермью, представляют скопления битумов, нефти, асфальта и битуминозных сланцев.

Позднейшими процессами посторогенетического характера эти элементы мигрируют, вызывая новообразование серы.

5. К третьей группе я отношу еще во многих отношениях загадочные скопления металлов Cr, V, Cu в пермских песчаниках, связанные, вероятно, с первичным осаждением из прибрежных зон морских бассейнов.

6. Очень большое биохимическое значение имеют осадки юры, богатые фосфором, серою и железом, вызывающие катагенетическое накопление железных руд в подстилаемых горизонтах.

7. Самостоятельную группу геохимических процессов составляют явления катагенеза и отчасти гипергенеза в известковых породах — доломитизация, дедо-доломитизация, окремнение, палыгорскитизация, перенос и перекристаллизация гипса.

8. Огромную геохимическую и притом практическую роль играют новообразования при современном рельефе, связанные в своем происхождении с длительным материковым периодом и многообразными процессами элювиального, флювиоглациального, ледникового, озерного и т. п. типов. Эти процессы приводят к накоплению огнеупорных глин, песков, сферосидерита и лимонита.

9. Наконец, последний тип геохимических процессов необходимо связывать с дислокациями и им подчиненными солеными и сероводородными источниками, миграцией углеводов и т. д.

10. Сложность геохимических превращений и огромность захватываемых ими территорий заставляют смотреть на вышеприведенную схему лишь, как на первую попытку связать химические преобразования района: в этом направлении желательно обратить больше внимания на минералогию и геохимию области и, подобно прекрасной работе Ноинского, попытаться точнее расшифровать химическую природу осадков.

## ГЛАВНЕЙШАЯ ЛИТЕРАТУРА.

По геологии (только основные исследования или сводки) <sup>1)</sup>.

1. *Н. Головкинский*. О пермской формации в центральной части Камско-Волжского бассейна. Мат. Геол. России. 1869. I. 273.
2. *А. Дитмар*. Мат. Геол. России. 1873. V. 169 (Владимирская губ.).
3. *П. Кротов*. Труды Каз. Общ. Ест. 1878. VII. I; 1879. VIII. 2. (Вятская губ.).
4. *А. Крылов*. Мат. Геол. России. 1881. X. I—126.
5. Материалы оц. земель Нижегородской губ., под ред. *В. Докучаева*. 1884—1886. I—XIV (со статьями *Докучаева*, *Ферхмина*, *Левинсона-Лессина*, *Зайцева*, *Земятченского*, *Сибирцева* и *Амалицкого*).
6. *С. Никитин*. Труды Геол. Ком. 1884. I. № 2. (Лист 56).
7. *П. Кротов*. Артинский ярус. Труды Казанск. Общ. Ест. 1885. XIII, вып. 5.
8. *П. Кротов*. Соликамский и Чердынский Урал. Геолог. Ком. 1888. VI.
9. *А. Краснопольский*. Лист 126. Труды Геологич. Ком. 1891. XI. № 2.
10. *Н. Сибирцев*. Общая геологическая карта России. Лист 72. Труды Геолог. Ком. 1896. XV. № 2.
11. *А. Штукенберг*. Лист 127. Труды Геолог. Ком. XVI. № 1. 1898.
12. *М. Ноинский*. Труды Общ. Ест. Казанск. Университ. 1899. XXXIII (строение Казани).
13. *А. Чернов*. О залегании прикамской соленосной толщи. Ежегодник геол. мин. России. 1908. X. 3.
14. *В. Псколь*. Геология и почвы Сысольск. Леснич. Труды иссл. Печерского края. 1909—1910. I—II.
15. *С. Неуструев* и *Л. Прасолов*. Мат. оц. земель Самарской губ. 1911. V. (Самарский уезд).

<sup>1)</sup> Геологию юры и мела см. при описании области V.

16. *П. Кротов*. Западная часть Вятской губ. Труды Геолог. Ком. нов. сер. LXIV. 1912.
17. *А. Нецаев* и *А. Замятин*. Труды Геолог. Ком. 1913. LXXXIV.
18. *А. Чернов*. Труды Геолог. Отд. Люб. Ест. Н. 1913. I. (Дислокации нижнепермск. отлож.).
19. *М. Ноинский*. Самарская Лука. Труды Общ. Ест. Каз. Унив. 1913. XIV, вып. 4, стр. 487—768.
20. *А. Замятин*. Индерское озеро и его окрестности. Изв. Геолог. Комит. 1914. XXXIII. 681 (сравнение).
21. *А. Замятин*. Возраст каменной соли Илецкой Защиты. Геолог. Вестник. 1917. III. 38.
22. *М. Ноинский*. Прилож. Проток. Общ. Каз. 1917. № 334 (геол. Казани).
23. *М. Ноинский*. Геолог. исследования в Сюжеевском битуминозном районе. Изв. Главн. Нефт. Ком. 1919. № 6—7, 20.
24. *Б. Лихарев*. Обзор литературы по верхнепермским отложениям Европейской России за истекшее десятилетие (1910—1919). Изд. Геолог. Ком. Петр. 1920 (со списком главнейшей литературы).
25. *Нецаев*. Верхнепермские отложения России. Изд. Геолог. Ком. 1922.
- 25-а. *А. Иванов*. Новые данные о возрасте жигулевской дисл. Сообщ. о научно-техн. работах в России. 1922. VII. 24.

По минералогии (главнейшая, с преобладанием литературы последних лет)<sup>1)</sup>.

26. О нахождении фольбортита. Горн. Журн. 1839. II. 315 (первое сведение).
27. *И. Илмов*. Горн. Журн. 1842. I. 479. (см. волконскоит).
28. *И. Ауэрбах*. Серные копи на Самарской Луке. Вестник Русск. Географ. Общ. 1854. XII. 129.
29. *N. Kokcharow*. Material. Mineralogie Russlands. I. 1853, 140 (волконск.); IV, 1862, 145 (фольбортит), IX. 1884. 267 (фольбортит).
30. *Д. Планер*. О песчаниках пермской формации и заключающихся в них рудах. Рукопись в Геолог. Ком. (около 1865 г.).
31. *Озерский*. О месторождениях серы в Приволжском крае. Сборник Минерал. Общ. 1867. СПб. 67.
32. *Genth*. Zeit. f. Krystall. 1878. II. 12.
33. *В. Ерофеев*. Горн. Журн. 1878. II. 60 (нефть и сера Казанской и Самарской губ.)
34. *В. А. Крат*. О характеристике месторождений железных руд на отводах Омутн. завода. Горн. Журн. 1884. II. 68.
35. *Г. Виленцус*. Горн. Журн. 1885. II. 313 (колчедан Тетюшского района).
36. *П. Земятченский*. Железные руды центральной части Европейской России. Труды СПб. Общ. Ест. 1889. XX.
37. *С. Никитин*. Изв. Геолог. Ком. 1889, VIII, стр. 165 (поиски гудрона).
38. *Ризположенский*. Труды Каз. Общ. Ест. 1893. XXVI, вып. I (о поисках гудрона).
39. *И. Соболев*. О карстовых явлениях Онежско-двинск. водораздела. Изв. Геогр. Общ. 1899. XXXV. 482—502 (холмогорит).
40. *П. Покровский*. Рудоносная площадь Камско-Вятского водораздела. Горн. Журн. 1899. I. 241 (генезис).

<sup>1)</sup> За исключением минералов юры и мела, о которых см. район V.

41. П. Кротов. Волконскоит из Ухтыма. Зап. Мин. Общ. 1902. XI. 1.
42. Я. Самойлов. О целестине из дер. Печищ. Изв. Акад. Наук. 1909. 485.
- 42-а. К. Богданович. Рудн. месторожд. 1912. I. СПБ. 402—405 (жел. руды Вятско-Камского района).
43. К. Матвеев. Cone-in-cone структура с р. Чусовой. Труды Общ. Ест. СПБ. 1910. XLI. № 5 (вместо ангидрита исправить целестин).
44. В. Мамонтов. Геологические исследования и полезные ископаемые в районе Ухто-Печ. Камской жел. дор. СПБ. 1911.
45. А. Ферсман. Материалы к исследованию магнез. силикатов. Зап. Акад. Наук. 1913 (VIII). XXXII (пальгорскит).
46. А. Frenzel. Die Erdöl-Bitumen u. Schwefellag. Tetjuchi. Zeitschr. f. Petr.-Industrie. 1913.
- 46-а F. Angel. Ueber Wolkonskoit. Zeit. f. Kryst. 1913. LI. 568—579.
47. В. Крыжановский в отчете В. Вернадского. Изв. Акад. Наук. 1914. 1360 (фольбортит).
48. Г. Петушиков. Ежегодник геол. минер. России. 1914. XVI, вып. 5—6. (Находка калиевой соли Иван.-Вознес.).
49. А. Замятин. Сергиевские минеральные воды. Изв. Геолог. Ком. 1911. XXX. 687—713.
50. В. Хименков. Отчеты исслед. фосфорит. 1914. VI, 91; 1915. VII. I, 125.
51. П. Драверт. Целестин и стронцианит пермских отложений Свияжского уезда. Ежегодник геол. минер. России. 1915.
52. П. Драверт. Целестин. Камско-Волжская Речь. 1915. № 116.
53. А. Апушкин. Минеральные источники Костромской губ. Кострома. 1915.
54. В. Робинсон. Огнеупорные глины Кунгурск. и Красноуфимск. у. Отчет Геолог. Комит. за 1916 г., стр. 601.
55. П. Драверт. К минералогии пермских отложений по р. Ик. Прилож. Прот. Каз. Общ. Ест. 1916. № 317.
56. В. Хименков. Железные руды в районе р. Сысоли. Рудн. Вестник. 1916. I, 53.
57. А. Замятин. Очерк полезных ископаемых Севера Евр. России. Пов. и недра. 1916. № 6—9.
58. П. Драверт. Труды Комиссии Сырья Комитета Военно-Технической Помощи. Казань. 1917. I (целестин, колчедан, сера, битумы).
59. В. Варсонофьева. Рудный Вестник. 1917. II, 72, 131 (огнеупорные глины Пермской губ.).
60. Н. Курнаков и др. Изв. Акад. Наук. 1917. № 8. 467—474. (Соликамские соли).
61. Д. Мушкетов. О месторождениях каменной соли Илецка. «Поверхность и недра». 1917. № 2—3. 85.
62. К. Богданович. Ванадий. Сборник Ест. Производ. Сил России. 1917. IV вып. 14.
63. В. Смирнов и др. Железные болотные руды Костромской губ. Труды Костр. Научного Об-ва по из. м. края. 1918. IX.
64. А. Замятин. Нефть Приволжского района. Сборник Ест. Производ. Сил России. 1918. IV, вып. 22, стр. 144.
65. Н. Сургунов. О химическом составе сол. рассол. солик. района. Рудный Вестник. 1918. III. № 1, стр. 12—22.

66. *Б. Мефферт*. Глины Камско-Вятского водораздела. Материалы общей прикладной геологии. 1918. № 37.
67. *Я. Самойлов*. Об источниках калиевых солей в России. Изд. Общ. Ком. удобрений. М. 1919.
68. *П. Драверт и М. Бродский*. Чистопольский уголь. Изв. Горн. Отд. В. С. Н. Х. 1919. № 2—3.
69. *А. Рябинин*. К вопросу о г. у. местор. калиевых солей в Солик. районе. Мат. общей и прикл. геологии. 1919.
70. *К. Калицкий*. Нефтяные месторождения Казанской, Уфимской и Самарской губ. «Нефтяное и Сланцевое Хозяйство». 1920. № 1—3, р. 44.
71. *В. Вернадский*. Опыт описат. минерал. 1921. II. 2, стр. 145, 159 (сероводород).
72. *А. Чернов*. Задачи развед. работ на кам., соль и соли калия. Горн. Журн. 1922. ХСVIII. 15.
-

## Указатель химических элементов.

Указатель касается лишь наиболее важных указаний. Подробные описания элементов в отдельных областях напечатаны жирно. Тире отделяет страницы общей части от страниц специальной.  
См. о Менделеевской таблице элементов стр. 46, 55, 62—81, 98, 136, 168.

- Азот** 31, 39, 46, 47, 51, 56.—  
113, 143, 144, 171.  
**Алюминий** 44, 46, 47, 50, 54,  
57.—80, 99, 113, 137, 143,  
144, 172.  
**Аргон** см. благородные газы.
- Барий** 46, 47, 49, 50, 51, 52,  
55.—79, 83, 92, 111, 117, 126,  
143, 146, 159, 169, 180.  
**Бериллий** 46, 50, 51, 54.—101.  
**Благородные газы** 46, 51.  
**Бор** 46, 47, 51.—79, 88, 101.  
**Бром** 46, 47, 51, 52.—111, 116,  
180.
- Ванадий** 46, 47, 48, 51, 54, 55.—  
167, 169, 176.  
**Висмут** 47, 50, 51, 53, 56.  
**Водород** 39, 44, 47, 51, 54, 56,  
57.—79, 97, 112, 134, 143, 169.  
**Вольфрам** 46, 47, 51, 56.
- Гелий** 50, 51.
- Железо** 17, 39, 47, 50, 51, 52,  
54, 55, 57.—76, 79, 82, 92, 93,  
97, 100, 101, 102, 116, 122,  
126, 139, 143, 145, 169, 177,  
178, 188.
- Золото** 47, 50, 51, 55, 56.—76,  
79, 83, 117, 140, 141.
- Индий** 51.  
**Иод** 46, 51.—94, 143.  
**Иридий** 51, 55.  
**Иттрий** 46, 48, 49, 51.—97, 100.
- Кадмий** 47, 50, 51.  
**Калий** 31, 39, 44, 47, 50, 51, 57.—  
76, 81, 94, 97, 99, 111, 115,  
122, 138, 143, 145, 159, 175.  
**Кальций** 38, 44, 47, 50, 51, 54,  
57.—76, 81, 97, 99, 115, 138,  
143, 145, 176.  
**Кислород** 44, 47, 48, 50, 51, 56,  
57.—80, 98, 113, 135, 144, 171.
- Кобальт** 46, 47, 51, 52, 54, 55.—  
79, 82, 168.  
**Кремний** 44, 47, 51, 54, 57.—80,  
99, 114, 137, 143, 144, 173,  
185.  
**Криптон** см. благородные газы.  
**Ксенон** см. благородные газы.
- Лантан** см. редкие земл.  
**Литий** 46, 47, 51, 54.—101.
- Магний** 38, 44, 45, 47, 51, 54,  
57.—76, 80, 97, 99, 111, 113,  
137, 143, 144, 171.  
**Марганец** 39, 46, 47, 50, 51.—  
82, 92, 93, 100, 102, 115, 125,  
134, 139, 143, 145, 169, 177.  
**Медь** 46, 47, 48, 49, 51, 53, 54,  
55, 56, 57.—79, 82, 88, 91, 93,  
100, 111, 116, 123, 125, 126,  
140, 143, 145, 150, 167, 169,  
178, 179, 181.  
**Молибден** 46, 47, 51.—83.  
**Мышьяк** 46, 47, 50, 51, 53, 56.—  
83, 140, 143, 146, 148, 179.
- Натрий** 38, 44, 47, 51, 52, 54,  
56, 57.—80, 97, 99, 102,  
111, 113, 136, 143, 144, 171.  
**Никкель** 46, 47, 51, 52, 54, 55,  
57.—79, 82, 126, 139, 169,  
178.  
**Ниобий** 46, 50, 51.—84, 97, 100.
- Олово** 46, 47, 51, 53, 56.—181.  
**Осмий** 51.
- Палладий** 51, 55.  
**Платина** 47, 51.
- Радий и радиоактивные элементы**  
20, 50, 51.—84, 103.  
**Редкие земли** 46, 47, 51.—97,  
99, 100.  
**Родий** 51.  
**Ртуть** 47, 51, 56.  
**Рубидий** 46, 50, 51.  
**Рутений** 51, 55.
- Свинец** 46.—51, 53, 56.—79, 82,  
84, 91, 111, 117, 140, 150,  
168.  
**Селен** 46, 47, 51.—148, 179.  
**Сера** 39, 46, 47, 50, 51, 56.—80,  
88, 91, 99, 111, 114, 138, 143,  
145, 149, 174.  
**Серебро** 47, 50, 51, 53, 56.—76,  
88, 91, 117, 140, 168.  
**Стронций** 46, 47, 49, 51, 52, 55.—  
83, 117, 134, 169, 180.  
**Сурьма** 46, 47, 49, 50, 51.—79,  
168.
- Таллий** 46, 51.  
**Тантал** 46, 50, 51.—84, 97,  
100.  
**Теллур** 46, 47, 50, 51.  
**Титан** 27, 44, 47.—52, 54.—81,  
88, 92, 97, 100, 101, 102, 115,  
134, 139, 149, 169, 176, 193.  
**Торий** 46, 50, 51.—84, 97, 100.
- Углерод** 17, 39, 44, 47, 50, 51,  
57.—79, 98, 110, 111, 112, 135,  
142, 143, 168, 169.  
**Уран** 46, 50, 51, 56.—79, 84, 100,  
181.
- Фосфор** 19, 39, 46, 47, 50, 51.—  
81, 88, 99, 114, 134, 138, 145,  
157, 159, 168, 174.  
**Фтор** 19, 35, 46, 47, 50, 51.—80,  
88, 98, 101, 113, 134, 135, 144,  
151, 158, 168, 171.
- Хлор** 38, 44, 47, 55, 56.—80, 98,  
99, 111, 114, 120, 138, 143,  
145, 174.  
**Хром** 46, 47, 51, 54, 57.—79, 169,  
176, 181.
- Цезий** 50, 51.  
**Церий** см. редкие земли.  
**Цинк** 46, 47, 48, 50, 51, 53, 56.—  
79, 82, 91, 111, 116, 140, 150.  
**Цирконий** 46, 47, 49, 50, 51, 55.—  
97, 100, 101, 102.

# Указатель минералов и горных пород.

(исключительно к специальной части):

Сокращения: гн.—гнейс; ж.—жила; ист.—источник, п.—порода, р.—руда, сл.—сланец.

Авгит 78, 100.  
 Агат 133, 153, 167.  
 Азотнокислые соли 113.  
 Азурит 116, 123, 167, 179.  
 Аксинит 79, 83.  
 Актинолит 78, 86.  
 Актинолит-оливиновая п. 96.  
 Алебастр 166, 184, 192.  
 Аллофан 133, 147, 155, 156, 159.  
 Аллофановиды 133, 147, 154, 156, 159.  
 Алмаз 75, 77, 80, 89, 90.  
 Альбит 87, 96, 97, 114.  
 Альм 115.  
 Альмандин 78.  
 Аметист 77, 78, 79, 85, 88, 89, 91, 133, 153.  
 Аммиак 121.  
 Амфиболит 75, 80, 86, 87, 88.  
 Амфиболит гранатовый 88.  
 Амфиболовый гн. 75.  
 Амфиболовый сл. 74, 96.  
 Анальцим 97.  
 Ангидрит 167, 174, 180, 184, 185.  
 Андалузит 78, 85.  
 Андалузит-ставролитовая п. 75.  
 Андалузитовый сл. 74.  
 Андрадит 78.  
 Анкерит 133.  
 Анортозит 75, 80.  
 Анортоклаз 114, 156.  
 Антраконит 113, 121, 180.  
 Антофиллит 78, 96.  
 Антраксолит 89.  
 Антрацит 110, 112.  
 Анатит 78, 81, 88, 98, 99, 100, 136.  
 Апатит-фтор 96, 113, 120, 135.  
 Апатит - эгирино - элеолитовая п. 99  
 Аплит 75, 95.  
 Апофиллит 79.  
 Арагонит 133, 167.  
 Арсенопирит 77, 83, 179.  
 Арфведсонит 97, 101, 102.  
 Аспидный сл. 78.  
 Астрофиллит 97, 99, 100, 101.  
 Асфальт 111, 112, 122, 123, 125, 166, 168, 169, 170, 171, 174, 184, 186, 193.  
 Базаномелан 96.  
 Барит 73, 78, 82, 85, 91, 110, 116, 117, 122, 123, 124, 142, 146, 157, 167, 180.  
 Баурит 124.  
 Беломорская рогулька 78.  
 Бераунит 133, 142, 143, 187.  
 Бикарбонат кальция 120.  
 Биотит 79, 86, 87, 97, 119, 124.

Битумы 122, 169, 170, 171, 186, 193.  
 Битуминозный сл. 113, 166, 168, 169, 193.  
 Блеклая р. 77, 167, 179.  
 Бобовая р. 110, 142, 177.  
 Богхед 135, 148, 149.  
 Боксит 133, 135, 137, 139, 147, 148, 149, 155, 159.  
 Болотная р. 114, 116, 145, 158, 174, 177, 178.  
 Борнит 77, 88.  
 Бромистый магний 117.  
 Бурый железняк 108, 133, 147, 148, 151, 173.  
 Бурый уголь 111, 112, 127, 135, 142, 168.  
 Вад 115.  
 Вадозные воды 139.  
 Вивианит 110, 114, 126, 142, 158, 167, 178, 187.  
 Вода 109, 113, 117, 119, 121, 134, 135, 154, 167, 169, 183.  
 Волконскоит 168, 176, 177.  
 Габбро 75, 88.  
 Гагат 170.  
 Гажа 115, 126.  
 Газ летучий 67.  
 Гайлюссит 78.  
 Галенит 77, 83, 91, 110, 117, 119, 123, 124, 125, 133.  
 Галит 110, 113, 115, 120, 167, 174.  
 Гарцбургит 88.  
 Гематит 77, 82, 133.  
 Гетит 77, 78, 155.  
 Гидраргиллит 133, 149.  
 Гидрат глинозема 153, 155, 159.  
 Гидрат железа 110, 113, 116, 118, 120, 157.  
 Гидрат кремнезема 142, 153, 155.  
 Гидрат марганца 118, 133.  
 Гидрат сернистого железа 149.  
 Гидрогематит 120, 133, 149.  
 Гидрогетит 133, 147, 155.  
 Гидроокись марганца 113.  
 Гидротроилит 119.  
 Гиперстен 96.  
 Гиперстен-кордиеритовый ро-  
 вик 96  
 Гипс 78, 109, 110, 111, 112, 115, 117, 118, 121, 124, 125, 126, 133, 142, 145, 147, 167, 170, 172, 174, 176, 180, 183, 184, 186, 187, 190, 191, 192, 193.  
 Гипсовый песчаник 186.  
 Главконит 76, 109, 110, 113, 114, 115, 116, 117, 119, 121, 122, 127, 142, 144, 145, 155, 157, 168, 176, 184, 187.

Глауберова соль 168.  
 Глина 109, 113, 114, 115, 116, 118, 123, 126, 131, 134, 135, 136, 138, 140, 142, 143, 144, 145, 146, 148, 150, 152, 154, 155, 156, 157, 158, 166, 169, 170, 173, 174, 176, 178, 179, 183, 187, 188, 189, 190, 193.  
 Глина гончарная 133, 142, 148.  
 Глина квасцовая 144, 147, 148.  
 Глина огнеупорная 133, 139, 146, 148, 150, 151, 156, 168, 176, 178, 183, 188, 192.  
 Глина синяя 108, 112, 115, 117, 119.  
 Глинистая п. 167.  
 Глинистоуглистая 74.  
 Глинистый сл. 75, 89, 96, 101.  
 Глинозема гидрат 153, 155, 159.  
 Глинозема сульфат 144, 158.  
 Гнейс 75, 85, 86, 95, 101.  
 Гнейс — см. соотв. назв.  
 Гончарная глина 133, 142, 148.  
 Горная кожа 187, см. палыгор-  
 скит.  
 Горная пробка 187, см. палыгор-  
 скит.  
 Горнфельс 96.  
 Горный хрусталь 99.  
 Горшечный камень 74.  
 Горькая соль 185.  
 Горючий сл. 123, 169.  
 Гранат 79, 85, 86, 88, 119, 143.  
 см. также гроссуляр, альман-  
 дин.  
 Гранат известково-железистый 88.  
 Гранатовая п. 75, 86.  
 Гранатовый амфиболит 88.  
 Гранатовый гн. 75.  
 Гранатовый песок 77.  
 Гранатовый сл. 74.  
 Гранит 71, 73, 75, 81, 85, 87, 88, 89, 90, 95, 107, 119, 151.  
 Гранито-гнейс 71, 83, 85, 90, 107, 119.  
 Графит 77, 80.  
 Графитовый сл. 87.  
 Грахамит 112.  
 Гроссуляр 78.  
 Грязи 114, 117, 126, 187.  
 Гуано 113.  
 Гудрон 169, 170, 174.  
 Гуминовая кислота 188, 190.  
 Гуминовые соединения 93.  
 Гумус 98, 102, 193.  
 Жерновая р. 142, 158.  
 Диабаз 74, 75, 80, 81, 82, 83, 85, 88, 89, 91, 96.  
 Диаспор 133, 149.

Диорит 75, 77, 80, 82, 83, 85, 88, 89, 91.

Дистен 80, 86, 87.

Доломит 74, 76, 78, 79, 83, 85, 89, 108, 110, 113, 115, 117, 118, 120, 121, 123, 124, 125, 130, 131, 133, 134, 135, 137, 138, 139, 146, 150, 152, 153, 154, 155, 156, 159, 166, 167, 170, 171, 172, 173, 174, 177, 179, 183, 184, 185, 189, 190, 193.

Доломитовая мука 183.

Доломитовый мергель 124.

Друзит 75, 81, 85, 88.

Дунит 75.

Дымчатый кварц 89, 133.

Железа гидраты 118.

Железа гидроокись 113.

Железа окислы 120, 149.

Железистая конкреция 120.

Железистая охра 124.

Железная р. 139, 153, 155, 166, 173, 177, 183, 185, 188, 191, 193.

Железный купорос 157.

Железняк бурый, красный, см. бурый, красный железняк.

Железо-марганцевая конкреция 114, 125.

Жемчуг 78.

Жерновой песчаник 143.

Заратит 177.

Зеленокаменная п. 71, 74, 87.

Земля черная олопецк. 79, 80.

Змсевик 85, 97.

Золото 77, 83, 89, 140, 141, 143.

Известковая п. 76.

Известково-железистый гранат 88.

Известковый туф 110, 121, 126, 133, 142, 172.

Известковый шпат 133, 142, 152, 155.

Известняк 71, 89, 108, 109, 111, 113, 114, 115, 116, 118, 119, 123, 124, 126, 130, 131, 133, 134, 135, 137, 138, 139, 142, 144, 146, 147, 148, 149, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 163, 164, 166, 167, 169, 170, 171, 172, 173, 176, 178, 179, 182, 183, 185, 186, 188, 191, 193.

Ильменит 77, 96, 99, 100, 101, 139.

Имандрит 96.

Иолит 95, 96, 101.

Калиевая селитра 110, 113.

Калиевая слюда 87, 110, 138, см. мусковит.

Калиевая соль 191.

Калий хлористый 126.

Кальций серноокислый 126, 185.

Кальций углекислый 112, 157, 187, см. кальцит.

Кальций хлористый 126.

Кальцит 76, 78, 88, 91, 96, 97, 110, 113, 116, 121, 122, 123,

124, 133, 139, 142, 144, 151, 153, 155, 167, 181, 183.

Кальция бикарбонат 120.

Каменная соль 110, 115, 124, 171.

Каменный уголь 168, 170.

Камень горшечный 74.

Камень точильный 75.

Канкринит 97, 98.

Каолин 97, 133, 137, 148, 153, 154, 168, 172, 189, см. глина.

Каолинит 149.

Карбонат кальция 112, см. кальцит.

Карбонат магния 112.

Карбонат меди 110.

Кварц 76, 77, 86, 88, 90, 91, 96, 97, 98, 99, 102, 110, 114, 119, 120, 123, 124, 133, 142, 144, 145, 151, 153, 155, 156, 167, 173, 181, 187, 190.

Кварц дымчатый 89, 133.

Кварцевая ж. 75, 77, 79, 82, 83, 85, 87.

Кварцит 71, 75, 77, 82, 89, 90, 96.

Квасцовая глина 144, 147, 148.

Квасцы 110, 113, 168.

Кенноль 148.

Керамическая глина 192.

Кианит 78, 79, 88.

Кимберлит 77, 90.

Кир 170.

Кирпичная медная р. 77, 167.

Кнопит 97.

Ковелин 77.

Колчедан 100, 110, 112, 114, 116, 117, 118, 121, 125, 127, 132, 133, 137, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 150, 157, 167, 177, 179, 185, 187, 193.

Колчедан медный 77.

Конгломераты 167, 173.

Кордиерит 78, 96.

Кордиеритовый сл. 74.

Корунд 77, 80.

Красный железняк 149.

Кремень 114, 124, 127, 133, 134, 138, 150, 151, 152, 153, 156, 159, 174, 178, 183, 184, 185, 193.

Кремневая кислота 190.

Кремневый аморфный цемент 114.

Кремнезем 113, 114, 115, 189.

Кремнезема гидраты 142, 153, 155.

Кремнистая оливино-актинолитовая п. 96.

Кремнистый сл. 85.

Кривозерит 76.

Кристаллические сл. 74, 85, 96.

Крокоит 78, 79.

Кукерсит 109, 111, 112, 114, 115, 123.

Купорос железный 157.

Куприт 167.

Курный уголь 149.

Лабрадор 78.

Лабрадорит 75.

Лабрадоритовая п. 80.

Лабрадорнофрит хлоритизированный 96.

Лампрофиллий 97, 100, 101.

Лампрофиллитовый лувврит 101.

Латерит 135, 137, 189.

Лед 78, 167, 169, 192.

Лидит 78.

Лимонит 77, 116, 121, 133, 141, 142, 145, 147, 155, 159, 167, 177, 178, 194.

Ловенит 97, 98, 100.

Лопарит 97, 100.

Луаврит 96, 101.

Лярдит 155.

Магнезит 190.

Магнетит 77, 81, 82, 88, 90, 96, 100, 143.

Магний бромистый 117.

Магнитный железняк 92.

Магния карбонат 112.

Малахит 116, 117, 123, 167, 179.

Манганит 110.

Марганцево-желез. дендриты 177.

Марганцево-железистые конкреции 93, 94.

Марганцевые окислы 93, 96, 113, 118, 133.

Марказит 110, 120, 121, 133, 141, 145, 148, 151, 167.

Медистый песчаник 179.

Медная зелень 116.

Медная углекислая соль 78.

Медная чернь 116.

Медные окислы 122.

Медный блеск 167.

Медный колчедан 77, 110.

Медь 77, 123, 167.

Мелантерит 78, 110, 121, 133, 142, 145, 158, 167, 174.

Мергель 108, 119, 123, 125, 127, 131, 137, 141, 146, 150, 152, 156, 157, 163, 164, 165, 167, 171, 184, 186, 187, 188, 189, 190, 192.

Мергель доломитовый 124.

Метабазит 75, 85, 88.

Метан 112.

Мигматическая п. 73.

Микроклин 79, 97, 114, 133, 147, 156.

Минеральное озеро 114, 115.

Минеральные воды 116, 187.

Минеральный источник 118, 124, 126.

Мозандрит 97, 98, 100.

Молибденит 77, 83.

Мончикит 96, 99, 102.

Московит 87, см. мусковит.

Мрамор 73, 78, 89, 133, 153, 155, 185.

Мусковит 79, 87, 88, 133.

Мыльник 174.

Натрий хлористый 118, 126, 187.

Нагрозит 97.

Нефелин 97, 101, 102.

Нефть 67, 166, 168, 169, 170, 171,  
174, 184, 186, 193.  
Никелевый карбонат 177.  
Нозеан 97, 99.  
Норит 75, 88.

Огнеупорная глина 133, 139, 146,  
148, 150, 151, 156, 168, 176,  
178, 183, 188, 192, 194.

Озерная руда 116.

Окислы железа 110, 120, 133, 142,  
145, 149.

Оливин 78, 88, 96, 97.

Оливино-актинолитовая кремни-  
стая п. 96.

Оливиновый диабаз 75.

Олигоклаз 87.

Онегит 77, 78, 89.

Оолит 120, 133, 141, 142, 145,  
180.

Опал 138, 167.

Опока 138.

Ортоклаз 87, 97, 114, 133, 147,  
156.

Орштейн 116, 143, 158, 189.

Охра 133, 149, 155.

Охра железистая 124.

Пальгорскит 79, 133, 137, 138,  
153, 154, 155, 159, 168, 172,  
178, 187, 189, 190, 193.

Паргасит 78.

Пегматит 73, 75, 78, 80, 85, 87,  
90, 95, 96, 99, 100, 101. см.  
пегматитовая жила.

Пегматитовая ж. 77, 78, 79, 98,  
100, см. пегматит.

Пенистый шпат 153.

Перидотит 75, 88, 89.

Перовскит 97, 100.

Песок 108, 109, 114, 115, 119,  
120, 121, 124, 126, 131, 140,  
142, 143, 144, 146, 148, 157,  
164, 165, 167, 169, 173, 178,  
187, 188, 191, 192, 194.

Песок гранатовый 77.

Песчаник 75, 85, 89, 101, 108,  
113, 115, 116, 117, 119, 120,  
124, 131, 138, 146, 163, 166,  
167, 170, 171, 173, 174, 176,  
177, 191, 192.

Песчаник гипсовый 186.

Песчаник медистый 179.

Печера 186.

Пирит 77, 96, 99, 110, 113, 116,  
117, 119, 120, 121, 122, 123,  
124, 126, 127, 133, 140, 141,  
142, 145, 146, 148, 149, 150,  
157, 167, 177, 179, 186.

Пироксен 78, 81.

Пироксен титановый 88, 97.

Пироксенит 91.

Пироксеновая п. 87.

Пирохлор 97, 100.

Пирротин 77, 82, 89.

Плавиновый шпат 80, 91, 101,  
135.

Плагиоклаз 78, 79, 88, 99, 100.

Плагиоклазовая п. 87.

Плита 109.

Подзолы 116, 142, 143, 145.

Полевой шпат 76, 85, 88, 97, 99,  
100, 101, 102, 110, 115, 119,  
125, 147, 153, 156.

Полевошпатовая ж. 87.

Полуопал 133, 153.

Порода—см. соотв. назв.

Почвенный покров 116.

Рапакиви 87.

Ратовкит 133, 134, 135, 138, 144,  
151, 152, 153, 155.

Роговая обманка 78, 83, 90, 97,  
100, 124.

Роговообманковый сл. 85.

Роголька беломорская 78.

Рутил 77, 139, 149.

Рухляк 167.

Самородная сера 114, 121, 186.

Самородное серебро 91.

Сапропель 112, 118, 126, 142,  
169.

Свинцовый блеск 79, 116, 117,  
118, 140.

Селенит 184, 192.

Селитра калиевая 110, 113.

Септария 142.

Сера 110, 114, 121, 125, 132,  
149, 158, 167, 174, 186, 187,  
193.

Сердолик 133.

Серебро 77, 89, 91.

Серицитовый сл. 75.

Серная кислота 137, 142, 145,  
157, 189.

Серпистый цинк 127.

Сернокислый кальций 126, 185.

Серный ист. 110, 186.

Серный цвет 110, 125.

Сероводород 110, 112, 114, 120,  
121, 125, 126, 133, 134, 141,  
143, 154, 157, 167, 174, 186,  
187.

Сероводородный ист. 194.

Серпентин 78, 97.

Сиенит эфеолитовый 95, 99.

Сидерит 150, 155, 167, 178.

Сильвии 167.

Сильвинит 175.

Силлиманит 78, 80, 86, 87, 96.

Силлиманитовый гнейс 96.  
сл. 74.

Синяя глина 108, 112, 115, 117,  
119.

Скаполит 78, 80, 85, 86.

Скаполитовая п. 75, 80, 87.

Сланец—см. соотв. назв.

Слюда 75, 81, 85, 125, 142, 144,  
146, 168.

Слюда калиевая 87, 110, 138; см.  
мусковит.

Слюдяной гн. 75.

" сл. 74.

Снег 78.

Содалит 97, 99.

Соль 112, 117, 175, 184, 186, 191,  
192, 193, см. галит.

Соль азотно-кислая 113.

» калиевая 191.

» каменная 110, 115, 124.

» углекислая медная 78.

Соляное озеро 175.

Соляной ист. 115, 163, 175, 184, 194.

Ставролит 78, 85.

Ставролит-андалузитовая п. 75.

Стеатит 78.

Стронцианит 78, 167, 180.

Стронцианокальцит 78.

Суглинок 131.

Сульфат глинозема 144, 158.

» меди 116.

» окиси железа 110, 133,  
142, 145.

Сфалерит 77, 91, 110, 116, 117,  
119, 123, 133, 140.

Сфен 97, 100.

Сферосидерит 117, 119, 122, 123,  
133, 140, 142, 144, 148, 150,  
157, 167, 173, 177, 178, 186,  
187, 188, 191, 194.

Тавит 96.

Талоконка 189.

Тальк 78, 85.

Тальково-хлоритовый сл. 75.

Тальковый сл. 74, 85.

Тералит 96, 101.

Терра rossa 135.

Тетраэдрит 167.

Тингуаит 96, 102.

Титанат 97.

Титановая роговая обманка 100.

Титановый пироксен 88, 97.

Титаномагнетит 77, 82.

Титаносиликат 97.

Толща глинистоуглистая 74.

Томсонит 97.

Торф 110, 112, 118, 126, 142,  
143, 148, 168, 169, 178, 187.

Точильный камень 75.

Травертин 187.

Тремолит 78, 96.

Трепел 110, 126.

Турмалин 79, 88.

Туф 115, 153.

Уваровит 177.

Углеводороды 112, 143, 167, 169,  
184, 185, 186, 194.

Углекислота 126, 135, 137, 147,  
154, 155, 157, 159, 172, 186.

Углекислая медная соль 78.

Углекислый кальций 157, 187; см.  
кальцит.

Углистоглинистый сл. 167.

Углистый сл. 112, 168, 169, 170.

Уголь 112, 121, 123, 127, 133,  
134, 142, 143, 146, 148, 150,  
151, 169, 170, 173.

Уголь бурый 111, 112, 127.

Уголь курный 149.

Уралит 80, 87.

Уртит 95, 96.

Фельсобанит 167.

Ферро-силикаты 133.

Филлит 74.  
 Флогонит 76.  
 Флюорит 77, 79, 85, 91, 96, 98, 99.  
 Фольборнит 167, 176, 179, 181.  
 Фосфорит 108, 110, 113, 114, 123, 127, 132, 135, 137, 142, 143, 144, 145, 146, 152, 157, 158, 167, 171, 178, 187.  
 Франколит 144.  
 Фтор-анатит 96, 113, 120, 135, 142, 144.  
 Фуксит 79.  
 Халцедон 114, 124, 133, 153, 155, 167, 174, 185.  
 Халькозин 77, 89, 167, 179.  
 Халькопирит 77, 88, 99, 110, 116, 127, 133, 140, 167, 179.  
 Hartsalz 167.  
 Хиастолитовый сл. 74.  
 Хлбнит 96, 97, 101.  
 Хлорапатит 99.  
 Хлористый калий 126.  
 кальций 126.

Хлористый натрий 118, 126, 187.  
 Хлорит 78, 80, 88, 96.  
 Хлоротизированный лабрадор-порфирит 96.  
 Хлоритовый сл. 74, 85, 96.  
 Хлорито-тальковый сл. 75.  
 Холмогорит 167, 172.  
 Хромистый железняк 177.  
 Целестин 110, 117, 124, 167, 174, 180, 193.  
 Цемент кремневый аморфный 114.  
 Цеолит 98, 101.  
 Цинк сернистый 127.  
 Цинковая обманка 140.  
 Циркон 77, 96, 100, 101.  
 Цирконосиликат 97.  
 Цитрин 133, 153.  
 Цоизит 78, 87.  
 Цоизитовая п. 75, 80.  
 Черная земля олопецк. 79, 80.  
 Чернь медная 116.  
 Чечевичный слой 114, 116.

Шанявскит 133, 155.  
 Шерл 88.  
 Шпат—см. соотв. назв.  
 Шпипель 96.  
 Штаффелит 142, 144.  
 Шунгит 73, 78, 79, 80, 83, 89.  
 Эвдиалитовый лувриг 101.  
 Эвдиалит 97, 99, 100.  
 Эвколит 97, 99, 101.  
 Эгирия 97, 99, 101, 102.  
 Эгирино-элеолито-анатитовая п. 99.  
 Элеолит 98, 99, 101, 102.  
 Элеолит-сиенитовая п. 96.  
 Элеолито-эгирино-анатитовая п. 99.  
 Элеолитовый сиенит 95, 99, 100.  
 Эпигматит 97, 99, 100, 101, 102.  
 Эпидорит 75.  
 Эпидот 78, 79, 81, 85, 87, 88, 96.  
 Эпсомит 110, 113, 125, 167, 172.  
 Янтарь 111, 112, 127.  
 Яшма 78.

## Указатель главнейших геологических и геохимических терминов.

Альпийского типа жила 27.  
 Анаморфизма зона 16.  
 Ассоциация естественная геохимическая 57, 62.  
 Ассоциация естественная минералов 10, 18.  
 Ассоциация типичная геохимическая 51.  
 Атмосфера 36, 56.  
 Базальтовая постель 16.  
 Береговой линии перемещение 40.  
 Биолит 22.  
 Биосфера 16, 133.  
 Биохимические образ. 41, 133, 137, 157, 176, 184, 187, 191, 193.  
 Бокситизация 148, 149.  
 Болота 39, 92.  
 Вода подземная 38.  
 Возраст минерала 19.  
 Вулканическая деятельность 34.  
 Выветривание 118. См. гипергенез.  
 Выветривание элювиальное 193. См. гипергенез.  
 Выщелачивание 137. См. гипергенез.  
 Генерация 10.  
 Генетическая минералогия 13.  
 Генетический тип 10, 11, 15, 25, 118, 181.

Генетический цикл 11, 18, 33, 69, 86, 101, 119, 152, 182.  
 Геосинклиналь 163, 165, 191.  
 Геотермический метаморфизм 36.  
 Геохимическая ассоциация 94, 111, 127, 134, 159, 168.  
 Геохимическая диаграмма 79, 81, 112, 136, 168.  
 Геохимическая пара 33.  
 Геохимический процесс 19, 193.  
 Геохимия 1, 8, 61.  
 Герцинская складчатость 132, 134.  
 Гидатогенный процесс 80.  
 Гидатоматаморфизм 85.  
 Гидросфера 56.  
 Гидротермальная деятельность 111, 133, 150, 158, 181, 193.  
 Гидротермальная жила 27, 85.  
 Гидротермальное выделение 14, 26.  
 Гипергенез 14, 31, 32, 40, 85, 95, 118, 121, 124, 125, 133, 137, 143, 148, 151, 153, 155, 156, 157, 159, 172, 173, 177, 180, 182, 189, 192, 193.  
 Гипергенез древний 32.  
 Глубинный метаморфизм давления 133.  
 Горообразующий процесс 35.  
 Горячий источник 35.  
 Делювий 71, 192.  
 Деятельность льда 38.  
 Диагенез 14, 29, 32, 118, 119, 122, 145, 152, 193.

Диагенетическое образование 19, 127, 133, 142, 152, 158, 174, 181.  
 Диаграмма геохимическая 79, 81, 112, 136, 168.  
 Динамометаморфизм 75.  
 Дислокация 35, 84, 89, 91, 163, 171.  
 Дислокация дисъюнктивная 72 до 118, 127.  
 Дислокация пликативная 151.  
 Дисъюнктивная дислокация 72, 90, 118, 127, 151.  
 Дифференциация 101.  
 Доломитизация 113, 153, 154.  
 Древний гипергенез 32.  
 Естественная геохимическая ассоциация 57, 62.  
 Естественная минеральная ассоциация 10.  
 Железо-марганцевые конкреции 93, 114, 125.  
 Жила альпийского типа 27.  
 » гидротермальная 27, 85.  
 » метасоматическая 27.  
 » пегматитовая 14, 25, 26, 87, 90, 102.  
 Жила рудная 27, 85, 91, 95, 181.  
 Закон Оствальда 11.  
 Зона анаморфизма 16.  
 » магматическая 16.  
 » цементации 16.  
 Зоны земной коры 16.

**Источник горячий** 35.  
**Кальцитизация** 153.  
**Каолинизация** 153, 154.  
**Катагенез** 14, 30, 32, 40, 85, 118, 120, 121, 124, 125, 127, 133, 137, 139, 148, 151, 152, 156, 157, 159, 172, 177, 181, 184, 185, 191, 193.  
**Катагенез перерыва** 40.  
**Катагенетическая реакция** 114, 142, 193.  
**Катаморфизм** 16.  
**Кислородная поверхность** 135, 144.  
**Климатический режим** 36.  
**Коллоидальное состояние материи** 17.  
**Конкреции железо-марганцевые** 93, 114, 125.  
**Контакт** 14, 28, 96, 99.  
**Континентальный перерыв** 131.  
**Коры земной зоны** 16.  
**Культурно-химические явления** 41, 65.  
**Лакколит** 101.  
**Ледник** 86, 92, 102, 109, 164, 165.  
**Ледниковая эрозия** 73, 80, 108, 125, 143, 158.  
**Литосфера** 57.  
**Лучи солнца** 21.  
**Льда деятельность** 38.  
**Магма** 133.  
**Магматическая зона** 16.  
**Магматический процесс** 25, 34, 158.  
**Марганцево-железные конкреции** 93, 114, 125.  
**Месторождение** 48.  
**Метаморфизм** 80, 86, 88, 95, 156.  
 » геотермический 36.  
 » давления 36, 85,  
 » глубин —  
 ный 133.  
**Метаморфизм инъекции** 85.  
**Метаморфизм контакта** 85. См. контакт.  
**Метаморфизм мигматизации** 85.  
 » региональный 14, 29.  
**Метасоматическая жила** 27.  
**Метеориты** 55.  
**Мигматизация** 14, 28, 87, 95.  
**Миграция** 61, 64, 171.  
**Микрокосмическая смесь** 57.  
**Минералогия** 8.  
**Минералогия генетическая** 13.  
**Минералы** 76, 96, 110, 132, 141, 167.  
**Минеральная ассоциация** 18.

**Минерогенезис** 93.  
**Мутабельное соединение** 17.  
**Озера** 39, 92.  
**Океан** 39.  
**Окремнение** 114, 153, 155, 183, 185.  
**Органический мир** 40.  
**Орография** 73, 109, 166.  
**Пальгорскитизация** 153, 154, 155.  
**Пара геохимическая** 33.  
**Парагенезис** 10.  
**Пегматитовая жила** 14, 25, 26, 87, 90, 102.  
**Перемещение береговой линии** 40.  
**Перемещение береговой линии регрессивное** 40, 127, 132, 141, 157, 183.  
**Перемещение береговой линии трансгрессивное** 40, 127, 132, 141, 150, 157.  
**Перерыв геологический** 157.  
 » отложений 40.  
**Петрографическая провинция** 74.  
**Пликативная дислокация** 151.  
**Пневматолит** 14, 28.  
**Пневматолитическая фаза** 101.  
**Пневматолитический процесс** 80.  
 См. пневматолит.  
**Поверхностное разрушение** 31.  
 См. гипергенез.  
**Подземная вода** 38.  
**Поле равновесия** 24.  
**Поле существования** 24.  
**Поствулканическая деятельность** 18, 133, 181.  
**Постель базальтовая** 16.  
**Посторогенетические явления и процессы** 35, 118, 133, 158, 181, 186, 193.  
**Почвенный покров** 102, 109, 118, 126, 157.  
**Провинция элементогенетическая** 2, 59.  
**Пустынный цикл** 38.  
**Распределение элементов** 44, 49.  
**Региональный метаморфизм** 14, 29.  
**Реголит** 31.  
**Регрессивное перемещение береговой линии** 40, 127, 132, 141, 157, 183.  
**Режим климатический** 36.  
**Рудная жила** 27, 85, 91, 95, 181.

**Сингенез** 29, 32, 172, 193.  
**Сингенетическое образование** 14, 85, 118, 127, 133, 148, 151, 152, 158, 179.  
**Солнца лучи** 21.  
**Соляные озера** 39, 111.  
**Состав земной коры** 47.  
**Тектонический процесс** 132.  
**Тепло земли** 20.  
**Тепловые лучи** 21.  
**Тип генетический** 10, 11, 15, 25, 118, 181.  
**Типическая геохимическая ассоциация** 51.  
**Топоминералогическое исследование** 3.  
**Трансгрессивное перемещение береговой линии** 40, 127, 131, 132, 137, 141, 150, 157, 156, 164, 165, 187.  
**Фаза** 10.  
**Фаза пневматолитическая** 101.  
**Фальбанд** 14, 86, 90.  
**Феноскандинавский щит** 70, 86, 101, 132, 181.  
**Химико-географическое описание** 12.  
**Химические лучи** 21.  
**Химический элемент** 8.  
**Хронология геохимического процесса** 19.  
**Цементация зона** 16.  
**Цикл генетический** 11, 18, 33, 69, 86, 101, 119.  
**Щит феноскандинавский** 70, 86, 101, 132, 181. См. феноскандинавский щит.  
**Электрический разряд** 37.  
**Элементов распределение** 44, 49.  
**Элементогенетическая провинция** 2, 59.  
**Элементогенетическая эпоха** 2, 59.  
**Элювиальное выветривание** 193.  
 См. гипергенез.  
**Энергетика геохимических процессов** 20.  
**Энергия живого вещества** 22.  
**Эпимагматическая стадия** 18.  
**Эпоха элементогенетическая** 2, 59.  
**Эрозия** 92, 102.  
**Эрозия ледниковая** 73, 80, 108, 125, 143, 158.  
**Ювенильные воды** 35.

# Указатель русских географических названий

(только для специальной части).

Сокращения: б.—бухта, басс.—бассейн, г.—гора, горы, гор.—город, губ.—губерния, у.—уезд, з.—залив, кр.—край, м.—море, масс.—массив, м. в.—минеральные воды, мр.—месторождение, ов.—остров, оз.—озеро, ок.—океан, п-ов—полуостров, р.—река, рдн.—рудник, р-н.—район, ст.—степь, степи, стц.—станция, ущ.—ущелье, хр.—хребет.

Азия 67, 163.  
 Александровск п. у. 71, 87.  
 Алтайды 67, 68, 132.  
 Алтай 68.  
 Альпийская система 67,  
 Ангарский щит 66, 67, 68, 71.  
 Аннинский завод 176.  
 Ардатов гор. и у. 162, 166.  
 Ардаховско-Муромский 178.  
 Армения 67.  
 Архангельск 130, 131.  
 Архангельская губ. 70, 71, 74,  
 89, 107, 130, 162, 187.  
 Астраханские степи 67, 163.  
 Астрахань 141.  
 Базарная губа 79.  
 Балахна 174.  
 Балахнинская скважина 183.  
 Балтийское м. 73, 92, 114, 125.  
 Баренцово м. 93.  
 Барнуковская пещера 185.  
 Белая р. 166, 170.  
 Белое м. 70, 72, 73, 76, 78, 83,  
 87, 90, 92, 107, 108.  
 Биорке 125.  
 Богородское село 177, 179.  
 Боровичские пороги 151.  
 Боровичский р.—н 134, 138, 140,  
 146, 148, 149, 150.  
 Вазуза р. 153.  
 Варзуга р. 76, 90.  
 Великая р. 109, 117.  
 Велимяки 82.  
 Верхний Услон 180.  
 Ветлуга р. 130.  
 Виндава 107,—р. 112, 114.  
 Витебская губ. 107.  
 Вишерский Урал 162.  
 Владимир 130.  
 Владимирская губ. 130, 166.  
 Воицкий рдн. 77, 78, 83, 89.  
 Волга 145, 156, 162, 164, 165,  
 166, 167, 177, 179, 180, 190.  
 Волжская грива 187.  
 Волжско-Камский водораздел 176.  
 Волк—остров 77, 78, 84, 89, 91.  
 Вологда 102, 130, 164.  
 Вологодская губ. 162, 175, 188.  
 Волхов р. 111, 116, 123.  
 Воронеж 141.  
 Воронежский горст 67, 71.  
 Воскресенский рдн. 181.  
 Выг р. 83.  
 Выксунский район 177, 180, 188.  
 Вытегорский у. 70.

Вычегда р. 166.  
 Вятка г. и р. 166; 180.  
 Вятская губ. 162, 169, 176, 188.  
 Вятско-Камский водораздел 166,  
 173, 176, 178, 188, 192, басс.  
 193.  
 Гакмана ущ. 98.  
 Гапсаль 114.  
 Гатчина 126.  
 Горный Туркестан 68.  
 Даго ов. 115.  
 Даурия Селенгинская 68.  
 Двина р.—см. З. и С. Двина.  
 Донецкий басс. 132, 163, 179.  
 Доиская степь 67.  
 Дорогомилово 153, 157.  
 Елатьма 157.  
 Елец 130.  
 Enontekis 95.  
 Ефимятское село 176.  
 Жигули 162, 164, 165, 166, 167,  
 169, 170, 171, 174, 180, 182,  
 183, 184, 185, 186.  
 Зап. Двина 109, 116—119, 125,  
 169.  
 Зап. Сибирь 68.  
 Закавказье 67.  
 Закаспийский кр. 67, 169.  
 Зашейки 78.  
 Зубцов 152.  
 Иваново-Вознесенск 175.  
 Изборские ложки 115.  
 Ииваара 95.  
 Икша ст. 143.  
 Илецкая защита 174, 175.  
 Имандра оз. 76, 102, 103.  
 Иргинский р-н 176.  
 Кавказа предгорья 67.  
 Кавказ 67.  
 Кавказский хр. 67.  
 Казанская губ. 162, 166, 179, 187.  
 Казань 66, 164, 166, 167, 174, 180.  
 Калужская губ. 130, 136.  
 Кама р. 166.  
 Камско - Волжский водораздел  
 176.  
 Камско-Вятский водораздел 166,  
 173, 176, 178, 188, 192, 193.  
 Камчатка 68.  
 Канда р. 86.

Кандалакша 76, 85, 87.  
 Кандалакшский з. 72, 75, 77, 78,  
 79, 80, 90, 95.  
 Канин 87, 90, 91.  
 Капорье 109; 121.  
 Каргопольский у. 70.  
 Карелия 70, 73, 75, 77—83, 86,  
 88, 90, 91, 94, 167.  
 Карское м. 93.  
 Касимов 130.  
 Каспийское м. 67, 163.  
 Кемлуда 77, 83.  
 Кемский у. 71, 78, 86.  
 Кереть 83.  
 Киргизские степи 68.  
 Киркенесс 90.  
 Ковда 87.  
 Ковенская губ. 107.  
 Ковров 162.  
 Козлов 130.  
 Козьмодемьянский у. 170.  
 Койкарское м. 79.  
 Колы долина 78.  
 Кольский з. 90.  
 Кольский массив 71, 73, 76.  
 Кольский п-ов 70, 72, 73, 75—81,  
 82, 84, 90, 91, 94, 95, 98, 101,  
 102, 167.  
 Кокшер о-в 112.  
 Кончезеро 79, 81.  
 Корабль г. 77, 79, 80, 85, 91.  
 Костромская губ. 130, 144, 146,  
 156, 152, 162, 174, 177.  
 Котельнический район 179.  
 Котлин ов. 117.  
 Красновидово 180.  
 Крым 67, 68, 163.  
 Крымская Яйла 68.  
 Кудиново стц. 156.  
 Кузомель 677.  
 Кукас оз. 87.  
 Кунгурская пещера 192.  
 Кунгурский район 176.  
 Курляндия 107, 109, 115, 116,  
 117.  
 Ладожское озеро 70, 71, 92,  
 93,  
 Лапландия 71, 80.  
 Ледовитый океан 70, 72, 87, 92,  
 94, 126, 162, 164, 166.  
 Липецк 130, 156.  
 Лифляндия 107, 115.  
 Лодейнопольский у. 70.  
 Луяврский массив 77, 95, 96, 100,  
 102.  
 Луявурт см. Луяврский масс.

Макарьев 157.  
 Манджурия 67.  
 Марциальные м. в. 78, 81.  
 Медвежий ов. 77, 78, 83, 91.  
 Минская губ. 71.  
 Минусинский кр. 68.  
 Могилевская губ. 107.  
 Молога р. 162.  
 Монча-тундра 102.  
 Моркваши 180.  
 Москва 66, 87, 138, 143, 153,  
 156, 189.  
 Московская губ. 84, 130, 151.  
 Московский басс. 66, 67, 150.  
 Мста р. 150, 151.  
 Мурманск 75.  
 Мурманское побережье 75, 78,  
 79, 80, 83, 84, 89, 90, 91, 93,  
 94.  
 Муром 162.  
 Мценск 130.

Шагольный кряж 159.  
 Нарова 116, 118, 123, 126.  
 Нева 125.  
 Нижегородская губ. 162, 166,  
 174, 177, 185.  
 Нижний-Новгород 190.  
 Новая Земля 93.  
 Новгород 130.  
 Новгородская губ. 107, 130,  
 139.  
 Нотозеро 95.

Ока р. 166, 188.  
 Окско - Клязьминский р-н 173,  
 178, 183.  
 Окско-Муромский р-н 178.  
 Олений ов. 73, 78, 79, 82, 85.  
 Олонецкая губ. 70, 71, 76, 82,  
 83, 89, 107, 130, 167.  
 Олония 70, 71, 73—85, 88, 89,  
 92, 93, 109, 149.  
 Онега гор. 70, 107.  
 Онега р. 70, 172.  
 Онежская губ. 70, 76.  
 Онежское озеро 70, 78, 79, 91,  
 92, 93, 130.  
 Орел 130, 141.  
 Оренбург 162, 164.  
 Орловская губ. 130.  
 Осуга р. 153.  
 Оханский у. 176.

Павловск 116, 117.  
 Паз р. 75, 77, 89, 92.  
 Пахель 118.  
 Пергуба 89.  
 Пермская губ. 162, 176, 181,  
 188.  
 Петербург—см. Петроград.  
 Петровско-Разумовское 134.  
 Петроград 109, 111, 115, 117,  
 119.  
 Петроградская губ. 107, 115,  
 126.  
 Петрозаводский у. 79, 83.  
 Печищи 180.  
 Печора р. 141.

Рухакиги 95.  
 Повенецкий у. 76, 79, 89.  
 Поволжье 140, 164, 174, 179, 181,  
 182, 184, 186.  
 Подмосковный район 134, 148.  
 Подольск 153.  
 Подольский цементный завод 139.  
 Подольско-Азовский горст 67.  
 Полярный кр. 68.  
 Полярный оя. 92.  
 Поливна 146.  
 Поморье 70, 71, 77, 80, 81, 83.  
 Поной р. 90.  
 Поповка р. 108, 109, 116, 117.  
 Поповка стц. 120.  
 Предкавказье 163, 169.  
 Предуралье 166.  
 Прибайкалье 68.  
 Прибайкальские хр. 68  
 Прибалтика 113.  
 Прииртышский кр. 68.  
 Прикаспий 68, 165.  
 Приопежье 109.  
 Приуралье 165, 166, 170, 174, 175,  
 176, 177, 178, 180, 182, 184,  
 191, 192.  
 Псковская губ. 107, 114.  
 Пулковка р. 109.  
 Путнозеро 77.  
 Пьяна р. 185.

Рамзая ущ. 98.  
 Раненбургский у. 139.  
 Ревель 109, 111, 116, 117, 123, 125.  
 Ржев 152.  
 Рига 111.  
 Ропша 126.  
 Рославльский у. 107.  
 Русавкино 153.  
 Рязанская губ. 130, 139, 147,  
 149, 156.

С. Двина 166, 172, 174.  
 С. Карелия 91; см. Карелия.  
 С. Ледов. ок.—см. Ледов. ок.  
 С. Урал 167, см. Урал.  
 С.-В. Сибирь 71.  
 Самара гор. 66, 180.  
 Самара р. 162.  
 Самарская губ. 162, 166, 186.  
 Самарская Лука 167, 173.  
 Саяны 68.  
 Свияжский у. 180.  
 Свирь р. 70, 82.  
 Сегозеро 88.  
 Селенгинская Даурья 68.  
 Сергиевские м. в. 187.  
 Сердоболь 82.  
 Сибирь З. 68.  
 Сибирь С.-В. 71.  
 Симбирск 162.  
 Симбирская губ. 179.  
 Смоленск 130, 141.  
 Смоленская губ. 107, 130.  
 Смолка деревня 126.  
 Сок р. 170.  
 Солигалич 130.  
 Соликамский р-н 166, 174, 175,  
 180, 192.

Сороцкий р-н 78, 86.  
 Старая Русса 115, 116, 124.  
 Стерлитамак 170.  
 Сура р. 162.  
 Сухона р. 166, 174.  
 Сысола р. 178.  
 Сюкеево 164, 166, 170, 174,  
 177, 179.

Гаврокавказские хр. 67.  
 Тамбовская губ. 130.  
 Тверская губ. 71, 130, 151.  
 Терский берег 77, 89.  
 Тетюши 162, 177.  
 Тетюшский у. 166.  
 Тивдия 73, 89.  
 Тиман 67, 87, 90, 91, 162, 164,  
 165, 167.  
 Тихвин 107.  
 Тихвинский у. 139, 148.  
 Тихий ок. 68.  
 Томилово стц. 180.  
 Тосно р. 120, 126.  
 Троицкий завод 175.  
 Тулома р. 78.  
 Туломозерская дача 82.  
 Тульская губ. 130, 147, 156.  
 Тунгузский басс. 68.  
 Турий п-ов 77, 91, 95.  
 Туркестан 68.

Умба 72, 73, 97, 99.  
 Умитек 72, 73, 77, 98, 99, 102.  
 Урал 67, 107, 132, 134, 151, 152,  
 159, 162, 163, 165, 166, 167,  
 169, 171, 173, 177, 181, 182,  
 188, 189, 191, 192.  
 Уральский хр. 68, 132, 164, 179,  
 182, 191, 192.  
 Уржумский р-н 178.  
 Урмаево 179.  
 Услон Верхний 180.  
 Усолье 174.  
 Уссурийский кр. 68.  
 Уфа р. 180.  
 Уфимская губ. 162, 180.  
 Уфимское плато 170, 173, 176,  
 178, 192.  
 Ухтым 176.

Феллин 116, 117, 118.  
 Феноскандинавский щит 66, 67,  
 70, 71, 72, 74, 76, 77, 80, 81,  
 82, 84, 86, 89, 90, 91, 92, 102,  
 108, 109, 124, 125, 132, 164,  
 181.  
 Финляндия 70, 71, 72, 73, 76, 84,  
 86, 87, 92, 95, 108.  
 Финский з. 66, 70, 71, 72, 92,  
 93, 108, 125.

Харьков 163.  
 Хибинский басс. 72, 74, 77, 78,  
 81, 82, 91, 94, 95, 96, 101—  
 103.  
 Хинган 68.  
 Хитоварака 68.  
 Холм г. 116.  
 Холуницкие шахты 188.

Черемуховские м. в. 187.  
Чердынский Урал 192.  
Черное м. 67, 72.  
Чистопольский у. 170, 187.  
Чуна-тундра 102.  
Чусовая р. 180.

Шелонь 114.  
Шешма р. 164, 169, 170, 171.

Эзель 115.  
Эстляндия 107.  
Эстония 126.

Юрьевец 130.

Яблонный хр. 68.  
Ямбург 121.  
Яранский у. 180.  
Ярославль 162.  
Ярославская губ. 130, 162.

## Указатель имен собственных.

(Русский алфавит).

Агрикола, 49.  
Акерман, Э. 161.  
Амалицкий, В. 194.  
Ангель, Ф. см. Angel.  
Антропов, А. 161.  
Апушкин, А. 196.  
Аррениус см. Arrhenius.  
Артемьев, Д. 160.  
Архаигельский, А. 29, 40, 145, 157.  
Ауэрбах, И. 195.

Бакунд, О. 80, 103.  
Барбот-деМарни, 147.  
Бекке, см. Becke.  
Белякин, Д. 77, 104.  
Бишоф, см. Bischof.  
Богданович, К. 7, 178, 196.  
Боголюбов, Н. 155, 161.  
Бок, П. 128, 159.  
Болдырев, А. 105.  
Болховитинова, М. 105.  
Бонштедт, Э. 106.  
Борисов, П. 76, 83, 104, 105, 134, 159.  
Бродский, М. 197.  
Буковецкий, С. 79, 104.  
Бухе, 14. (Boeke).

Валлеруэ 13.  
Вальтер, см. Walther.  
Вансович, 128.  
Васильевский, М. 148.  
Варсонофьева, В. 196.  
Вашингтон, см. Washington.  
Велен, см. Velain.  
Вернадский, В. И. 4, 7, 41, 44, 50, 51, 57, 60, 113, 167, 168, 196, 197.  
Верт 117.  
Виллениус, Г. 177, 179, 195.  
Виноградов, А. 134.

Гадд 5.  
Гельмерсен см. Helmersen.  
Георги 6. 128, 176.  
Герман, 6.  
Гильденштедт 6.  
Гильзен, К. 92, 105.  
Гизбург, И. И. 77, 82, 83, 93, 104, 105, 106.

Гладкий 188.  
Глинка К. 37, 129, 155.  
Головкинский, П. 194.  
Гольдшмидт, В. М. см. Goldschmidt.  
Гольмберг 5.  
Гревингк, К. 110, 115, 129.  
Грубейманн 29.

Дитмар, А. 159, 194.  
Дочучаев, В. 37, 188, 194.  
Драверт, П. 177, 179, 181, 196, 197.

Едемский, Б. 180.  
Епифанов, И. 161.  
Еремсев 116, 128.  
Ерофеев, В. 195.

Зайцев, А. 194.  
Залесский, М. 148.  
Замятин, А. 105, 171, 174, 194, 195, 196.  
Земятчинский, П. 129, 139, 147, 155, 156, 160, 188.  
Зильберминц, В. 149, 161.

Иванов, А. 3. 160, 195.  
Илимов, И. 177, 195.  
Пльин, В. 160.  
Иностранцев, А. 76, 103, 120, 128, 129.  
Исаченко, Б. 93, 105.  
Искюль, В. 139, 148, 161, 194.

Калешинский 14.  
Калицкий, К. 197.  
Карпинский, А. 66, 67, 128, 129, 130, 132, 134, 151, 160.  
Керстен 177.  
Киль, Д. 104.  
Кокшаров, Н. 7. 195.  
Колейко, Б. 104.  
Комаров 104.  
Конради, С. 75, 77, 89, 105.  
Костылева, Е. 106, 116, 129.  
Краснопольский, А. 194.  
Крат, В. 188, 195.  
Крашенинников 189.  
Кротов, Б. 161, 164, 174, 179.  
Кротов, П. 194, 195.

Крыжановский, В. 106, 176, 196.  
Крылов, А. 160, 194.  
Кудрявцев, Н. 104, 128.  
Куплетский, Б. 77, 106.  
Купффер, Э. 106.  
Курнаков, Н. 39, 175, 196,  
Куторга 5, 128.

Ламанский, В. 128.  
Лебедев 128.  
Левинсон-Лессинг, Ф. 58, 60, 104, 105, 194.  
Лепехин 6.  
Липин, В. 105.  
Лихарев, Б. 162, 169, 174, 182, 195.  
Лукашевич I. 16, 57.

Мамонтов, В. 196.  
Матвеев, К. 196.  
Мельников, М. 104, 105.  
Менделеев, Д. 44, 52.  
Мефферт, Б. 197.  
Миквид 113.  
Миклуха-Маклай, М. 104.  
Миронов, В. 104, 120.  
Мурчисон 116, 141.  
Мушкетов, Д. 196.

Нейсмайр 1.  
Неуструев, С. 189, 194.  
Нечаев, А. 171, 174, 175, 194, 195.  
Никитин, С. 134, 138, 159, 194, 195.  
Николаевский, Ф. 152, 160.  
Ноняский, М. 167, 171, 172, 174, 183, 184, 185, 194, 195.  
Норденшильд, А. см. Nordenskiöld.  
Норденшильд, Н. см. Nordenskiöld.

Обручев, С. 161.  
Озерский, А. 128, 195.  
Оливьеро 188.

Павлов, А. 70, 71, 160.  
Паллас 6.  
Пальчинский, П. 160.

Петульников, Г. 175, 196.  
 Пилипенко, П. 3.  
 Планер, Д. 7. 195.  
 Погребов, Н. 117, 128, 129.  
 Подгаецкий 105.  
 Покровский 188.  
 Покровский, П. 195.  
 Полканов, А. 91.  
 Поляков 104.  
 Попов, Б. 6, 105.  
 Попович, Д. 105.  
 Прасолов, Л. 194.  
 Пригородский, М. 160, 161.  
 Прокунин 148.

Рабо, Ш., см. Rabot.  
 Райков, Б. 128.  
 Рамзай, В., см. Ramsay.  
 Ретгерс 50.  
 Реутовский 7.  
 Ризположенский 195.  
 Рик 36.  
 Ришас 90, 104.  
 Робинсон, В. 196.  
 Рожков, В. 104.  
 Розанов, А. 159.  
 Рябинин, А. 197.

Самойлов, Я. 7, 22, 43, 126,  
 129, 141, 144, 145, 146, 147,  
 159, 160, 176, 179, 196, 197.

Самойлович, Р. 77, 105.  
 Севергин, В. 6.  
 Седергольм, см. Sederholm.  
 Сергеев, А. 160.  
 Сибирцев, Н. 37, 194.  
 Смирнов, В. 196.  
 Соболев, Н. Н. 167, 172, 195.  
 Содди 43.  
 Соколов, В. И. 77, 105.  
 Соколов, В. 160.  
 Соколов, Д. 174.  
 Соколов, Д. В. 77.  
 Соколов, Н. 160.  
 Степанов, П. 160.  
 Стопневич, А. 148, 161.  
 Сургунов, Н. 196.  
 Сущинский, П. 76, 103.

Тимофеев, В. 76.  
 Титов, А. 129.  
 Тихонович, Н. 171.

Федоров, Е. 78, 85, 88, 95, 105.  
 Федоровский, Н. 43.

Ферсман, А. 43, 60, 98, 106, 129,  
 160, 196.  
 Ферхмин 194.

Харичков, К. 117.  
 Хименков, В. 159, 160, 161,  
 196.

Чарноцкий, С. 160.  
 Червяков, П. 160.  
 Чернов, А. 163, 174, 192, 194,  
 195, 197.  
 Чернышев, Ф. 104.  
 Чирвинский, В. 136.  
 Чихачев 5.

Шеловальников, А. 104.  
 Широкий 103.  
 Шмидт, К. 76, 80, 104, 129.  
 Штукенберг, А. 176, 183,  
 194.  
 Шубин 176.

Энгельман 104.

Яковлев, П. 179.  
 Яковлев, С. 105.

## Указатель имен собственных.

(Латинский алфавит).

Adams 22, 26.  
 Angel F. 177, 196.  
 Andrée K. 29, 41, 42, 43.  
 Arrhenius Sv. 14, 34, 59.  
 Aschan 93.  
 Becke F. 16, 18, 26, 29, 36, 43,  
 58, 59.  
 Bein W. 44, 52.  
 Berg G. 43.  
 Bergeat A. 60.  
 Berghell H. 103.  
 Beyschlag F. 42, 60, 114.  
 Bischof 7, 8, 25.  
 Böggild 5.  
 Bombicci L. 59.  
 Bötling 103.  
 Brandt B. 43.  
 Breithaupt A. 42, 59.  
 Brenner Th. 106.  
 Brögger W. C. 4, 103.  
 Bromel Magni de 3.  
 Calderon 4.  
 Carnelley T. 52, 59.  
 Carnot 19.  
 Cayeux 29, 42, 107.  
 Clarke F. 43, 44, 46, 47, 52, 60.  
 Collet 29.  
 Crookes 59.

Daly A. 16, 26, 28, 59, 60,  
 61.  
 Dana 59.  
 Davis W. 42.  
 Deecke W. 129.  
 De-Launay 5, 36, 51, 53, 54, 60,  
 65, 171.  
 Delckeskamp 42, 60, 65.  
 Domeyko 6.  
 Doss B. 113, 119, 129.  
 Eichleiter 104.  
 Elie de Beaumont 51, 53,  
 59.  
 Emmons W.H. 5, 42.  
 Flink 5, 76.  
 Frenzel A. 171, 196.  
 Fossterus B. 104.  
 Gasser 5.  
 Gautier A. 42.  
 Genth 181, 195.  
 Georgi I, см. Георгий.  
 Goebel A. 126, 129.  
 Goldschmidt V. M. 16, 23, 28,  
 29, 42.  
 Gootchild 4.  
 Greg 4.  
 Grewingk C., см. Гревингк.

Hackmann V. 96, 103.  
 Harker A. 26, 60.  
 Harkins W. 52, 60.  
 Haug E. 43.  
 Heddle 4.  
 Helmersen G. v. 103, 116, 128,  
 129.  
 Hintze C. 4.  
 Holland 5.  
 Höfer 5.  
 Kenngott A. 5.  
 Koch 5.  
 Koenigsberger 7, 10, 14, 42, 43.  
 Kokscharow N., см. Кокшаров.  
 Krush 42, 60.  
 Kupffer A. 120, 129.  
 Kutorga S., см. Куторга.  
 Lacroix A. 4, 5, 6.  
 Leith C. K. 16, 42, 43, 60.  
 Lemberg 129.  
 Leonhard C. C. 4.  
 Lettsom 4.  
 Lindgren W. 5, 59, 60.  
 Linstrow 113.  
 Liversidge 6.  
 Lockyer I. N. 59.  
 Ludwig F. 129.  
 Luca-ben-Serapion 61.

Mallett 5.  
Mead M. 16, 60.  
Merrill G. 31, 55.  
Middendorf A. 103.  
Mühlen (L. v. Zur—) 114.

Niggli P. 23, 29, 61.  
Nordenskiöld A. u. N. 5, 76, 126.  
Nyholm 103.

Ostwald W. 11, 16, 18, 21, 25.  
Ostwald 5.

Pelikan A. 42.  
Philippi E. 42.  
Prior 59.

Rabot Ch. 78, 89, 95, 104.  
Ramsay W. 81, 96, 99, 101, 103,  
104, 105.  
Rath v. 5.  
Renowanz 103.  
Rose G. 84.  
Rosen F. 125, 129.  
Roth 8.

Saint-Claire-Deville 42, 59.  
Samoylow, см. Самойлов.  
Schmeisser 5.  
Schmidt C., см. ШМИДТ К.  
Schmidt F. 128.  
Schrenck G. 129.  
Sederholm J. 26, 28, 72, 73, 87,  
91, 103, 106, 108, 118, 119.  
Simmersbach B. 111, 150.  
Slavik Fr. 122.  
Slavikova L. 122.  
Smyth 38.  
Spurr I. E. 55, 58, 60.  
Stahl 5.  
Steinmann G. 60.  
Stelzner A. 104.  
Sterry-Hunt 8, 29.  
Strangways 116, 128.  
Struve H. 115, 117, 128, 159.  
Suess E. 11, 35, 54, 60, 67,  
72.  
Sullivan E. C. 42.  
  
Tammann G. 59.  
Tenne 4.

Thiene H. 60.  
Tietze 5.

Ussing N. 5, 103.

Van-Hise 5, 11, 16, 30, 42, 44,  
57, 60.  
Vant-Hoff 8, 14, 15, 23, 39.  
Velain Ch. 78, 89, 104.  
Vogt I. 8, 23, 42, 44, 50, 51, 53,  
59, 60, 65, 90.

Wada 5.  
Wahl W. 54, 60, 81, 82, 105.  
Walther 7, 23, 29, 42, 130, 162.  
Washington H. 42, 44, 46, 48, 61.  
Wegener A. 60.  
Weinschenk E. 18, 42.  
Wiechert 54, 59.  
Wiik 5, 76.  
Wiser 5.  
Wolff T. 43, 60.

Zemiatčenski, см. Земятченский.  
Zepharovich 5.

# Список таблиц, рисунков, диаграмм и проч.

## Геохимические таблицы

(на особых листах, в приложении).

- I. Восточная часть Феноскандинавского щита. См. стр. 84 текста.
  - II. Кембро-силур и девон северо-запада России (запад). См. стр. 119 текста.
  - III. Кембро-силур и девон северо-запада России (восток). См. стр. 119 текста.
  - IV. Палеозойские отложения Центральной России. См. стр. 134 текста.
  - V. Мезозойские и послеледниковые отложения Центральной России. См. стр. 143 текста.
  - VI. Западная часть Пермского моря и суши. См. стр. 182 текста.
  - VII. Восточная часть Пермского моря и суши (Привуралье). См. стр. 182 текста.
- Объяснения к таблицам даны как на соответственных страницах текста, так и в примечаниях, помещенных внизу таблиц.

## Таблицы чертежей

(на особых листах).

- I. Рис. 1. Схема геохимических зон земной коры по А. Ферсману (1913). См. объясн. стр. 16.
- II. Рис. 2. Схема геохимических зон земной коры по V. M. Goldschmidt'у (1912) в переработке F. Веске (1916). См. объясн. на стр. 16.
- III. Рис. 3. Идеальный разрез через земную кору в области гранитных магм и связанных с ними геохимических процессов (по De Launay). См. объясн. на стр. 51—53.
- IV. Рис. 4. Количественный состав земной коры в весовых процентах (по данным Вернадского 1914). См. стр. 44.  
Рис. 5. Количественный состав земной коры в процентах числа атомов (в объемных отношениях) по данным А. Ферсмана (1912). См. стр. 44.
- V. Рис. 6. Таблица химических элементов земной коры, расположенных в порядке Менделеевской таблицы. См. стр. 52.
- VI. Рис. 7. Геохимические области России. См. стр. 66—68.

## Геохимические диаграммы

(в тексте).

	стр.
Ассоциация элементов метеоритов (по Wahl'ю и Merrill'ю) . . . . .	55.
Олония, Кольский полуостров и Поморье, без щелочных массивов . . . . .	81.
Щелочные массивы Кольского полуострова . . . . .	98.
Кембро-силур и девон северо-запада России . . . . .	112.
Палеозойские отложения Центральной России . . . . .	136.
Мезозойские отложения Центральной России . . . . .	136.
Пермские отложения востока России . . . . .	168.

## Чертежи в тексте.

- Рис. 1. Типы рассеяния химических элементов в земной коре . . . . . 49.

# ОГЛАВЛЕНИЕ К ТОМУ I.

	СТР.
Введение . . . . .	1
<b>ЧАСТЬ ОБЩАЯ.</b>	
Глава первая. Типы топоминералогических исследований . . . . .	3
Глава вторая. Новые задачи топоминералогических исследований . . . . .	7
Описание минералов и их свойств . . . . .	9
Изучение генезиса минералов . . . . .	10
Изучение химических элементов . . . . .	11
Глава третья. Происхождение и образование минералов . . . . .	13
Основные положения генетической минералогии . . . . .	13
Определение генетического типа . . . . .	15
Последовательность генетических типов (циклов) и их хронология . . . . .	18
Энергетика геохимических процессов . . . . .	20
Физико-химический анализ генетических типов . . . . .	22
Поля равновесия минеральных тел . . . . .	24
Глава четвертая. Генетические типы . . . . .	25
Образования огненножидких магм . . . . .	25
Гидротермальные выделения . . . . .	26
Жильные образования . . . . .	27
Пневматолиты . . . . .	28
Контакты . . . . .	28
Регионально-метаморфические образования . . . . .	29
Водные осадки (минералы сингенеза и диагенеза) . . . . .	29
Процессы катагенеза . . . . .	30
Процессы поверхностного разрушения (гипергенеза) . . . . .	31
Генетические типы в осадочных породах . . . . .	32
Глава пятая. Генетические циклы . . . . .	33
Вулканическая деятельность . . . . .	34
Магматические процессы в глубинах . . . . .	34
Дислокационные и горообразовательные процессы . . . . .	35
Горячие источники . . . . .	35
Процессы давления . . . . .	36
Атмосфера и климатический режим . . . . .	36
Деятельность льда . . . . .	38
Наземные текучие воды . . . . .	38
Подземные воды . . . . .	38
Болота . . . . .	39
Соляные озера . . . . .	39
Океаны . . . . .	39
Перемещения береговой линии . . . . .	40
Органический мир и человек . . . . .	41
Литература по генезису минералов . . . . .	42
Глава шестая. Распространение и роль химических элементов . . . . .	43
Количественное распространение элементов . . . . .	44
Распределение элементов в земной коре . . . . .	49
Общие закономерности распределения элементов . . . . .	53
Связь ассоциаций элементов с определенными участками земной коры . . . . .	57
Литература . . . . .	59

	стр.
Глава седьмая. Геохимия отдельных областей . . . . .	61
Учет встречаемых элементов . . . . .	62
Качественная и количественная оценка элементов . . . . .	63
Изучение ассоциаций элементов . . . . .	63
Выяснение роли отдельных элементов . . . . .	64
Роль элементов в промышленности человека и влияние этой промышленности на геохимию области . . . . .	61

## ЧАСТЬ СПЕЦИАЛЬНАЯ.

### Описание отдельных геохимических областей России.

#### Северная часть Европейской России.

Введение . . . . .	66
Область первая. Восточная часть Феноскандинавского щита . . . . .	70
Границы . . . . .	70
Геология . . . . .	71
Орография и месторождения . . . . .	73
Архейский щит . . . . .	74
Породы . . . . .	74
Минералы . . . . .	76
Элементы . . . . .	79
Общая геохимическая характеристика . . . . .	84
Генетические типы . . . . .	84
Генетические циклы . . . . .	86
Заключение . . . . .	94
Щелочные массивы . . . . .	95
Геология . . . . .	95
Породы . . . . .	96
Минералы . . . . .	96
Элементы . . . . .	97
Генетические циклы . . . . .	101
Литература . . . . .	103
Область вторая. Кембро-силур и девон северо-запада России . . . . .	107
Границы . . . . .	107
Геология . . . . .	107
Орография и месторождения . . . . .	109
Минералы . . . . .	110
Элементы . . . . .	111
Генетические типы . . . . .	118
Генетические циклы . . . . .	119
Общее заключение . . . . .	127
Литература . . . . .	128
Область третья. Московский каменноугольный бассейн . . . . .	130
Границы . . . . .	130
Геология всей области . . . . .	131
А. Палеозойские отложения . . . . .	131
Геология . . . . .	131
Минералы . . . . .	132
Генетические типы . . . . .	133
Элементы . . . . .	134
В. Мезозойские и послетретичные отложения . . . . .	141
Геология . . . . .	141
Минералы . . . . .	141
Генетические типы . . . . .	142
Элементы . . . . .	143
Генетические циклы центральной области . . . . .	146
Девон . . . . .	146
Угленосный ярус . . . . .	147
Продуктусовые и московские известняки . . . . .	150
Катагенез московских известняков . . . . .	153
Гжельские слои . . . . .	156

	СТР.
Мезозойские отложения . . . . .	156
Общее заключение . . . . .	158
Литература . . . . .	159
<b>Область четвертая. Черские море и суша . . . . .</b>	<b>162</b>
Границы . . . . .	162
Геология . . . . .	163
Орография и месторождения . . . . .	166
Минералы . . . . .	167
Элементы . . . . .	168
Генетические типы . . . . .	181
Генетические циклы . . . . .	182
Западная часть . . . . .	183
Восточная часть Приуралье . . . . .	191
Заключение . . . . .	193
Литература . . . . .	194
Указатель химических элементов . . . . .	198
Указатель минералов и горных пород . . . . .	199
Указатель главнейших геологических и геохимических терминов . . . . .	202
Указатель русских географических названий . . . . .	204
Указатель имен собственных (русский алфавит) . . . . .	206
Указатель имен собственных (латинский алфавит) . . . . .	207
Список таблиц, рисунков, диаграмм и пр. . . . .	209
Оглавление . . . . .	210
Исправления и дополнения . . . . .	213

В приложении к тому I-му: геохимические таблицы I—VII и шесть таблиц чертежей.

## Исправления и дополнения.

Многочисленные добавления и исправления, замеченные мною после отпечатания первых листов, будут приведены в конце II-го тома. Продолжительный срок между окончанием рукописи и появлением ее в печати создают значительную устарелость первых листов; за два года, протекшие после сдачи их в печать, пришедшая новая иностранная литература внесла в геохимию столько новых проблем и новых фактических данных, что целый ряд глав из общего введения я должен сейчас признать устаревшими, не вполне отвечающими современному состоянию наших знаний в этой области. Равным образом большая исследовательская работа над минералогией и геологией русского севера за последние 2 года дала столько новых данных, что значительно устаревшим я считаю описание первого района и особенно его щелочных массивов, в которых моими экспедициями 1920 и 1921 года открыт не только ряд новых минералов, но и обнаружено присутствие до сих пор не отмечавшихся элементов.

С этими многочисленными недочетами мне приходится мириться, тем более, что я смотрю на этот том лишь, как на первый опыт геохимического подхода к отдельной территории. Привожу несколько отдельных дополнений и примечаний:

*Стр. 4.*

Из попыток геохимического описания отдельных областей отметим интересно задуманную, но случайную по материалу книжку, вышедшую отдельной брошюрой: P. Groth. Topograph. Uebersicht d. Minerallagerstätten. Zeit. f. pr. Geologie. 1916—1917.

*Стр. 46.*

В таблице пропущен ниобий.

*Стр. 79.*

Апофиллит неправильно отнесен к г. Корабль, тогда как был встречен Д. Белянкиным в рудной жиле о-на Медвежьего в Кандалакшском заливе.

*Стр. 80.*

Пропущено геохимическое описание фосфора, связанного с апатитом в пегматитах.

*Стр. 89, строчка 14 сверху.*

Сказано: «на границе глинистых диабазов», надо — на границе глинистых сланцев и диабазов.

*Стр. 93.*

Необходимо дополнить: плавание Длав. Морск. Инстит. в 1921 г. обнаружило особые скопления железисто-марганцевых конкреций у гирл Белого моря.

*Стр. 95.*

В еще не опубликованной работе Д. Белянкина и Б. Куцлетского (Труды Сев. научно-промыш. экспед.) для щелочных пород Турьего мыса отмечаются следующие минералы:

кальцит, апатит, флюорит, сфен, пирротин, нефелин, канкринит, анальцит, эгирин, анортотлаз, оранжевая слюда, гранат из группы меланита.

*Стр. 97.*

Геохимическое описание Хибинских массивов в изложении текста несколько устарело, так как в него лишь частично вошли результаты анализов и наблюдений эксп. 1921 года. К элементам надо прибавить Ва, встреченный в составе нового метасиликата, и Рb, обнаруженный в форме ничтожных скоплений галенита.

*Стр. 101.*

Генетические циклы Хибинского массива на основании эксп. 1921 года раскрыли полную картину истории пегматитовых жил, о чем будет подробнее сообщено во II-ом томе.

*Стр. 104.*

Необходимо пополнить список литературы по первой области: В. Тимофеев. Геол. оч. басс. р. Свири и... Путев. геол. эксп. I всеросс. геол. съезда. Петр. 1922. 86. Б. Куплетский и А. Полканов. Геолог. очерк Хибинского массива. Там - же, стр. 107.

*Стр. 128.*

Необходимо пополнить список литературы по второй области статьями М. Янишевского, С. Яковлева, М. Тетяева и др. по геологии окр. Петрограда. См. тот-же путеводитель 1922.



ТАБЛИЦА I.

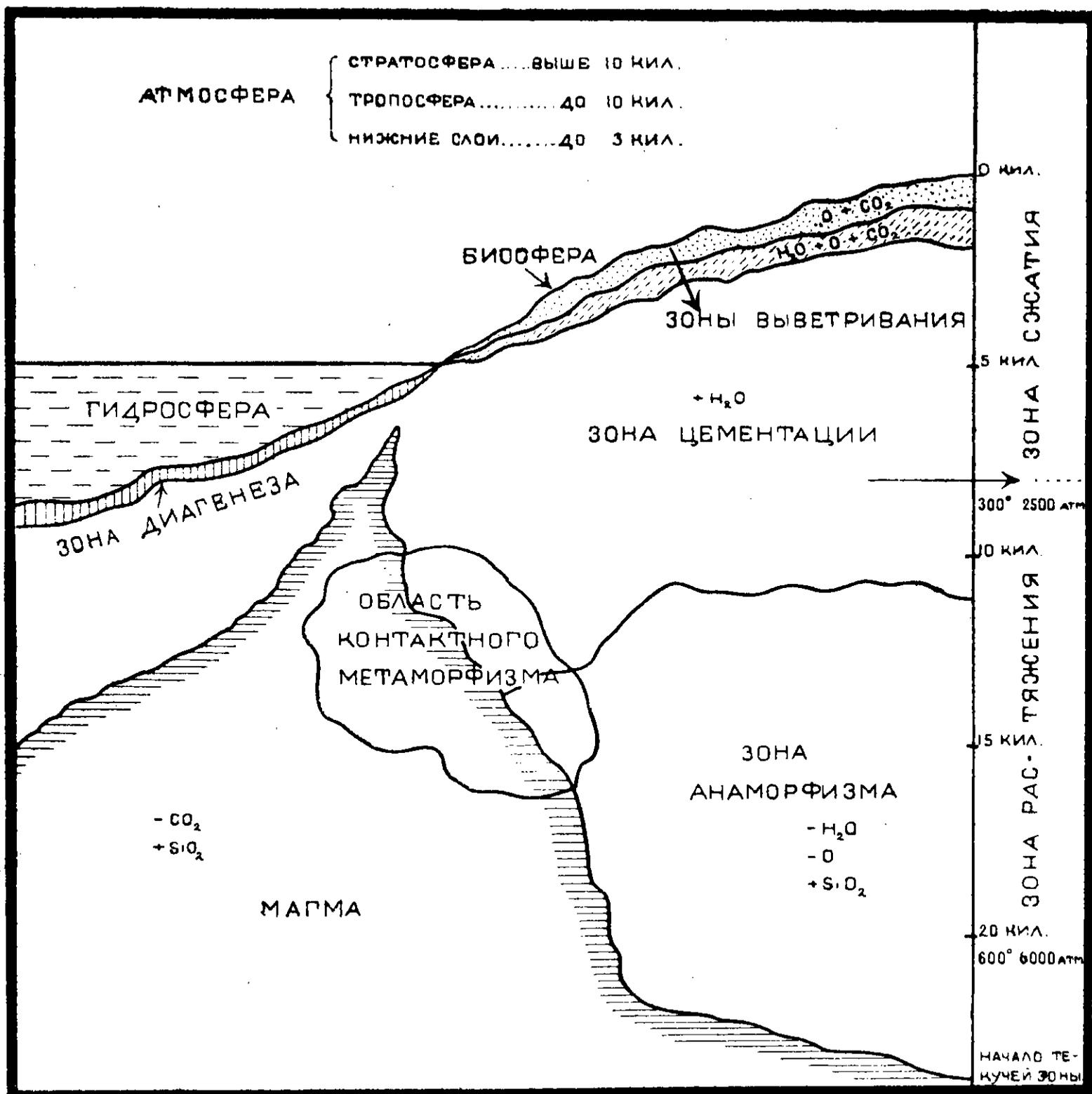


Рис. 1. Схема геохимических зон земной коры. См. стр. 16 текста.  
Таблица составлена по данным И. Лукашевича и Van-Hise и отчасти Wolfj'a.

## ТАБЛИЦА II

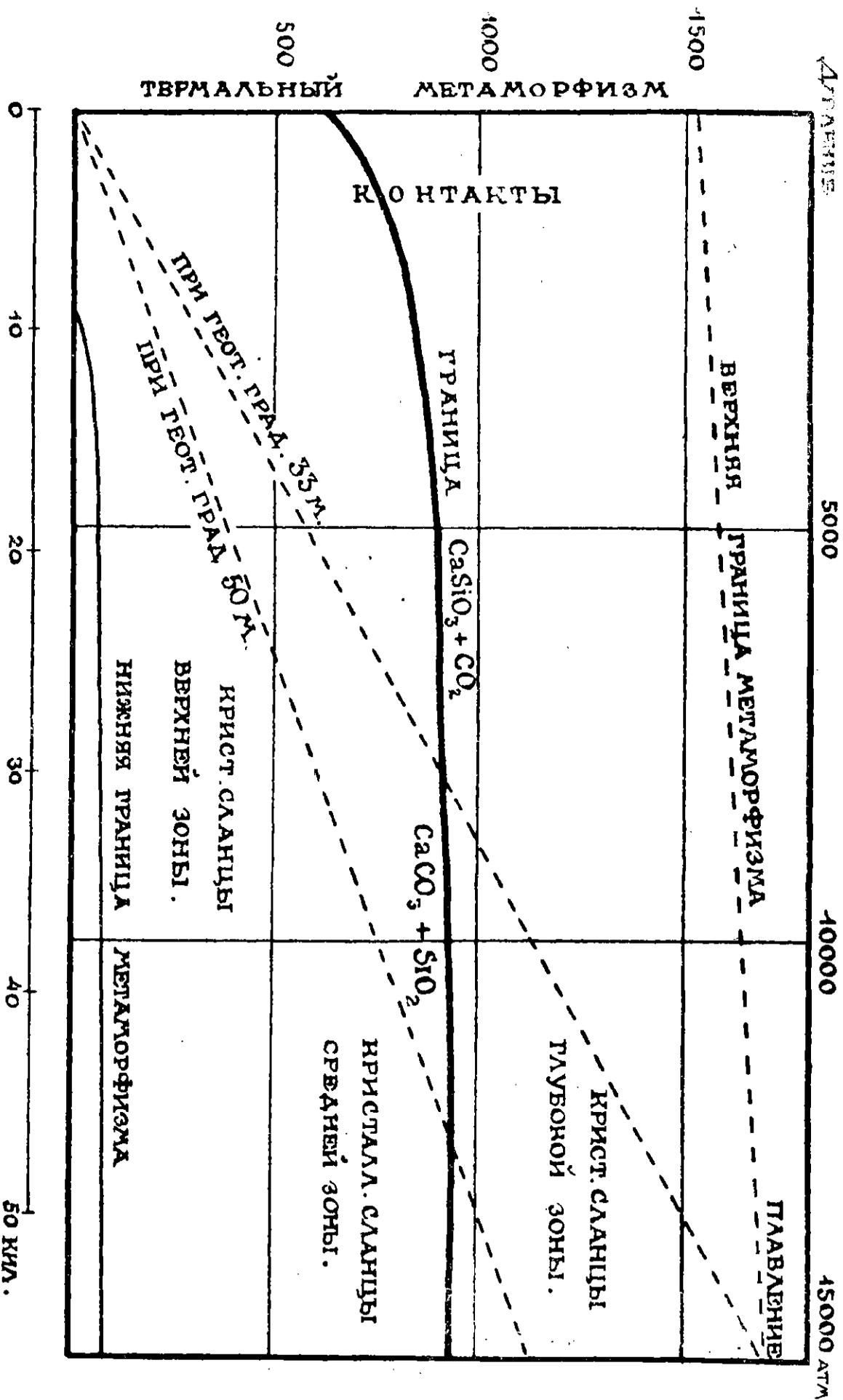


Рис. 2. Схема геохимических зон земной коры по] V. M. Goldschmidt (1912), в переработке E. Becke (1916). См. объяснение на стр. 16 текста.

Два пунктира по косым диагоналям намечают идеальный разрез через земную кору, при принятии для геотермического градиента в одном случае—33 м., в другом—50 м. Жирная линия определяет границу преобладающих реакций с выделением или утратой кислот (в глубинах), или кремневой (в поверхностных частях земной коры). Различные участки диаграммы, характеризующиеся разнообразными сочетаниями температур и давления, определяют разные типы метаморфизма.

ТАБЛИЦА Ш.

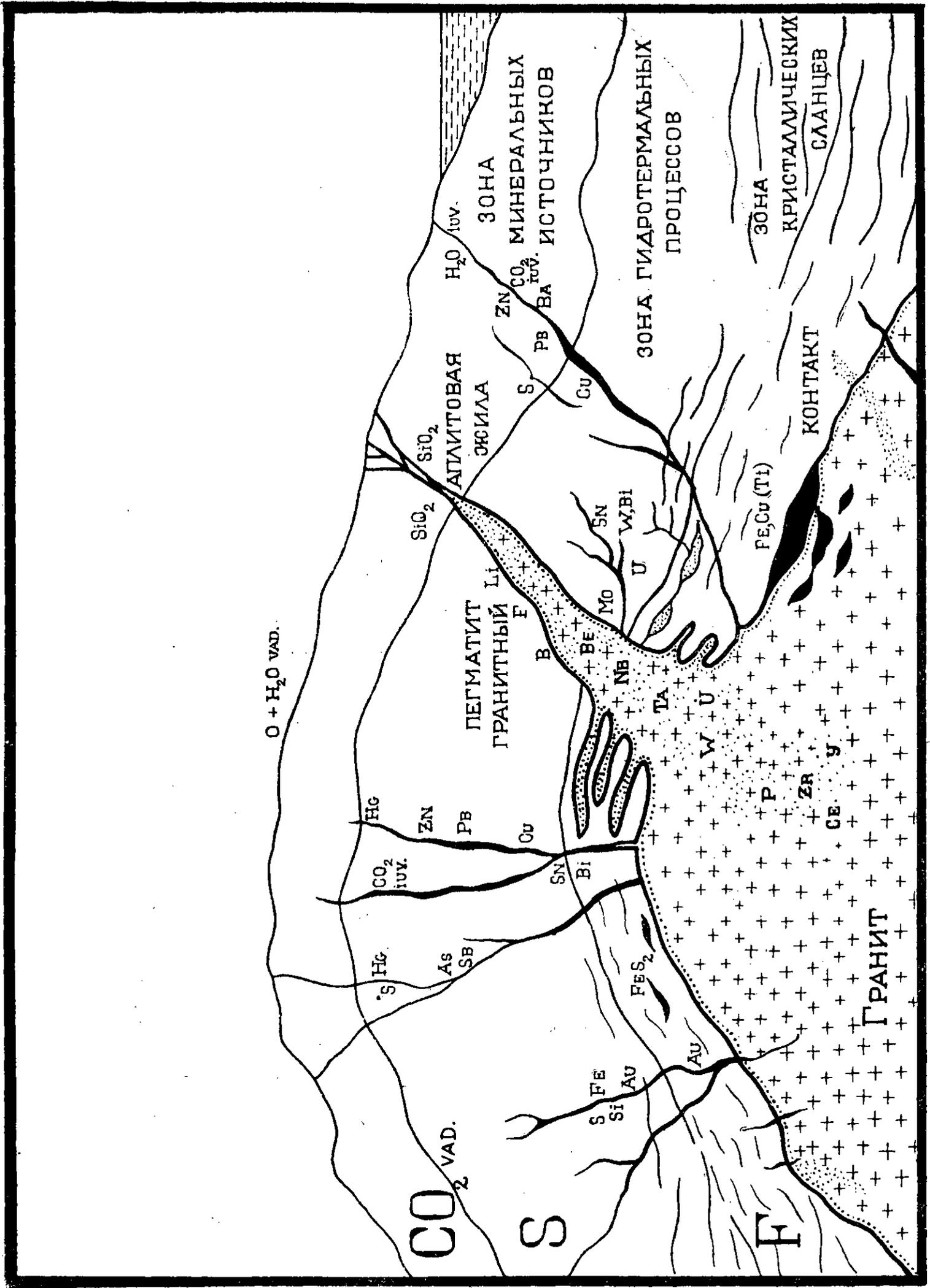


Рис. 3. Идеальный разрез через земную кору в области гранитных магм и связанных с ними геохимических процессов (по De-Lamay).

ТАБЛИЦА IV.

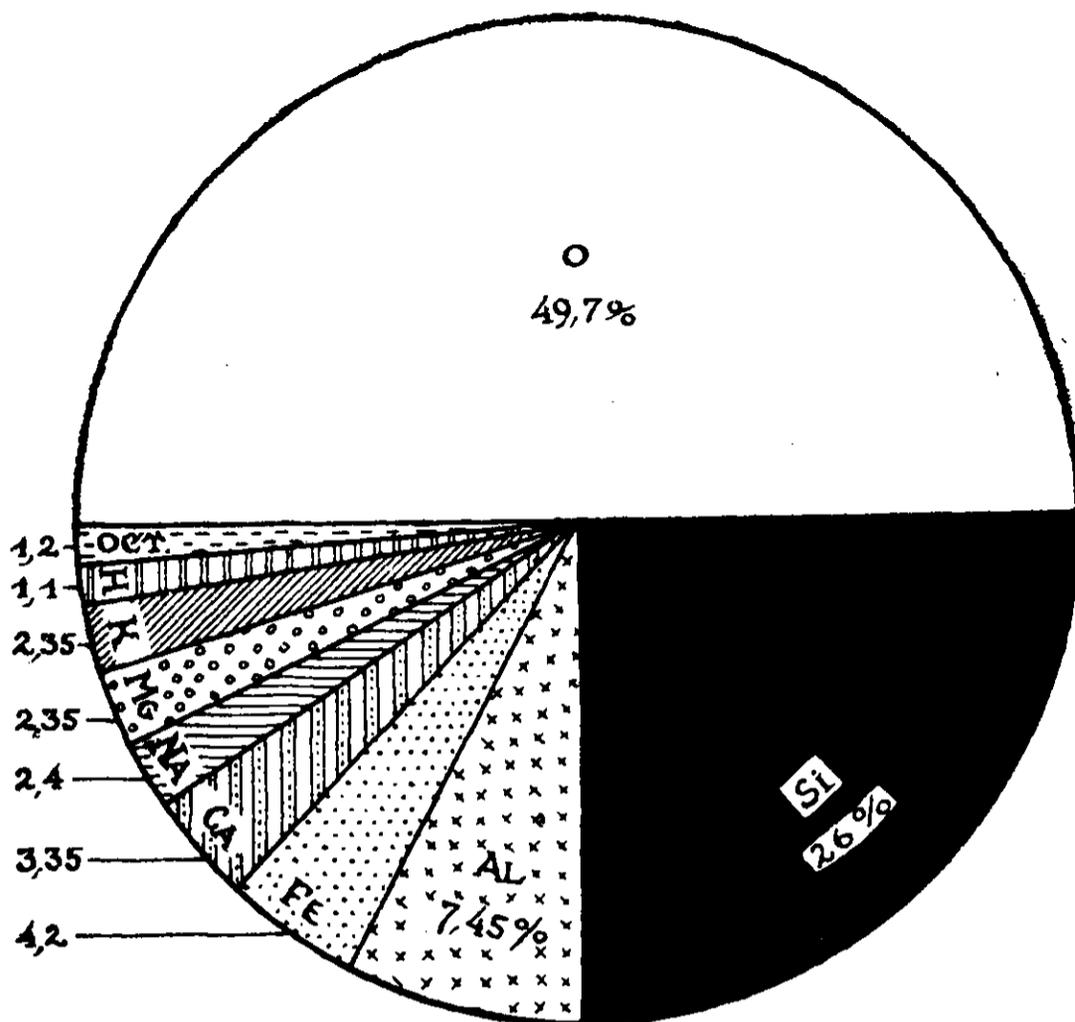


Рис. 4. Количественный состав земной коры в весовых процентах (По данным В. Вернадского 1908—1914 года). (См. стр. 44).

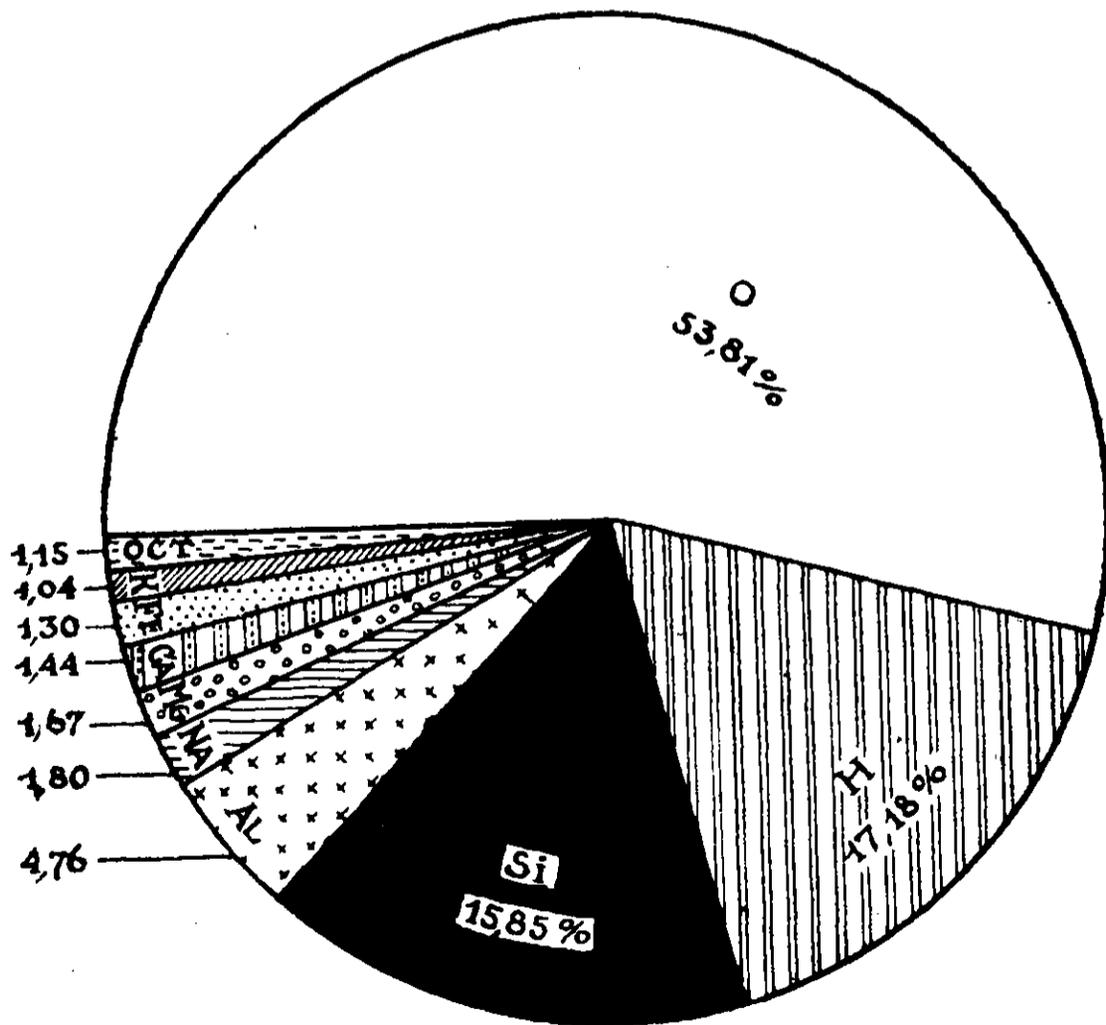


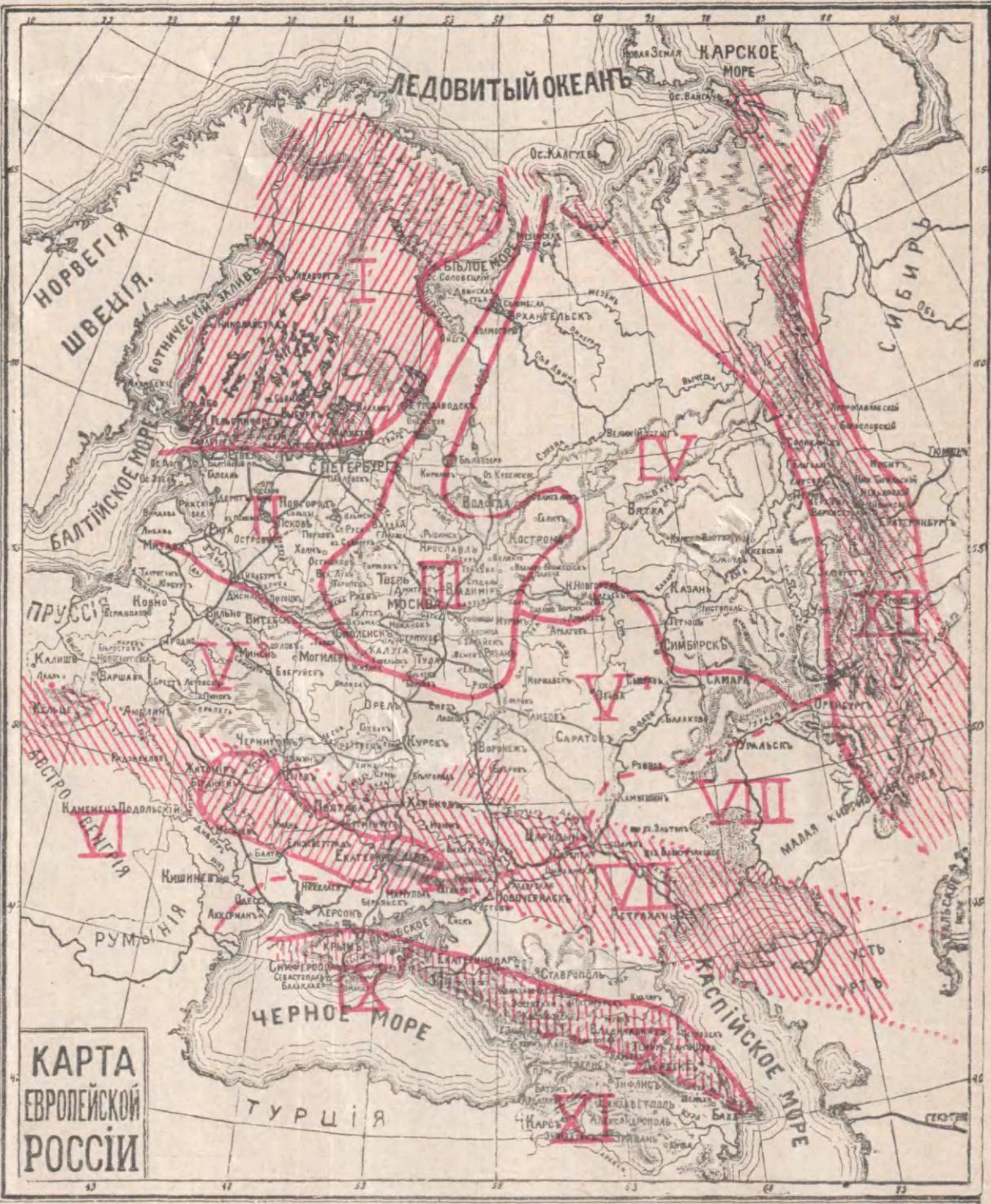
Рис. 5. Количественный состав земной коры в процентах числа атомов (в объемных отношениях). По данным А. Ферсмана 1912 г. (См. стр. 44).

ТАБЛИЦА V.

РЯДЫ	I	II	III	IV	V	VI	VII	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	РЯДЫ
1	<u>H</u>	-	-	-	-	-	-	<u>HE</u>	<u>LI</u>	<u>BE</u>	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>N</u>	<u>O</u>	<u>F</u>	<u>NE</u>	2
3	<del>(NA)</del>	<u>(MG)</u>	<u>(AL)</u>	<u>(SI)</u>	<u>(P)</u>	<del>(S)</del>	<u>(CL)</u>	<u>AR</u>	<u>K</u>	<u>(CA)</u>	<del>SC</del>	<u>(TI)</u>	<u>(V)</u>	<u>(CR)</u>	<u>(MN)</u>	<del>(FeNi)</del>	4
5	<del>(CU)</del>	<del>ZN</del>	<del>(CA)</del>	<del>(OE)</del>	<del>(AS)</del>	<del>(SE)</del>	<u>(BR)</u>	<u>KR</u>	<u>(RB)</u>	<u>(SR)</u>	<u>Y</u>	<u>ZR</u>	<u>NB</u>	<del>(MO)</del>	?	<u>(RuRhPd)</u>	6
7	<del>(AG)</del>	<del>(CD)</del>	<del>(IN)</del>	<del>(SN)</del>	<del>(SB)</del>	<del>(TE)</del>	<u>(J)</u>	<u>XE</u>	<u>(CS)</u>	<u>(BA)</u>	<u>TR</u>	<u>TA</u>	<u>W</u>	?	<u>(OsIrPt)</u>	8	
9	<del>(AU)</del>	<del>(HG)</del>	<del>(TL)</del>	<del>(PB)</del>	<del>(BI)</del>	<u>(Po)</u>	?	<u>NT</u>	?	<u>(RA)</u>	<u>AC</u>	<u>TH</u>	<u>U</u>	-	-	10	

Рис. 6. Таблица химических элементов земной коры.

Подробное объяснение таблицы см. на стр. 52. Элементы земли расположены в порядке Менделеевской таблицы, при чем все редкие земли объединены в двух клетках под буквами TR (среди них один элемент неизвестен). Элементы в кружках — связаны, главным образом, с породами средней кислотности; в двойных кружках — с породами ультраосновного характера; элементы подчеркнутые — кислых магм; элементы перечеркнутые — жильных процессов. Место вопросительного знака под Та в настоящее время занято элементом протоактиний, со значком Pa, который, как связанный с кислыми магмами, должен был бы быть в таблице подчеркнут.



**КАРТА  
ЕВРОПЕЙСКОЙ  
РОССИИ**

Рис. 7. Геохимические области Европейской России. См. стр. 66—68.

- ////////—Архейские щиты (горсты).
- \\\\\\\\\\\\—Зоны палеозойских дислокаций и интрузий.
- |||||—Зоны мезозойско-третичных движений.

# I. Геохимическая таблица

## восточной части Феноскандинавского щита.

Возраст.	Геол. характеристика.	Литогенез.	Главные химические элементы.	Минералы сингенеза.	Минералы метаморфизма.	Минералы гниергенеза.	
Современный.	Биохимич. процессы моря.	Ракушечки, водоросли (литогамниевые, ламинарии).	J, K, (Br), Ca.	Кальцит, жемчуг. (речной).	„Беломорские рогульки“.		
	Химическое выветривание.					Ржавые полосы фальбанд с карбонатами Cu, Ni, Co; мелантерит.	
	Минеральные источники.	Железистые растворы.	Fe, S, O, H.				
	Осадки болот, озер, морей.	Илы, конкреции железистые.	Fe, Mn, (Ba), P.		Лимонит, вад, манганит.		
	Волото-и торфообразование.	Подзолы, ортштейн.	C, Fe, Si.		Опал, кварц, лимонит.		
Постплиоценовый. Третичный	Осадки морских трансгрессий. Ледниковые процессы. Образование горста.	17. Ракушечники, илы. 16. Валунные пески и суглинки.	Ca, C—O. Fe, Au (в песках).	Кальцит и арагонит раковин. Магнетит, самородн. золото.			
Палеозой.	Эокарбон (?).	Покровы? Жилы. Лакколлиты и жилы.	15. Жилы, покровы лимбургита (?). Щелочные жилы Турьего мыса. 14. Щелочные массивы Кольского полуострова.	Na, Zr, Ti и др. (см. стр. 33).	Элеолит, эгирия, арфведсонит, энigmatит, микроклин, альбит, эвдиалит, эвколит, мозавдрит, титанит, ильменит и др.	Цеолиты, флюорит, кварц. (Контактное действие на породы, особенно 13).	Каолин (?), гидраты глинозема, пески элеолита, арфведсонита и эгирия, кальцит (редко).
	Девон (?).	(Следы каледонской складчатости).	13. Песчаники, конгломераты, глинистые сланцы острова Кильдина и Рыбачьего и восточного берега Кольского полуострова.	Si, F.	Кварц, мусковит.	Плавиковый шпат, аметист	
	Кембрий (?).	Сбросы с интрузией. Прибрежные осадки. Сбросы с интрузией.	12. Рудные жилы Кандалякского залива и Зап. Мурмана. 11. Диабазы и диориты Мурманского побережья.	Pb, Zn, Cu, S, Ag, Ba, (Sb), (Ni, Co). C (?).	Сфалерит, галенит, кальцит, кварц, барит, серебро самородное.	Баритъ.	Свинцовая охра, выцветы солей.
		Совершенно не метаморфизиров.				Эпидот, уралит, серпентин, хлорит.	Серпентин, хлорит, эпидот.
		Без динамометаморфизма (или со следами).					
Архейская серия.	Мотийский. (Неясные ископаемые).	Штоки, батолиты, пегматиты, аплиты, кварц. жилы. Интрузии, жилы, штоки, покровы, вулканы. Прибрежные мелководные осадки.	10. Граниты (рапакиви Выборгской губ.). Аплитовые жилы (Валаам). 9. Диориты и диабазы (Валаам, Юж. Олония, Свирь). Петрозаводские извержения. 8. Песчаники и кварциты (Свирь, Ладога).	K, F, немного B и P, Mo. Fe, Mg, Ti, Cu, Ag, Au, P, S, B. Si.	Главные пегматиты. Мусковит, турмалин, апатит, полевые шпаты, молибденит. Гематит, магнетит, титаномагнетит, самор. золото. Медный блеск, халькопирит, борнит, самородн. медь, немного сфалерит.	Образование контактных сланцев, цоизит, актинолит, алмаздин.	Верхние части жил смесены.
	Верхний = Онежскому.	Вулканические интрузии и покровы.	7. Диабазы Петрозав. (част.).	Mg, Fe.		Эпидот, хлорит, уралит.	
	Ятульский (и Калевский).	Морские осадки глубокого (6) и мелкого моря.	6. Известняки, доломиты (0), глинистые сланцы, шунгит, туфы. 5. Песчаники, кварциты (Петрозаводск). 4. Тальков. и хлоритов. сланцы. Кварциты сливи. (Сегозеро).	Ca, Mg, C—O, Sr, Ba. Si. Mg, Fe, Si.	Кальцит, уголь (?). Кварц	Крист. доломита, альбита, микроклина, флогопита. Гематит, стронцианит, барит, аметист, гетит (Волкостров). Шунгит.	Следы медн. карбонат. на шунгите, палыгорскит.
	До-Калевский (ботнийский и ладожский).	Интрузия в сланцы и зел. породы (образование мигматитов и метабазитов). Лакколлиты, батолиты, жилы.	3. Граниты, превратившие всю свиту 1—в гранито-гнейсы и глуб. кристалл. слюдяные сланцы, филлиты, андалузитовые и ставролитовые сланцы. Гранат. гнейсы (К). 2. Порфириды, габбро, перидотиты, нориты и др.	Al, S. Mg, Ca, Fe, (C ?).	Мусковит в пегматитах, полевые шпаты. Пироксены, оливин, роговые обманки. Алмаз?	Ставролит, андалузит, дистен, мусковит, силлиманит, гранаты. Превращение в друзиты и метабазиты; деревянистый асбест (0), серпентин, хлорит, скаполит, цоизит и др.	Тальк.
	Катархейский.	Пустынные, делювиальные образования.	1. Первичные осадки и скопления (превращенные в гранито-гнейсы).	Au, Ag, Co, Ni, Fe, S.	Фальбанды с колчеданом (синг. ?). Железистые и песчанистые осадки и золотые скопления.	Магнетит Запад. Мурмана.	Карбонаты меди, кобальта и никкеля.

**Примечания.**  
Таблица весьма гипотетична и может быть рассматриваема, как грубая схема, пытающаяся связать в одно целое довольно разнородные части восточных областей щита: Олонии, Кольского полуострова и Поморья. Сокращения: О—Олония, К—Кольский полуо-в.  
В графе химических элементов мною отмечены лишь главнейшие, наиболее типичные для данной серии, при этом часть указанных элементов внесена по адм. и процессами и не отвечает хронологическому моменту образования данных отложений.  
Номера в графе литогенеза относятся к наиболее вероятной хронологической последовательности, хотя надо иметь в виду, что повторяемость одних и тех же процессов (напр., излияний основных магм) приводит к невозможности очень резкой параллелизации некоторых геологических явлений.

## II. Геохимическая таблица

### кембросилура и девона северо-запада России.

Западная часть—продолжение см. на табл. III.

К стр. 119.

Возраст.	Геологическая характеристика.	Литогенез	Главн. химич. элементы	Минералы оми- и диа-генеза	Минералы катагенеза	Минералы гипергенеза	
Современная эпоха	(влажный климатический режим)	торфяники . . . подзолистые почвы . . . известковые туфы (гажа) морской ил, осадки моря	C, N, P, Fe, Mn. Si Ca, O—O. Fe, S, Mn, P	торф, вивианит, белотные руды кальцит (туф) желваки лимонита на дне моря ил с гидротролитом	янтарь (вымытый)  пирит		
Ледниковая	механич. разрушение размыв	глины, пески, валуны, межледниковые осадки					
Девон	Верхний	прибрежная зона	Si		кальцит		
	Средний	отдельные озера и мелководные бассейны (соленые)	<sup>2</sup> доломиты  <sup>1</sup> доломитовые мергеля гипсы, соль	Si, Al. S—O, C, Cl, Br. Na, Mg, Ca, Sr, Ba.  Cu, Fe, Mn, Pb, S.	кальцит гипс, каменная соль	выцветы MgSO <sub>4</sub> , KNO <sub>3</sub> .  → источники с H <sub>2</sub> S, NaCl, CaSO <sub>4</sub> , MgSO <sub>4</sub> .  S—на источниках	
	Нижний	прибрежная зона	красные песчаники и мергеля	Si, Ca, Mg. Fe, Mn	слюда магнез., полевой шпат *), кварц, манганит	цементация песков известков. или доломитовым цементом, манганит в остатках рыб.	
Верхний Силур	Н. и В. Эзельские слои (K, J)	мелкое море	мергеля, известняки	Ca, Mg C—O.		кальцит, доломит пирит в редких мелких крист.	при окислении пирита — эпсомит и гипс.
	Пентамерзый ярус (H, G)	небольшое обмеление	известняки, мергеля и доломиты	Pb, Zn, (Ag, Au). S Следы P	мелкорассеянный пирит кремень с халцедоновыми кон- крециями	кальцит, доломит, халцедон, конкр. лимонита, пирит, галенит, асфальт на кварце и кремне (о-в Даго, Гапсаль)	гипс, мелантерит, эпсомит, железная охра, сера (?)
Нижний Силур	Эстляндские слои (F, E)	открытое море	известняки с мергелями кремнистый известняк	Ca, C—O Cu, Pb S.	кальцит кремень	кальцит, кварц галенит (E, F), пирит. малахит, азурит (E—Наров)	
	Испокий и Кунерский ярусы (D, C <sub>312</sub> )	углубление мелкие морские лагуны и заливы	известняки известняки с прослойками кукерсита	Ca, C—O C, N, H. (S) (Cl).	кальцит глинистый кукерсит		

Примечания: ~~~~~ перерывы в отложениях; ➔ главнейшие источники или водоносные горизонта.

\*) Минералы обломочного происхождения (не новообразование) из разрушенных гранитов и зеленых пород Феноскандии; слюда типа баурита, в разных стадиях изменения биотита—от золотистого до бесцветного.

# III. Геохимическая таблица

## кембросилура и девона северо-запада России.

Восточная часть—продолжение табл. II.

К стр. 119.

Возраст.	Геологич. характеристика	Литогенез	Главн. химич. элементы	Минералы омн.—диа-генеза	Минералы катагенеза	Минералы гипергенеза	
НИЖНИЙ СИЛУР	Эхинесферитовый ярус (перерыв на востоке) открытое море	доломитовый трещиноватый известняк верхний чечевичный слой на границе	Ca, Mg, C—O P, Fe, S.	в верхней части иредка прослойки кукурсита асфальт (над чечев. слоем) лимонитовые стяжения	кальцит	поглощение воды	
	Ортоцератитовый ярус (на западе —)	открытое море (углубление продолжается)	трещиноватый известняк (ч. доломитизированный)—так назыв. петербургская плита нижний чечевичный слой	Ca, C—O, Mg P Cu, Pb, Zn, Ba Fe.	в основании блестящ. фосфориты чечевичы глинистого лимонита с 3% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	кальцит, доломит, углистое вещество пирит, халькопирит, халькозин, галенит, сфалерит, тетраэдрит(?) барит, новообр. полевых шпатов	поглощение воды малахит, азурит, медная чернь (?)
	известковый Глауколитовый ярус песчанистый	углубление моря мелкое море	известняк, частью доломитизированный („дикарь“). глауколитовый песок и главн. песчаник	Ca, Mg, C—O K, Si, Fe, Mg Ba, Cu, S	кварц, кальцит; нефть (?) в раковине Павловска глауколит пирит (иредка в нижн. гориз.) в песках—скопл. асфальта (Балтийск. порт).	кальцит барит (в нижн. горизонтах) фосфат Ca в скопл. трилобитов новообр. полевых шпатов самор. медь (?)	гипс (окисл. пирита) малахит —→ осадки туфа CaCO <sub>3</sub>
	Диттониевый сланец	обмеление углубление	наверху—красная глинистая прослойка битуминозный черн. сланец	Ca, Mg C, N, H Fe, S	пирит кальцит, антраконит	доломит	гипс, мелантерит, водные сульфаты окиси железа сера самор. (?)
КЕМБРИЙ	Уnguлитовый песчаник (под ним т. называем., пустой песч.)	мелкий бассейн	наверху пиритовый песчаник пески, песчаники с редкими глинистыми прослойками	Si Fe P, F в раковинах	слюда серицитовая фосфорит в Obolus гидрогетит или гидрогематит (?)	пирит (чаще марказит)— в верхних горизонтах кальцит, лимонит цементация песков SiO <sub>2</sub> водн., углекисл. и глинист. цементом.	замена пирита, как выше лимонит —→ железистые осадки, H <sub>2</sub> S
	Синяя глина (мощность до 170 м.)	неглубокое море размыв	глина с редкими прослойками песков и доломитизированных песчаников, внизу галечники	Si, Al K Fe, Pb, S, C. *)	глина, калиевая слюда, кварц. глауколит, мелкий пирит, м. б. из гидротроилита. асфальт—альбертит (Эстляндия)	марказит (реже), пирит, лимонит сферосидерит, галенит, доломит, *) сфалерит	—→ вода H <sub>2</sub> S, CaCO <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . известковый туф —→ артезианская вода, NaCl
Кристаллическая платформа	докембрийские породы феноскандинавского щита	серый гнейс	Si, Al, K, Na Ca, Mg, Fe	кварц, полевой шпат, биотит, алмаздин			

Примечания: ~~~~~ перерыв в отложениях; —→ наиболее важные водоносные горизонты.

\*) Возраст синих кронштадтских глин с конкрециями, содержащими тяжелые металлы,—проблематичен; вероятно кембрийский.

\*\*\*) Мощность всего нижнего силура с Иевскими и Эстляндскими слоями (см. табл. II)— около 150 метр.

# IV. Геохимическая таблица

палеозойских отложений Центральной России.

К стр. 134.

Возраст	Геологическая характеристика	Литогенез	Главы, химич. элементы	Минералы СИН—диа-генез	Минералы КАТАГЕНЕЗ	Минералы ГИПЕРГЕНЕЗ	
Юра и мел, см табл. V. Пермотриас <sup>1)</sup>	материков. прибрежн.	пестрые мергеля		гипс, соль		? соленые источники	
Верхнекаменноуг. отлож. <sup>2)</sup>	Гивальский пр. С <sub>3</sub>	обмеленные моря, замкнутого бассейна	желтые доломиты известняки глины огнеупорные <sup>3)</sup>	Al, Si, C редко Ca, Mg, S—O	листочка мусковита (?) конкреции ширита	доломит, кварц, кальцит	доломит глины огнеупорные и гончарные <sup>4)</sup>
	Московский пр. С <sub>2</sub>	открытое море	8—доломиты 7—мягкий известняк 6—фузилиновый известняк 5—красноватый изв. 4—оболочковый изв. 3—пестряк 2—красная глина 1—известняк	Ca, Mg, (Fe) Si, Al, Mn C—O Ni (?)  F, P, (S).	кремневые стяжения доломит кальцит	бурый железняк, (сферосидерит) широкозит, гидраты Al, аллофан, гидрофонида кальцит, доломит кварц, аметист, дымчат. кварц, агат, кремень, опал, халцедон, нальгогорскит (α—и β—) раповикит (1—3) ширит очень редко новообр. полевого шпата	бераунит бурый железняк, сферосидерит пестряк шпат, туф известняк  → ряд водонасыщенных горизонтов → со свободной CO <sub>2</sub> → на границе ярусом
Нижнекаменноуг. отлож.	Серпуховской ↑ Продуктовской пр С <sub>1</sub>	углубленные бассейна	3—серая и красная глины 2—известняк 1—известняк, стигмарин- вые глины	Св, С—O (C, Fe, S) Mn, Fe, P, S.	кремневые стяжения (?) очень редко маршант прослойки охры (?), уголь (?) огнеупорные глины (?)	бурый железняк (?), горизонты охры кальцит, кварц, кремнь. (редко)	охра  → источники (Надужск. г.), частью железистые новообр. полевой шпата → с H <sub>2</sub> S, углекислот. и FeSO <sub>4</sub>
	Угловский ярус С <sub>1</sub>	разболощенные озера и топи, иногда заливаемые морем обмеленно	глины (?) пески и песчаники (?) угольные прослойки (?) вышше известняки	Si, Al, Ti C, S, следы As Fe, Zn, Cu, Pb, Au, Ag Mn	красный железняк, охра кварц, сферосидерита жварцовый песок огнеупорные глины ширит (?), маршант (?) уголь	боксит, гидротематит гидраргидрит, рутил сидерит (?), бурый железняк кальцит, доломит ширит, калькопирит, галенит, сфалерит (? <sup>4)</sup> )	мелатерит железные квасцы, сульфаты окиси железа гипс самородная сера (?) → несколько горизонтов
Днепр	на юге (Малыко-Мурачев.)	открытое, но замкнутое, мелкое море	слоистые известняки и доломиты	Al, Si, Mg, (Mn), Ca, C, O, S, O	кремнь (в нижних горизонтах)	боксит, аллофан, гипс бурые железняки, гидротематит ортоклаз, микроклин	→ пресные воды поглощение воды
	на севере	мелкое море прибрежная полоса	слоистые глины и пески	Al, Si Fe, K	слюда, глина кварцевый песок		

Примечания. — — перерывы в отложениях; — — главнейшие водоносные горизонты и источники.

<sup>1)</sup> См. подробнее при описании области IV, на табл. VI. Известен только на северо-востоке области.

<sup>2)</sup> Наиболее типичная последовательность в грубой схеме; выдерживалась далеко не всюду и с значительно более сложной и многообразной переменяемостью горизонтов различного петрографического состава.

Цифры в графе литогенеза совпадают с аналогичными знаками в скобках в последующих графах для указания, что данный минерал приурочен именно к данной породе.

<sup>3)</sup> Образование огнеупорных глин, вероятно, связано с постпалеозойскими материковыми процессами между верхним карбоном и юрой, тогда как вторичные скопления их могут быть отнесены к третичному времени или даже к процессам современного гипергенеза.

<sup>4)</sup> Вся толща карбонатных пород под Москвой около 460 метров.

<sup>5)</sup> У Вышне-Волоча ниже глауконитовый известняк сингура.

# V Геохимическая таблица

мезозойских и послеледниковых отложений Центральной России.

К стр. 143.

Возраст	Геологическая характеристика	Литогенез	Главн. химич. элементы	Минералы они — диа-генеза	Минералы катагенеза	Минералы гипогенеза			
Послеледниковый	почвообразование  размыв	торфяники подазолистые почвы пески, безвалунные суглинки, делювий	C, Fe, P, Si, Mn	вивинит опаловое вещество в подзолах лимонит в ортштейне болотные и дерновые руды сапропель в озерах		берунит фульгурит известковый туф			
Ледниковый	размыв	моренные пески, валуны, межледников. отложения	Si, Al	торф, глина в песках — магнетит, гранат, золото		→ желез. ключи с CaSO <sub>4</sub>			
Ю р а  М е л а	в. турон	залив моря	H, C, N, O, F, Na, Mg, Ca, K, Al, Si, P, S, Fe, Mn, следы As и Cu	гидрат SiO <sub>2</sub>		Источники с H <sub>2</sub> S, FeCO <sub>3</sub> , FeSO <sub>4</sub> , CaSO <sub>4</sub> . H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> , гипс, меланжерит, водные сульфаты окиси железа, дендриты марганца. Преобразование фосфорита в штаффелит; вивинит на фосфоритах			
	гольт, апт.	материковые и при- брежные образо- вания		опоки	фосфорит				
	неоком			опоки железистые песчаники	P				
	(Рязанский) Аквилон	Частью прибрежные, частью мелководные отложения плоского моря с многочислен- ными перерывами и фацциальными измене- ниями.		слоистые черные глины реже пески	P, K		фосфор. глянцев. главконит	кальцит	
	Портланд			мергел. и, железистые, главконитовые пески и песчаники	P, K		фосфорит, главконит	цемент кварца в песчанике	
	Киммеридж (часто размыт)			Слоистые черные глины и мергеля, часто песчанистые в основании келловей — галька кремней карбона в основании портланда — глауконитов. пески в среднем и верхнем келловее — деп- ные глины.	мергел. и, железистые, главконитовые пески и песчаники		P, K	просл. фосфорита	гипс, кальцит
	Секван				P, K		фосфор. глянцев. главконит	→ много железа	
	Оксфорд				Ba, P		фосфорит матовый барит	кальцит	
Келловей	Ba, Fe		барит в септариях сферосидерита		барит, гипс кальцит				
		Fe, P, C	фосфорит оолиты лимонит остатки древесины	гипс					
Пестрые пермские мер- геля или верхний карбан	См. табл. IV и VI.								

Примечания. перерыв в отложениях; → главные водоносные горизонты.

<sup>1)</sup> Мощность мела до 75 метров, юры до 25.

<sup>2)</sup> Глянцевый фосфорит находится во вторичном залегании и генетически должен быть связан с более древними горизонтами.

<sup>3)</sup> Нижние горизонты этой серии в Рязанской губ. м. б. принадлежат бату. Часть гжельских глин может быть отнесена к этой же эпохе (?).

# VI. Геохимическая таблица западной части Пермского моря и суши.

Возраст	Геологич. характеристика.	Литогенез.	Главные химические элементы.	Минералы омн-диа-генеза.	Минералы катагенеза.	Минералы гипергенеза.
Современная эпоха	речной аллювий	чернозем, торф валунные лесовидн. глины и пески	Fe, Mn, P	болотные руды	вивианит журавчики (изв. конкреции) розы гипса	бераунит пресноводные туфы из ключей
Постплиоценовая	пресноводные бассейны	пресноводные отложения (глины, пески и руды жел.)	Si, C, Fe	пирит на обугл. дрв.	огнеуп. глины с сидеритом (ВК.)	
Третичная (Акчагыл)	образование Жигулей морская трансгрессия	пески и глины	C	остатки бурого угля битуминозн. скоплен.		→ с CaCO <sub>3</sub> , CO <sub>2</sub> (K)
Мел (неоком)	береговые и мелководно- морские образования	серые и черные глины, пески, мергеля, оолиты, горючие сланцы, огнеупор. глины в основании	P, S, C, (F)	фосфорит пирит, глауконит сферосидерит углистые вещ. битуми- нозные сланцы (?)	барит (OK, в бате Ж.)  асфальт (Ж.)	гипс, мелантерит, квасцы, фель- собанит (Ж.) → железистые воды  (растворы сульфатов железа)
Юра (бат-аквилон)			Si, Al Fe, Ba, K			
(Триас) P + T Татарский ярус (пестр. мергеля P <sub>2</sub> )	пресноводные, мелковод- ные и материковые от- ложения.	пестрые мергеля — рухляки с прослойками песчаников, из- вестняков и гипсов, пески, опоки	P, Cl (?) C—O, S—O Fe, Ca, (Mg)	гипс углистые прослойки костеносные слои (галыки кремня, агата, порфира)	пальгорскит песчаники с асфальтом по р. Уяже (превращены в рудные слои OK.)	соль (?) в скважинах и источ- никах Костромской губ.
Пермские отложения.	↑ углубление обмеление ↑	замкнутый морской бассейн	известняки (частью кремнистые, частью воюющие) <sup>1)</sup>	Mg, Ca, (Fe) Si, O, S	кальцит, кальцинирование до- ломитов. доломит, доломитизация извест- гипс (из ангидрита) пирит (редкий) в известняке (K.) кварц, халцедон, кремь, агат β—пальгорскит сера, асфальт, нефть, гудрон в песчаниках целестин (K, Ж.), барит (O.) остаточные глины с обраа. сфе- росидерита с прослойками угля и пиритом (OK)	инфильтрация растворов с Fe и S  мелантерит (Т.), эпсомит (Ж.) сероводород (Т.), сера (Т.) кварц, халцедон, опал лимонит по пириту и сфероси- дериту β—пальгорскит стронцианит
			доломиты (иногда оолитовые или битуминозные)	C—O, S—O		
	↑	мелкие бассейны или перерыв местный	гипс (OK, КТ)	Sr, Ba (Ni, Cu)	доломит кальцит гипс ангидрит (OK, Ж.) кремь (агатовый)	→ с CaSO <sub>4</sub> , NaCl, H <sub>2</sub> S (Сергиевские воды)
			к востоку сменяются песча- никами			
4) = Уфимскому яр. P <sub>1</sub> = Кунгурскому	морской бассейн с повы- шенной соленостью	мергеля, глины, песчаники (Ж.)	Ca, Mg C—O, S—O Cl, O Si, K?	конкреции кремня (Ж.) ангидрит, гипс соль глауконит (?)	кальцит, доломит, кварц  асфальт остаточные глины при материк. выветривании (OK)	→ пресные воды ? → воды с NaCl
Пермкарбон CP <sup>2)</sup> (= артияскому)						
2) Верхн. Карбон C <sup>3)</sup>	неглубокое, но открытое море	доломит глинистый, кремнистый и железистый  известняк плотный пористый	Ca, Mg Si, O—O S—O (?) C	кальцит, доломит желваки кремня (OK)  гипс [Валахна (?)]	огнеупорные глины (OK) доломитизация, и кальциниро- вание окремнение, кварц асфальт (Ж.)	доломит мучнистый  эпсомит  пирит в асфальте

Примечания. Сокращения: Вятско-Камский район—ВК; Окско-Клязьминский район—OK; Казань-Тетюшский район—КТ; Жигули—Ж.

1) См. подробнее при описании области V. 2) См. подробнее при описании области III.

3) → водоносные горизонты и источники.

××× наиболее крупные тектонические нарушения.

— — — — — перерывы в напластовании.

4) Вопрос о параллелизации Уфимского яруса (см. таблицу VII) с отложениями западной части бассейна представляется не вполне решенным. Значительное число фактов говорит за перерыв отложений в западной части, захватывающий или только уфимские отложения (Самарская Лука), или же и пермкарбон (по Шешме и Соку).

5) Кунгурский и артинский ярусы представляют скорее фацциальные, чем хронологические различия.

6) Воюющие известняки Арамакского уезда Нижегородской губ.

7) По середине между конхиферовым и брахиоподовым горизонтами в Казани Нонинский отмечает песчаниковую прослойку с углем и колчеданом.

**VII. Геохимическая таблица**  
восточной части Пермского моря и суши—Приуралья.

К стр. 182.

Возраст	Геологич. характеристика	Литогенез	Главные химические элементы	Минералы син-диа-генеза	Минералы катагенеза	Минералы гипергенеза
Современная эпоха Последледниковые обраа.	почвообразование речные наносы	чернозем, торф аллювий речной россыпи (золотоносные на Урале)	C, P Fe, Au, Pt (отч.)	вивианит		солонцы (Мензел. уезд.)
Постплиоценовые обраа.	флювиоглациальные обр. озерные обраа.	пески, валуны, глины ледн. пески постплиоцен. бассейнов				
Пермские отложения	P+T Ярус пестрых мергелей P <sub>3</sub> Татарский ярус	конгломераты пестрые мергеля (рухляки), переслаив. с песчаниками  внизу с доломитами, гипсами и известняками	Si, C—O Ca, Mg, (Fe) P, C S—O.	углистые прослойки кости ящеров скопл. гипс *)	выщелачивание гипса и перенос его в нижние горизонта пальгорскит (?) гипс	замещение рудными слоями (Fe) в Вятской губ. см. табл. VI  → ряд неправильных водоносных горизонтов.
	Бурая и серая толща P <sub>2</sub> (синхр. Казанскому ярусу ?)	прибрежные и материковые образования	серые и бурые песчаники и мергеля (прослойки серых известняков) конгломераты	Si Ca, C—O  *)	гипс (очень редко) конкреции с крист. кальцита	→ } ряд неправильных водоносных горизонтов
	(Красноцветная толща) Уфимский ярус P <sub>1</sub>  (Мергелисто-песчаная толща)	прибрежные, пресноводные и частью материковые образования может быть пустынного типа  (слабо изогнуты)	в) серые песчаники и конглом. <i>медистые</i> песчаники б) красные глинист. песчаники гипс, соль битуминозные сланцы а) пестрые известк. мергеля песчаники и глины	Cu, V, S Cr, Mn, Ca Ba Si, C  Ca, Mg, Na Cl, S—O	медные соед. в раз- ных гориз. (куприт, халькозин, халько- пирит)  волконскоит пирит в угле вожючие известняки. гипс, соль (Илецкая?)	фольбортит пальгорскит (в жильных пр.) кварц в полостях окремнен. дерева конкреции и жилы кальцита лимонит, красная охра гипс
Пермкарбон	Кунгурский ярус	морской залив (более замкнутое море)	C—O, S—O Ca, Mg Na, Cl	доломит октаэдры пирита соль, гипс, ангидрит	лимонитизация известн. (Урал) перекристалл. гипса (селенит) пальгорскит, кремнь псевдоморфозы глины по соли	лед (в пещерах) → с NaCl, H <sub>2</sub> S, S (Соликамск?)  геохимическая граница неясна ?
	Артинский ярус *  X<	прибрежная полоса вдоль о-ва Урала и о-ва Уфим- ского нагорья	мергеля, глины, гипс, соль песчаники, конгломераты изредка прослойки известняка	Na, Cl, Br, (K) Fe, Ca, Mg Si, C, O—O Ba, Sr	соль, гипс, пирит конкр. сферосидерита обугленные растения главконит	жилы кальцита и кварца в карбонат. породах окремнен. песчаников в кварциты (точильный камень) барит в септариях и аммонитах
Карбон	(частично) ~~~~~ C <sup>3</sup> C <sup>2</sup> (Московский ярус)	открытое море  (ч. геосинклиналь)	известняки и доломиты  известняк (частью кремнистый)	Ca, Mg, (Fe) C—O Si	(иногда вожючий из- вестняк)  кремнь, кварц	лимонитизация известняков накопление остаточной белой глины и песку углистый сланец Уфимск. плато
	нижний отд. C <sup>1</sup>	мелкие бассейны прибрежные, частью мате- риковые образования	известняк, доломит глинистый песчаник с углем	Ca, Mg, O—O Fe, S, O	сферосидериты уголь, пирит	лимонитизация карбонат. пород  лимонитизация известняков (на поверхности)

- Примечания.** 1) \* См. подробное описание области XII (Урал).  
 2) X< Периоды крупных тектонических процессов, складчатости или сбросов, имеющих значение для геохимии (в данном случае конечная фаза горообразования приходится на середину артинского времени).  
 3) ~~~~~ Перерыв в напластованиях.  
 4) C—O, S—O обозначают кислородные соединения углерода и серы, в противоположность C и S, отвечающим скоплениям угля (или углеводородов) и серы в металлическом или сульфидном виде.  
 5) → главнейшие водоносные горизонты и источники.  
 6) В таблице есть ряд неясностей, благодаря трудности параллелизовать отложения разных районов. Хронологическая последовательность переплетается с фациальными изменениями в горизонтальном направлении и далеко не всегда может быть отлучена от последней.  
 7) Граница между Артинским и Кунгурским ярусами скорее носит характер горизонтального изменения фации, чем хронологической последовательности.  
 8) Двуконечная стрелка в вертикальном направлении обозначает приуроченность какого-либо соединения (в данном случае медных) к различным выше и ниже лежащим горизонтам.  
 9) Медные руды отмечаются *Кротовым* в Уржумском районе среди пестрых мергелей.