

Б. ЛИНДГРЕН

# МИНЕРАЛЬНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

---

ВЫПУСК II



ОНТИ НКТП СССР 1934

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ  
ГОРНО-ГЕОЛОГО-НЕФТИНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

В. ЛИНДГРЕН

553.2(041.1)  
0159

553 Г. О.  
1-59

# МИНЕРАЛЬНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Перевод с английского  
под редакцией Б. П. НЕКРАСОВА  
Переводчица А. Н. ЛЕПЕШКИНА

Выпуск II

ГУУЗом НКТП СССР рекомендовано  
в качестве учебного пособия для гео-  
лого-разведочных и горных ВТУЗов

5274



ОНТИ • НКТП • СССР • 1934

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ  
ГОРНО-ГЕОЛОГО-НЕФТЬЯНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
Москва • Грозный • Ленинград • Новосибирск

Гр — 65-5-2

Протокол ТКК № 102

**MINERAL DEPOSITS**

by

**WALDEMAR LINDGREN**

Third Edition

New-York and London 1928

## Глава I.

# МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ОБРАЗОВАВШИЕСЯ МЕХАНИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ И КОНЦЕНТРАЦИИ: ДЕТРИТОВЫЕ (ОБЛОМОЧНЫЕ) МЕСТОРОЖДЕНИЯ

## ВВЕДЕНИЕ

Выветривание разрушает породы и месторождения полезных ископаемых путем механического и химического разложения. Частично образуются новые минералы подобно каолину и лимониту; частично же более стойкие минералы, подобно кварцу, золоту, платине, магнетиту, касситериту и гранату, освобождаются из породы в виде отдельных зерен. Процессами эрозии разрушенные породы смываются вниз по наклонным поверхностям, и дегрит уносится водными потоками. В текучих водах или на берегах морей и озер обломочный разрушенный материал классифицируется по удельному весу и размеру зерен. Самые тяжелые частицы, например золота, магнетита и граната, скапливаются в нижних слоях классифицируемого дегрита, а мельчайшие и легкоподвижные чешуйки глинистых веществ уносятся дальше и отлагаются в виде слоистых осадочных образований; коллоиды коагулируются под действием присутствующих в морской воде электролитов.

## МЕСТОРОЖДЕНИЯ КВАРЦЕВЫХ ПЕСКОВ

Кварцевые зерна часто образуют скопления в виде слоев почти чисто кварцевых песков. Эти пески широко используются в качестве компонентов керамических масс и стекла<sup>1</sup>, а также в качестве абразивного материала, употребляющегося при распилке мягких пород, подобных мрамору. Такие пески должны содержать 99%  $\text{SiO}_2$ . Например, в Ottawa (Illinois) такой высоко-кремнеземистый песок добывается гидравлическим способом; перед употреблением его подвергают классификации. Такой песок встречается в песчанике St. Peter (ордовикский); он состоит из сильно округленных зерен, какие мы видим в наносимых ветром дюнах (рис. 1). Несколько глинистые кварцевые пески, не содержащие карбонатов, но с кремнеземом в количестве 80—90%, используются в качестве формовочных песков и поэтому добываются в широком масштабе, хотя и залегают слоями незначительной мощности<sup>2</sup>. Когда кварцевые пески уплотняются под влиянием давления или цементацией, они превращаются в кварцевый песчаник или кварцит, из которого выделяются жернова, точильные и шлифовальные камни<sup>3</sup>. Хороший материал поставляют лишь

немногие местности. При современной постановке мукомольного дела надобность в жерновах чрезвычайно понизилась. Как технические, так и статистические данные по этим вопросам читатель найдет в «Mineral Resources of the United States», 1916, ч. 2, в разделах «Абразивные материалы» и «Песок и гравий», а также и в последующих годах издания, где можно найти также библиографию.

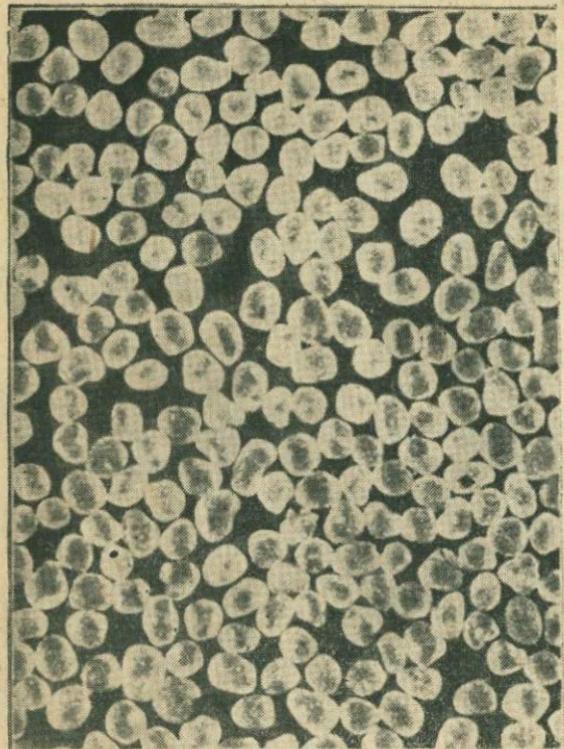


Рис. 1. Кварцевый песок, St. Peter, Ottawa, Illinois  
после просеивания. Увеличение в 5 раз.

Относительно точильного камня возникает сомнение: действительно ли материал дегритового происхождения или же он образовался в результате действия химических процессов? Примером может служить новакулит из Арканзаса, представляющийший лучший из известных сортов точильного камня. Он залегает в толще силура провинции Garland и Saline (Арканзас) и в зависимости от цвета называется «Was-hita», или «Arkansas». Последний чисто белого цвета и чрезвычайно тверд. Порода имеет множество трещин отдельностей, поэтому крупных кусков получить не представляется возможным. Branner считает эту породу метаморфизованной яшмой, а Griswold<sup>4</sup> — мелкозернистой осадочной породой.

Кварцевый песок и чистый кварцит (ganister) используются исключительно в производстве огнеупорных материалов<sup>5</sup>. Такой материал должен содержать по меньшей мере 97%  $\text{SiO}_2$  и не свыше 0,40% щелочей.

## МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГЛИН<sup>6</sup>

Мельчайшие частицы разрушенных пород уносятся водою (во взвешенном состоянии) и отлагаются в руслах рек, озерах и морях в виде осадочной глины. Вопрос о природе глин весьма спорный. Пожалуй, наилучшее определение дает G. P. Merrill, который говорит<sup>7</sup>, что глины далеко не все одинакового происхождения, а также неодинакового минералогического и химического состава, но в качестве общего свойства обладают пластичностью при смачивании и способностью отвердевать при высыхании. Глины представляют собою чрезвычайно тонко измельченные агрегаты водных алюмо-силикатов обломочного кварца и обломков других минералов, часто также водной окиси железа и углекислых кальция и магния. Осадочная глина поэтому должна скорее рассматриваться

как порода, а не как минерал, и используется она преимущественно в качестве строительного материала. Таким образом, подробное описание месторождений глин не соответствует цели настоящего труда.

Большинство глин являются продуктом разложения и гидратации полевошпатовых минералов: однако и другие силикаты играют некоторую роль. Предполагают, что одним из главных компонентов глин является минерал каолинит ( $\text{H}_4\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_9$ ). Вероятно, он действительно присутствует, так как образование каолинита из полевых шпатов можно легко проследить в разрушающихся минералах на поверхности, но в глине минерал настолько перетерт, что его тождественность весьма трудно установить. Известно, что существуют коллоидные водные силикаты алюминия, и что существует также много в большей или меньшей степени неопределенных естественных соединений, как, например, галлозит, смектит и фолерит. По составу осадочные глины редко приближаются к каолиниту. Каолинит должен содержать 46,5%  $\text{SiO}_2$ , 39,5%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и 14%  $\text{H}_2\text{O}$ , но, благодаря примеси кварца и неразложившихся силикатов, осадочные глины содержат значительно больше  $\text{SiO}_2$ , чем это указано выше.

В отсутствии карбонатов глина, вообще говоря, содержит магний в большем количестве, чем кальций, и содержание калия превышает содержание натрия. Титан часто присутствует в количестве свыше одного процента. Большая часть титана и калия, вероятно, присутствуют в коллоидальном состоянии. Иногда находят следы меди, никеля, свинца и ванадия.

Об остаточных глинах, происшедших от разложения пород «*in situ*», см. стр. 108 о глинах, образовавшихся под действием серной кислоты на силикаты в окисленной зоне рудных месторождений, говорится в выпуск III.

## «ФУЛЛЕРОВА ЗЕМЛЯ» ИЛИ СУКНОВАЛЬНЫЕ ГЛИНЫ<sup>8</sup>

Сукновальная глина — наименование, присвоенное некоторым осадкам глиноподобного материала, который раньше использовался в Англии суконщиками для удаления из сукна жира. В настоящее время сукновальная глина широко используется в качестве вещества для обесцвечивания и очистки жиров и масел и удаления их запаха; большое ее количество идет на очистку нефти. Таким образом, вся ее ценность заключается в абсорбционной способности. Месторождения встречаются в осадочных толщах мезозоя, кайнозоя и четвертичных отложениях, но подобный же материал образуется от выветривания основных изверженных пород. Изучение под микроскопом не выявляет происхождения «земель»; по окраске «земли» бывают от серого до темнозеленого цвета и по механическим свойствам мало или вовсе непластичны. Химический анализ тоже мало помогает определению качества «земель». I. T. Porter не без основания полагает, что качество «земель» обусловливается абсорбционной способностью коллоидных водных алюмо-силикатов.

Анализы показывают, что содержание кремнезема колеблется от 47 до 75%, глинозема от 10 до 19%, известня от 1 до 4%, окиси магния от 2 до 4%, окисного железа от 2 до 10%, связанной воды от 5 и 21%.

В провинции Gadsden (Флорида) и Decatur (Георгия) «земли» залегают в толще третичных пород и добываются открытыми разработками; в Арканзасе добыча производится в зоне выветривания даек основной породы. Дальнейшая обработка заключается в просушивании, измельчении

и грохочении на размеры от 30 до 100 меш. Очень тонкий материал за-  
саривает фильтр-прессы. В США производство выражается в цифре  
150 000 коротких т; около 8 000 т импортируется. Большая часть про-  
изводства США приходится на Флориду. Цена на флоридский материал  
около 10 долл. за тонну. Другими производящими штатами являются Тех-  
ас, Шиоис и Массачусетс.

Вторым видом сильно абсорбирующих глин является бентонит<sup>9</sup>, содержащий около 60%  $\text{SiO}_2$ , 23%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 10%  $\text{H}_2\text{O}$  и несколько процентов щелочей. Его находят в области Кордильер, в свитах меловых и третичных пород; по происхождению бентонит считается разложившейся вулканической золой<sup>10</sup>. Он используется для обесцвечивания масел в качестве наполнителя для очищения воды (свойства пермутита) и других целей. Ross и Shannon установили, что бентонит состоит преимущественно из кристаллического глинистого минерала со слюдистым габитусом, вероятно, монмориллонита ( $\text{MgCaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  или частично из бейделлита  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ). Эти минералы принадлежат к одному общему классу леверриерита и галлоизита. Содержание воды — высокое (до 24%).

## МЕСТОРОЖДЕНИЯ РОССЫПЕЙ

**Генезис и распределение.** Из присутствующих в породах минералов наиболее твердые, но небогатые по содержанию, дольше других сопротивляются разрушению; когда выветрившаяся порода смывается эрозией и происходит естественная классификация, эти минералы обычно образуют скопления в нижней зоне песчаных или гравелистых отложений. В Америке испанские золотоискатели называли золотоносные гравии «placer»<sup>11</sup> (rossыпи); пожалуй, для месторождений этого типа лучшего наименования и не найти. В таких месторождениях вместо золота может содержаться кассiterит, магнетит, монацит, алмазы или другие драгоценные камни. Употребляются и другие термины, как-то: «отложения гравия», «золотоносный гравий», «аллювиальные месторождения», но все они одинаково неточны; например, материалом может быть не гравий, а песок, и отлагаться он может не в руслах рек, а на морском берегу.

Процессы эрозии и концентрации деятельно протекают в самых ранних геологических периодах, так что мы видим дегритовые (обломочные) месторождения или россыпи различных эпох. Однако эпиконтинентальные месторождения обычно не достигают сколько-нибудь значительной мощности и легко смываются или сдуваются; так россыпи, приуроченные к дотретичной эпохе, относительно редки.

При образовании россыпей природа со своей обычной медленностью проводит те же процессы дробления и концентрации, которыми мы пользуемся при механическом обогащении руд. От быстрых перемен температуры породы разрушаются и изменяются; то же самое происходит и под влиянием жизнедеятельности растений, ударов, наносимых оползающими и уносимыми водой обломками пород, перетирающего действия льдов и, наконец, химического разложения и гидратаций. Продукты этих процессов образуют скопления в ложах рек или на берегах проточных вод или под влиянием океанских течений, вызывающих движение, напоминающее механическое действие концентрационных столов и отсадочных машин. Круглые частицы различных размеров падают в воде со

скоростью пропорциональной их весу, деленному на сопротивление. Так как сопротивление пропорционально поверхности, обломок кварца величиною с горошину будет падать гораздо медленнее, чем кусок золота того же размера. Этот обломок кварца будет легко уноситься потоком воды, в котором частица золота того же размера немедленно потонет. Итак, удельный вес ценных минералов играет весьма значительную роль в образовании россыпей. Удельный вес главнейших минералов следующий: кварц 2,64; полевой шпат 2,55—2,75; ферромарганцевые силикаты 2,9—3,4; гранат 3,14—4,13; алмаз 3,54; корунд 4,0; моназит 5,0; магнетит 5,0; касситерит 6,4—7,1; золото 15,6—19,33; платина 14,0—19,0 (21—22, если химически чистая). Значительную роль играет также форма частиц: чешуйчатые минералы, подобно молибдениту, чешуйчатое золото или спекулярит, несмотря на свой высокий удельный вес, концентрируются с трудом.

## ЗОЛОТЫЕ РОССЫПИ

**Введение.** Из россыпных минералов первое место принадлежит золоту. Грубо говоря, из 400 000 000 долл. мировой продукции золота 40 000 000 долл. добывается из третичных и четвертичных россыпных месторождений. Золотые россыпи, как правило, легко находить и эксплуатировать; запасы в давно обжитых населенных странах почти ис��ились. Богемия, Италия, Испания и Венгрия, которые в свое время дали значительное количество золота, в настоящее время не имеют россыпей. Новые россыпи обычно открывают на окраинах цивилизованных стран, например в Бразилии (в 18 столетии), в Австралии и Калифорнии (в половине прошлого столетия) и в настоящее время на Аляске и в Сибири. В 1897 г. добыча золота в США, включая Аляску, равнялась 7 800 000 долл.; в 1916 г. эта добыча равнялась 22 882 000 долл. и повышение добычи объясняется открытием новых россыпей на Аляске и золотоносного района в Калифорнии, где производятся дражные разработки. В 1924 г. добыча равнялась 9 317 000 долл., т. е. 18% мировой добычи золота. Практически все это золото добывается из россыпей третичной и четвертичной эпохи; некоторые из них относятся к эоцену. Незначительное количество добывается из конгломератов меловой эпохи в штатах Орегон и Северной Калифорнии. По словам Poseyru<sup>12</sup>, в Богемии имеются золотоносные конгломераты пермского возраста. Wilkinson описывает золотоносные конгломераты пермо-карбона в новом Южном Уэлсе<sup>13</sup> (Австралия). Содержание золота в этих старых конгломератах в большинстве случаев незначительно и эксплуатация их редко выгодна.

Примером древних россыпей являются кембрийский базальный конгломерат в Black Hills (Южная Дакота), который неравномерно перекрывает докембрийские сланцы и золотоносные кварцевые жилы. Описание этого конгломерата первоначально было дано W. B. Devereux<sup>14</sup>, позднее J. D. Irving<sup>15</sup>. Конгломерат имеет мощность от 2 до 30' и перекрывается кварцитом. Конгломерат местами содержит золото, бессспорно, обломочного происхождения, о чем свидетельствуют округленные зерна; в нем имеется несколько выгодно эксплуатируемых рудников. Хотя возможно, что имело место некоторое позднейшее оруденение, эти факты первичной золотоносности твердо установлены. Maclarens<sup>16</sup> полагает, что малочисленность значительных месторождений россыпного золота в более древних отложениях объясняется растворением последнего на глубине

щелочными растворами. Эта точка зрения подтверждается фактами в недостаточной мере.

**Происхождение золотых россыпей.** В первичных месторождениях золото преимущественно содержится в жилах, залежах или в смятых разлиствованных зонах различных пород. Часто приходится слышать, будто золото вкраплено в сланцы и массивные породы в виде мельчайших вкрапленных частиц и что в некоторых местностях источником россыпного золота являются именно эти породы. В большинстве случаев это не соответствует действительности, хотя никто не может оспаривать, что в отдельных случаях золото и может быть вкраплено таким образом. Даже в отношении области Юкона, к которой в частности относится вышеприведенное мнение, в настоящее время установлено происхождение золота из жил и зон смятия<sup>17</sup>.

Большинство золотых россыпей образовалось в результате выветривания и разрушения золотоносных жил, залежей, разлиствованных зон смятия



Рис. 2. Диаграмма, иллюстрирующая развитие элювиальных и русловых россыпей.

тия или более неправильных месторождений замещения. Эти первичные месторождения далеко не всегда были богатыми и их эксплуатация не могла быть рентабельна. Во многих местностях в горных породах изобилуют трещины отдельности или мелкие трещинные жилы, в которых золото отложилось вместе с кварцем.

**Элювиальные месторождения.** Золотоносные россыпи могут образоваться, как следствие быстрой эрозии твердых пород, но такие россыпи не часто бывают богаты и не всегда содержат промышленные концентрации. В обширных областях, изобилующих россыпями, процессу концентрации обычно предшествовал период глубокого выветривания и разрушения поверхности. Многие полагают, что такие эпохи присущи лишь тропикам, но это не соответствует действительности. Процесс был весьма деятельным и в районе Аппалача, в Калифорнии и даже на Аляске, не менее чем в таких странах, как Гвиана и о. Мадагаскар, за разрушением на поверхности выходов золотоносных жил следует постепенная концентрация золота или на месте разрушения первичного месторождения, или же несколько ниже его — на пологих склонах. Если жила залегает на склоне холма, головная ее часть, сползая, перегибается (рис. 2), и порода и кварц начинают разрушаться, причем последний обычно медленнее первых; менее стойкие минералы выветриваются и переходят в лимонит, каолин и растворимые соли. Объем чрезвычайно сокращается с проистекающей концен-

трацией золота. Золотоносные сульфиды дают самородное золото, гидролизясь железа и растворимые соли. Несомненно, что если растворы содержат избыток хлора, то имеет место растворение и вторичное осаждение золота. Продуктом этого процесса является рыхлый железистый нанос, который легко промывается для извлечения из него золота. Это золото представляет зерна с шероховатой поверхностью и неправильной формы, несколько большей окатанности, чем золото в первичной жиле. Таким остаточным концентрациям, которые могут эксплуатироваться подобно обыкновенным россыпям, Stelzner присваивает наименование элювиальных месторождений золота.

В золотоносной области южных штатов, Аппалачах, разложение коренной породы, обычно сланца, может достигнуть глубины 100' и больше<sup>18</sup>. Разрыхленный материал золотоносных жил спускается вниз по холму, смешиваясь с выветрившейся породой, и в течение этого процесса золото частично опускается в нижние слои дегрита. Вследствие этого прибегают к особому способу разработки, а именно, всю массу материала промывают гидравлическим способом, а наименее разложившиеся куски кварца дробят в толчее с крупным грохотом. Такой способ практикуется в Dahlonega и часто носит то же название. Подобного же рода месторождения разрабатываются в Калифорнии, в частности в Эльдорадо; здесь они носят название «seam diggings», ввиду того, что золото встречается рассеянным в мелких проводничках кварцевых глыб из жилы, залегающей в определенном поясе сланцев. Вокруг таких месторождений часто возникают судебные процессы ввиду неуверенности следуют ли их считать россыпями или жилами.

В некоторых областях Бразилии<sup>19</sup> сланцы и гнейсы покрыты золотоносным слоем обломочных пород, скопившихся на месте. Другим примером служит «Taрапоанка» в той же стране. Последнее представляет пласт остаточной или латеритовой железной руды мощностью до 10', залегающий поверх гематитового сланца и содержащий золото во всей своей толще. Золото, вероятно, присутствует в сланцах в виде жилок, а золотоносный «пласт» концентрировался из значительной толщи выветривающегося на месте сланца.

Прекрасные примеры элювиальных месторождений имеются в голландской, британской и французской Гвиане<sup>20</sup>, хотя в этих же колониях более обычны обыкновенные кусковые россыпи. На значительной части этой территории вековое разложение кристаллических пород имело своим следствием образование глубокого покрова железистой глинистой толщи (латерит); под выходами на поверхности золотоносных жил в этом материале местами образовались скопления золота. Многие русла речек также разрабатываются на россыпное золото. Здесь дегрит обычно лежит на глинистой поверхности плотного латерита.

Установлено, что многие горные породы Гвианы содержат золото и что именно эти породы являются источником россыпного золота; в частности золотоносными считаются основные породы, диабазы и амфиболиты. Это положение, видимо, следует принять, хотя и с некоторой оговоркой. Казалось бы вероятнее, что золото, связанное с зеленокаменными породами, — вторичного происхождения, и что здесь, как и везде, гранитные интрузии вызвали образование в окружающих породах ряда золотоносных жил.

**Процесс концентрации.** В большинстве случаев цикл пошел дальше и материал не только разложился, но был смыв, перемещен и вновь от-

ложен. Действующими силами здесь могли быть ветер, текучие воды и морской прибой,

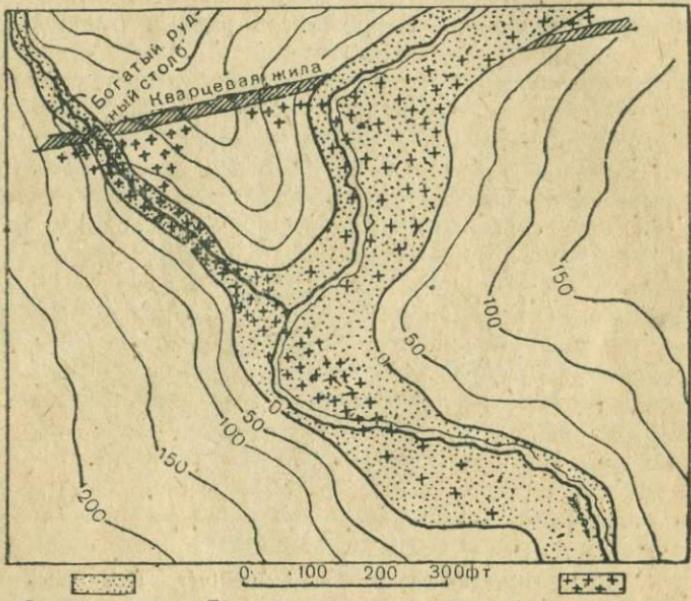
**Эоловые месторождения.** Месторождения, скопившиеся под действием ветра, конечно, могут образоваться только в сухом климате, где продолжительные эоловые процессы подготовили почву для действия песчаных бурь; с разложившихся и рассыпавшихся выходов на поверхность жил ветры сдувают более легкие пески, оставляя скопление более крупного дегрита, содержащего золото. Такие нанесенные ветром россыпи наблюдали Н. С. Hoover<sup>21</sup> и Т. А. Rickard<sup>22</sup> вблизи выходов на поверхность золотоносных жил Западной Австралии. В области Кордильер подобные месторождения отсутствуют.

**Месторождения текучих вод.** В образовании золотоносных россыпей первенствующую роль играют быстрые текущие воды. Высокий удельный вес золота объясняет многие затруднения для понимания особенностей россыпей: россыпное золото в шесть, или семь раз тяжелее обычно сопровождающих его полевого шпата и кварца, и оно необыкновенно быстро оседает на дно в текущих водах. От лотка золотоискателя не может уйти почти ни одна золотинка ценностью в один цент; после одного или двух предварительных встряхиваний в воде оно немедленно тонет на дно среди массы гравия и песка. На дне золото остается, несмотря на встряхивание и повертыивание. Это и является объяснением того, что золото находится преимущественно на плотике.

Предположим, что мы имеем глубоко выветрелую золотоносную кварцевую жилу, залегающую в породах, также достаточно разрушенных выветриванием, и вся область приподнялась, скажем, на 500' в результате одного из тех медленных колебательных движений, которые так часто имеют место в земной коре и носят название эпейрогенических движений. Река проложила в этом приподнятом плато долину соответственной глубины, и долина, вследствие некоторой остановки в поднятии, заполнилась аллювием на ширину примерно 100'. Представим, что впадающая в реку балка с крутым падением русла прорезает плато до месторождения золота (рис. 3); когда в процессе роста верховья балки достигнут элювиальных отложений, последние будут снесены. Глина и лимонит быстро уносятся во взвешенном состоянии; угловатые обломки кварца и породы, перетирая частицы золота между собою и плотиком, будут продвигаться книзу, причем мелкие частицы будут оставаться во взвешенном состоянии, а крупные будут волочиться и перекатываться по дну. Здесь осаждение может быть лишь весьма незначительным; передвигающаяся сила слишком мощна, и в полую воду, вероятно, вся масса обломочных пород (если она не слишком мощна), будет в движении. С подмываемой стороны небольших желобков и бороздок плотика могут осесть тяжелые самородки золота. Золото быстро осаждается. Большая его часть подвергается непрерывным ударам, медленно сплющивается в гладкие зерна, продвигается вниз по течению и, наконец, достигает границы затопляемой рекой зоны. Здесь остается большая часть золота. Оно не смывается с песком и гравием, а остается на плотике, близ края зоны. Самые мелкие частицы, конечно, проходят еще на некоторое расстояние, но и они скоро потонут в наполненном водою гравии, подобно тому как в отсадочной машине падают на дно частицы тяжелой руды. В больших реках гравий и песок медленно продвигаются вниз по течению точно так же, как это имеет место с массой обломочных пород в горных ручьях. В течение этого процесса

более легкие частицы золота в аллювии также продвигаются одновременно и вперед и книзу и постепенно присоединяются к самородкам и более крупным частицам, уже достигшим места своего отложения.

Вот этот процесс и представляет разгадку генезиса россыпей. Не следует ожидать, чтобы крупные и даже обыкновенные мелкие частицы золота выносились на середину широких затопляемых зон. По мере расширения затопляемой зоны она покроет скопление золота вдоль ее края, и в конце концов образуется пласт золотоносного гравия, лежащий на плотике и простирающийся вниз по течению глубоко под поверхностью. При прослеживании золотоносного пласта вверх по течению можно



Гравий и песок    Падение горизонтали 50фт    Богатый золотом гравий на плотике  
Рис. 3. Кварцевая жила с находящимися под ней россыпями, в плане.

притти к первичному месторождению золота, т. е. к жиле. В природных условиях способы образования скоплений бывают различны. Представим себе, как это наблюдается в районе Creswick (Виктория), широкий поток, бегущий по сравнительно незначительному уклону, пересекающий глубоко разложившийся пояс мягких сланцев, прорезанных многочисленными мелкими кварцевыми жилами, богатыми самородным золотом, и что, кроме того, в течение продолжительного периода времени сохраняется равновесие между перемещением и отложением. Во всю ширину потока образуется отложение гравия глубиною всего несколько футов, но с большим количеством золота, сконцентрированного на плотике. Свободного течения достаточно, чтобы поднять и продвигать вперед всю массу гравия, причем на глинистом плотике отлагается все большее количество золота.

С другой стороны, можно представить чрезвычайно деятельную эрозию, как это наблюдается, например, в Sierra Nevada (Калифорния), где высокое плоскогорье прорезано каньонами в несколько тысяч футов глу-

биною; это, в сущности, природные шлюзы и сплотки с уклоном от 60 до 150° на милю. В этих каньонах участки со сближенными берегами, образующими узкий проход («щеки») со дном совершенно свободным от гравия, чередуются с участками, где течение не так сильно и где поэтому образуется, хотя и неглубокое, скопление гравия. Такие каньоны пропускают золото всевозможных размеров, выносимое часто с далеко отстоящих более древних гравелистых холмов или из разрушающихся кварцевых жил. В узких «щеках» отлагается лишь весьма незначительное количество золота, а в излучинах реки образуются чрезвычайно богатые золотом неглубокие отмели гравия — бары (рис. 4). Обычно в одной и той же реке уклон, объем и несомый груз изменяются и поэтому в одной части ее долины может иметь место отложение, а в другой — эрозия. Непрерывный размыв русла реки имеет

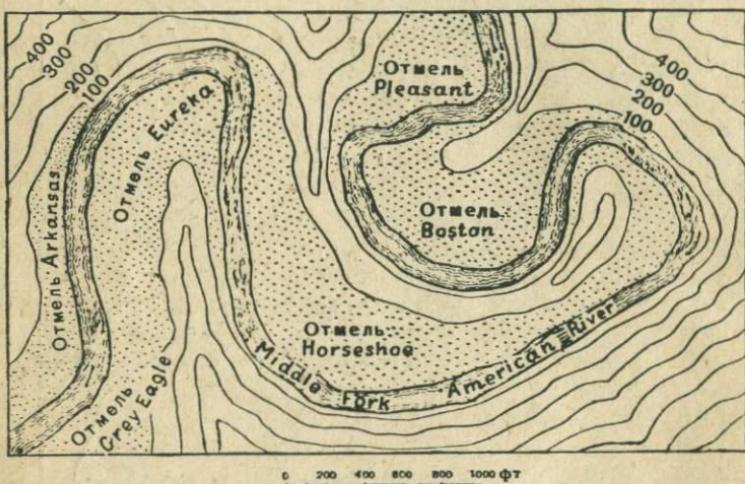


Рис. 4. Бары—отмели—на р. American River, Cal. Рассыпи отложены во внутренней части излучин (по R. L. Dunn).

следствием углубление каньона, а отмели (бары) остаются в виде террас. Эти террасы были впервые открыты в 1849 г. и было немедленно приступлено к их эксплоатации. Когда золотоискатели <sup>стали</sup> прослеживать источник золота, они скоро убедились, что следы металла по оврагам приводят их к крупным массивам более древних террас на высоте 2 000 и 3 000'. Эти террасы стали промывать гидравлическим способом; в реки было снесено громадное количество хвостов с небольшим содержанием золота, и реки оказались им буквально запруженными.

Последовало запрещение гидравлического способа разработки, и реки постепенно вернулись к активному переносу. Вся масса гравия медленно двинулась вниз по течению и на плотике постепенно образовалась новая концентрация. Отложение хвостов обогатилось и в дальнейшем будет снова переработано<sup>23</sup>. В дождливое время года воды текут вниз по каньонам так стремительно, что золото вряд ли может здесь осаждаться и большая часть его сносится через узкий проход в долину Сакраменто, где уклон внезапно становится более пологим. Самые мелкие частицы, возможно, достигают залива Сан-Франциско (San Francisco

Bay), но главная масса мелких частиц отложилась в затопляемой зоне на расстоянии нескольких миль от устья каньонов. Это золото (диаметр частиц в среднем 0,3 мм) остается на глинистом «ложном плотике» из вулканического туфа и образует у основания пласта песчаного гравия извилистые золотоносные слои мощностью от 10 до 60'. Такие отложения в настоящее время эксплуатируются драгами.

Золото, как это ни парадоксально, является одновременно и наиболее легко и наиболее трудно извлекаемым минералом. Этот минерал чрезвычайно разделим и вследствие своей нерастворимости может сохраняться в самых мелких частичках. Кусочек золота ценностью в 1 цент может легко разделиться на 2 000 частей, и в лотке каждая мельчайшая частица будет видна невооруженным глазом. В крайне тонком разделении частицы золота принимают чешуйчатую или сплющенную форму (flour или flake gold), легко уносимую водой и лишь в весьма незначительной степени способную осаждаться в песке или гравии. Эти мельчайшие чешуйки золота отчасти находятся во взвешенном состоянии в воздушных пузырьках, и даже реки, бегущие по небольшому уклону, могут относить их на расстояние нескольких сотен миль. Примером служит золото, которое находят в песчаных отмелях р. Snake<sup>24</sup> (Idaho). У отмелей и других благоприятных пунктов оно осаждается и образует тонкий золотоносный слой, но при следующем половодье песчаные отмели смываются и золото уносится дальше. Этим объясняется присутствие мелкого золота в крупных массивах гравия, например в толще мощностью 600', отложенной ледниками потоками Tacoma, и в других пунктах Puget Sound. Мельчайшую частицу золота можно здесь найти почти в каждом лотке гравия, но на каждый куб. метр материала приходится не более доли одного цента. В р. Columbia (северо-восточный кряж Washington) частицы золота колеблются от 0,0005 до 0,02 цента (в среднем 0,002 цента)<sup>25</sup>.

Итак, концентрация золота на плотике, о которой так много говорится, происходит отчасти вследствие естественного движения относительно неглубоких отложений гравия, напоминающего движение руды в отсадочной машине<sup>26</sup>, имеющего место в течение продолжительного периода, когда между загружающей и смывающей силой существовало равновесие. Концентрация объясняется отчасти также и медленным поступательным и нисходящим продвижением более тяжелых масс гравия<sup>27</sup>, точного измерения которого мы пока еще не имеем, и, наконец, в значительной степени тем, что более тяжелое золото не будет заноситься в покрытые гравием поймы рек, бегущих по небольшому уклону, т. е. единственных рек, имеющих широкую зону затопления, а немедленно отлагается на плотике краевых зон, постепенно углубляющихся и расширяющихся покрытых гравием равнин.

Условия, наиболее благоприятные для концентрации золота, можно видеть в увалистых, не резко въхолмленных местностях, где за глубоким элювиальным разрушением пород последовали небольшие поднятия. Последовательные небольшие поднятия вызовут пересортировку и обогащение гравиев. В областях, изобилующих золотыми россыпями, наиболее богатый материал обычно является результатом повторной переработки природного золотоносного гравия. Каждый период такой переработки обогащает гравий, выносит легко разлагающиеся гальки и, наконец, остается гравий, состоящий из наиболее стойкой, твердой породы, т. е. кварцита или кварца. В местностях, богатых золотыми рос-

сыпями, самым распространенным жильным минералом является кварц; поэтому здесь преобладают «белый гравий» или «белые каналы», почти целиком состоящие из кварцевой гальки.

## КЛАССИФИКАЦИЯ РОССЫПЕЙ

В соответствии с характером и условиями залегания россыпи можно разбить на следующие классы<sup>28</sup>:

Россыпи современного топографического цикла	Россыпи прежних циклов	
	поднятые	погруженные
1. Русловые россыпи мелких потоков	1. Террасовые россыпи мелких потоков	1. Глубокие россыпи мелких потоков
2. Русловые россыпи и бары рек	2. Террасовые россыпи, увалиные россыпи	2. Глубокие речные россыпи
3. Галечные равнины	3. Приподнятые галечные равнины	3. Опущенные береговые россыпи
4. Прибрежные россыпи	4. Приподнятые прибрежные россыпи	4. Опущенные прибрежные россыпи

Примеры современных россыпей в руслах мелких потоков и рек предстает нетрудно. Они встречаются во всех золотоносных районах, где протекает деятельность эрозии и где атмосферные осадки выпадают в до-



Рис. 5. Разрез, показывающий развитие береговой россыпи (по A. J. Collier and F. L. Hess).

статочном количестве, чтобы создать в руслах потоков сортировки и перенос гравия. В верхнем течении потоков галечник будет крупный и слаженноугловатый; ниже возрастает количество песков и галька более слажена. Там, где реки выходят из узких долин и под небольшим уклоном растекаются по затопляемым равнинам, образуются более крупные скопления песка и гравия; однако золота в них меньше, чем в более суженной части потока. Некоторое количество частиц золота достигает моря, и здесь под действием прибоя и косо идущих береговых течений на песчаном берегу образуется тонкий слой золотоносного материала.

**Морские россыпи.** Прибрежные россыпи встречаются вдоль многих берегов; они концентрируются в результате разрушения коренных месторождений или древних речных или береговых россыпей. В Nome (Аляска)

(рис. 5) прибрежные россыпи представляют полосу шириной в 200', давшую добычу золота на сумму свыше 2 000 000 долл. На цент приходится примерно 70—80 чешуек золота<sup>29</sup>. Далее вглубь страны можно видеть две древние поднятые береговые линии. Золото прибрежных россыпей Орегона и Калифорнии гораздо мельче, а именно от 100 до 600 золотинок на цент.

**Погруженные россыпи.** Мощные поверхностные накопления могут покрыть россыпи глубоким покровом обломочных пород, не содержащих

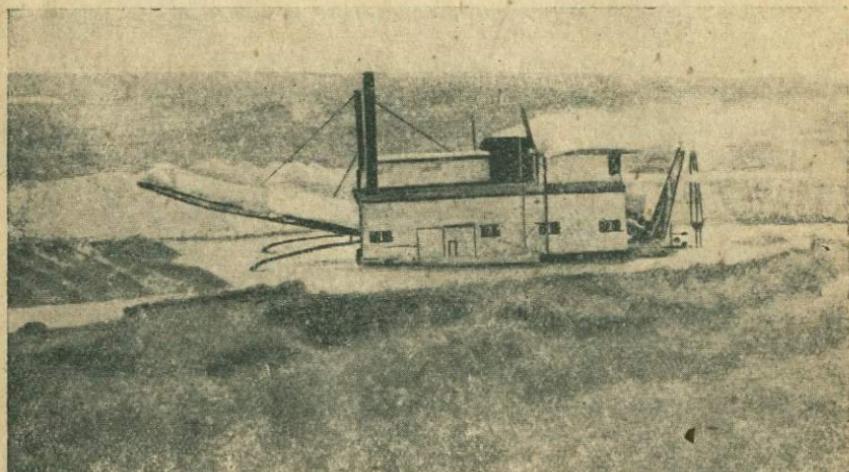


Рис. 6. Драгирование золота на р. Solomon River, Alaska.

золота. Такое явление мы видим во многих речных долинах Аляски, в особенности в нижнем их течении; процесс концентрации останавливается, если современная река течет под слишком незначительным уклоном.



Рис. 7. Разрез по реке Feather ниже Oroville, Cal.  
a—плотик; b—формация Йопе; c—туфы Oroville.

ном, чтобы перенести обломки. Рис. 6 представляет драгирование на р. Solomon (Аляска). Глубина залегания галечного пласта на дне реки — около 20'. Рис. 7 представляет разрез участка Oroville (Butte, Калифорния), где производится драгирование. Глубина слоя гравия приблизительно 30'. Согласно Prindle<sup>30</sup> в Fairbanks (Аляска) россыпи расположены по притокам средней длины, текущим в открытых долинах; некоторые из отложений достигают мощности 300'. Золотоносный гравий, отчасти слаженно угловатый, лежит на плотике; его мощность достигает 12'. Выше его располагается слой, угловатого галечника мощностью от 10 до 60', скопившегося видимо за короткий срок, так как

концентрация не имеет места. Все это перекрывается мощным слоем торфов, по которым медленно течет река. Наиболее богатый галечник, разрабатывавшийся в 1905 г., содержит от 5 до 10 долл. золота на куб. ярд и представляет залегающий на плотике золотоносный слой шириной от 150 до 200', т. е. значительно более узкий, чем средняя ширина дна долины. Однако на плотике весь галечник содержит большее или меньшее количество золота. Золото довольно крупное. Близ истоков реки отложение почти непосредственно следует за проложением русла, и там глубоко залегающие золотоносные пласти нижних долин, частично захваченные мерзлотой, переходят в современные молодые аллювиальные россыпи.

Подобные же условия в широком масштабе преобладают в Victoria (Австралия)<sup>31</sup>. В плиоцене здесь существовала обширная речная система с неглубокими, хорошо отмытыми и местами весьма богатыми россыпями, которые образовались в течение продолжительного периода равновесия между эрозией и отложением. Затем область опустилась и по-

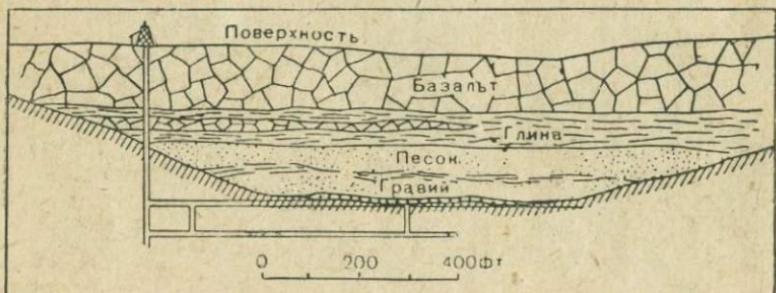


Рис. 8. Рисунок, иллюстрирующий глубокие погребенные россыпи в Виктории (Австралия) и метод их разработки.

крылась мощными отложениями песков и глин. Отложения покрыты излияниями базальта мощностью, местами, до нескольких сот футов (рис. 8 и 9). Широкие долины остаются в прежнем виде, но современные потоки весьма слабы и их мощность недостаточна для переноса и концентрации. Золото было открыто близко к поверхности; они прослежены вверх по мелким балкам в плотных сланцах и вниз ниже горизонта излияний базальта. Таковы, например, условия в Ballarat. Южнее Ballarat некоторые из приуроченных к плиоцену речных галечников переходят в прибрежные россыпи и скоро приобретают характер морских. Такие береговые отложения галечника вскрыты в рудниках Pitsfield, где пласти, содержащие мелкое золото, лежат на почти горизонтальном плотике. Работы по добыче ведутся под толщею песка и галечника мощностью в несколько сот футов.

С другой стороны, Sierra Nevada (Калифорния)<sup>32</sup> представляет прекрасный пример поднятия россыпей. В ранние периоды третичной эпохи поверхность хребта была сравнительно ровная, и в течение продолжительного периода разрушения золото из кварцевых жил сконцентрировалось на русловых плотиках потоков. Затем более глубокие россыпи были покрыты значительной толщей хорошо отмытого, но бедного по содержанию аллювия, в свою очередь перекрытого массами риолитовых туфов и андезитовых брекчий, так что старые русла местами оказа-



Рис. 9. Продольный разрез глубоких россыпей долины Chiltern и Rutherford в Виктории (Австралия), иллюстрирующий более крутой уклон дна третичных речных долин.



Рис. 10. Схематическое изображение четырех главнейших эпох накопления третичных гравиев в Sierra Nevada.

a—глубокие россыпи (взоцен), b—террасовые россыпи (миоцен), c—риолитовые туфы и междуриолитовый размык, d—андезитовые туфы и междувулканический размык.



Рис. 11. Поперечный разрез третичной речной долины Yuba River и водораздела Long Canyon, провинции Placer (Калифорния).

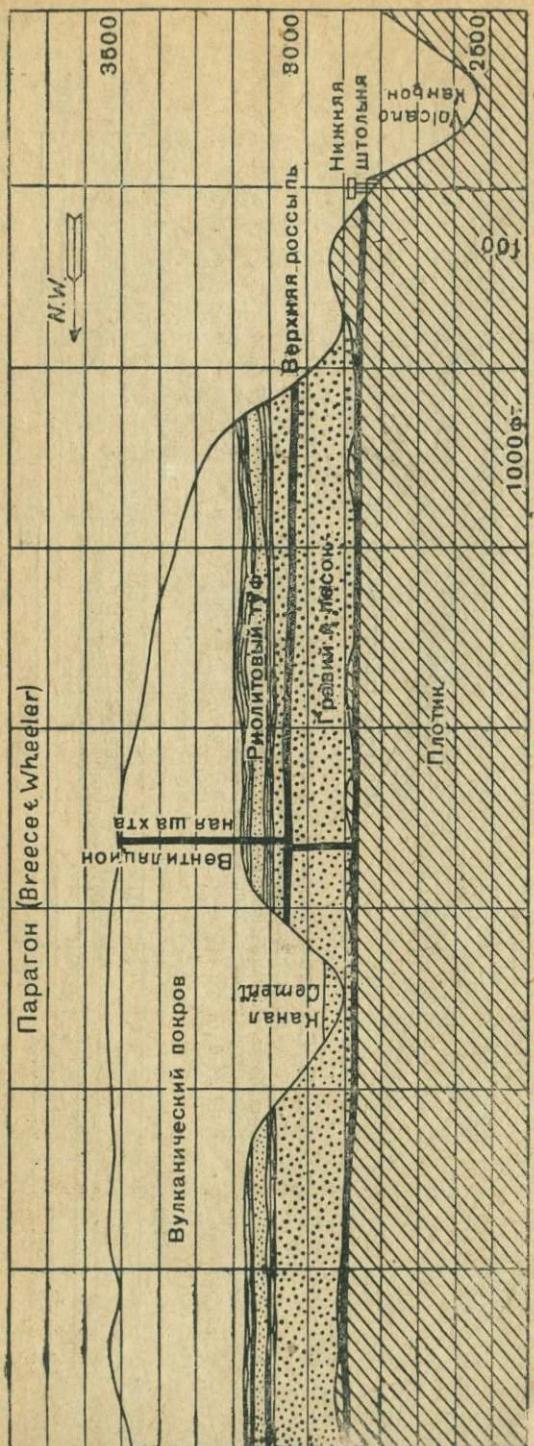


Рис. 12. Продольный разрез „канала синего гравия“ в руднике Breece & Wheeler, водораздел Forest Hill провинции Placer, Калифорния (по К. Е. Browne).

лись совершенно погребенными под толщею покрывающих пород общей мощностью до 1 500'. В последующий период горообразовательных процессов весь хребет был поднят. Новые реки и быстро текущие каньонные потоки углубились на 2 000—3 000', в результате чего старые россыпи вновь оказались доступными непосредственно с поверхности, залегая на более или менее связанных между собою остаточных вершинах хребтов, расположенных между современными каньонами. Россыпи эксплуатируются гидравлическим способом; в других случаях золотоносный слой, лежащий на плотике, вынимается при помощи штолен (drift mining) (рис. 10, 11 и 12).

В современных каньонах происходит накопление золота, выносимого эрозионной деятельностью из древних русловых россыпей и выходов кварцевых жил. По склонам каньонов местами остается нечто вроде террас, свидетельствующих о циклах эрозии в течение процесса образования каньона.

В некоторых местностях Аляски существуют условия, подобные вышеописан-

ным. Близ Nome, на хребтах, окружающих Anvil Creek, развиты высокие террасы на высоте 600—700' над современным уровнем рек. Некоторые из этих террас довольно богаты и представляют остатки древней, теперь почти полностью эродированной речной системы.

В Клондайке точно так же «высокие террасы» встречаются на высоте нескольких сотен футов над уровнем современной эрозионной системы; наиболее ярким примером является описанный Mc. Connell<sup>33</sup> «белый канал» (White channel) (рис. 13). Разрабатываются также прибрежные поднятые россыпи, как например в Nome, где имеются две древние береговые линии, одна на 37, другая на 70' выше современного

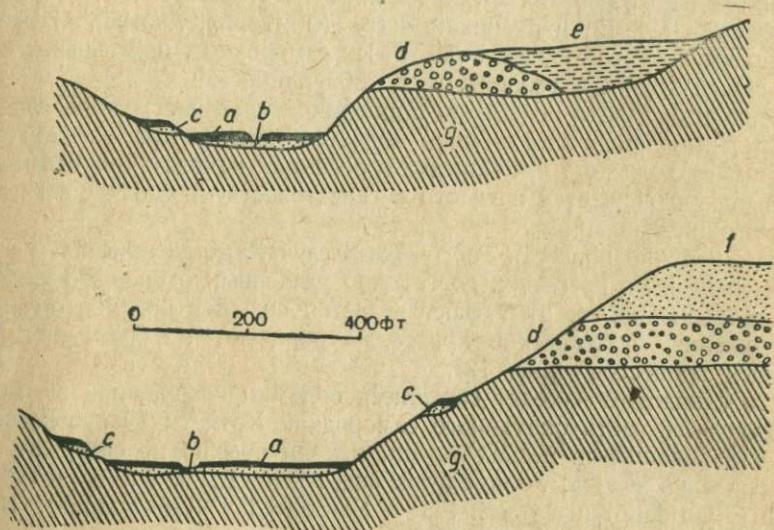


Рис. 13. Поперечный разрез долины Вопапза, Yukon Territory, иллюстрирующий несколько типов отложений гравия (по R. G. Mc. Connell).  
 а—почва, б—речной гравий, с—гравий террасовый, д—белый гравий, е—желтый гравий (гравий белого канала), ф—речной гравий высокой террасы, г—клондайкский сланец.  
 Масштаб 460 футов в 1 дюйме.

уровня океана. В провинции Santa Cruz (Калифорния) в течение довольно продолжительного периода времени велась эксплоатация такой же приподнятой прибрежной россыпи. Золотоносные морские пески встречаются по всему Тихоокеанскому побережью от San Diego до Аляски и во многих других частях света.

**Размеры россыпного золота и сопровождающие минералы.** В россыпях находят частицы золота всевозможных размеров, начиная от самородков, весящих до 200 англ. фунтов и кончая мельчайшими чешуйками. Большие самородки находили в Калифорнии; еще более крупные (до 2,280 унций) в Victoria (Австралия). Часто говорят, будто крупные самородки находят в россыпях чаще, чем в кварцевых жилах. Это не соответствует истине. Самородок, найденный в руднике Monumental (провинция Sierra, Калифорния), весил 1,146 унций (трой), а в кварцевой жиле Hill End (Новый Южный Уэлс) напали на самородок весом в 3 000 унций.

В некоторого рода месторождениях, например в изобилующих кар-

манами кварцевых жилах Alleghany (Калифорния) залегают крупные самородки золота.

Все или почти все так называемые россыпные самородки необычайно крупных размеров найдены в поверхностных месторождениях или чуть ниже выходов богатых жил. Это относится, например, к самородкам Ballarat весом от 80 до 160 англ. фунтов, которые были найдены в руслах небольших кругопадающих каньонов под базальтовыми излияниями при непосредственной близости к коренным выходам кварцевых жил. То же можно сказать и о самородках Carson Hill (Калифорния), самородке Roseidon (найденном в Виктории в 1906 г. весом в 953 унции), а также и других. В некоторых богатых россыпных месторождениях, в частности в Клондейке (Юкон) и рудниках Berry (Виктория, Австралия) находят особенно крупные самородки золота. Из самородков, найденных в Клондейке, самый крупный, говорят, весил 85 унций.

Угловатость золота неизменно пропорциональна расстоянию переноса; окончательным продуктом обычно является плоское округленное зерно диаметром от доли до 1 мм. Изредка в россыпях находят кристаллическое золото, но это случается не часто и свидетельствует о близости первичного месторождения.

Вряд ли можно привести достоверный случай, когда кристаллы золота были бы найдены в россыпях, достаточно удаленных от первичных источников золотоносности; этот факт является сильным аргументом против предположения, будто такие кристаллы образуются в россыпях путем вторичных процессов (рис. 12).

Часто с золотом находят сросшиеся обломки кварца, или же последние составляют часть окатанного самородка. Хотя так часто встречающиеся в золотоносных песках гальки кварца обычно не содержат видимых вкраплений золота, такие случаи известны, как, например, в Eek City и Idaho City (Idaho) и в Dutch Flat и Nevada City (Калифорния). Иногда россыпное золото (чаще чешуйчатая его разновидность) покрыто тонким налетом кремнезема, двуокиси марганца, или лимонита; такое золото плохо амальгамируется.

Наиболее обычными спутниками золота в россыпях являются магнетит и ильменит («черный шлих — black sand»), гранат, циркон («белый шлих — white sand») и монацит («желтый шлих — yellow sand») и другие тяжелые минералы, встречающиеся в породах, содержащих первичные месторождения золота. Кассiterит обычен для россыпей, и во многих глубинных золотых россыпях Виктории он содержится в таком значительном количестве, что представляет весьма ценный побочный продукт. Во многих из Калифорнийских россыпей, расположенных близ змеевиковых массивов, встречаются небольшие количества серой платины и серебристых чешуек осмия-иридия. Большая часть вышеупомянутых минералов обычно имеет своим источником не золотоносные жилы, а окружающие породы. В россыпях могут образовываться пирит, или марказит. Иногда пирит содержит небольшое количество золота, но возможно, чт при отбиании для анализов проб пирита золото могло попасть туда по ошибке.

С другой стороны, пирит может быть кластическим (обломочным) и попасть в россыпь из окружающих пород, так как пирит, видимо, трудно окисляется в проточной воде. В других случаях, например близ Nevada City, в канале Harmony в россыпях могут находить неразложившийся пирит, богатый золотом, принесенный непосредственно из первичных жил.

Другими, не столь обычными, спутниками золота, вероятно попавшими в россыпи из первичных месторождений, являются самородки серебра (Аляска), самородный висмут (Квинслэнд, Боливия<sup>34</sup> и Аляска), самородная амальгама золото-палладий, самородная медь и киноварь. Присутствие самородного свинца обычно объясняют случайной примесью охотничьей дроби, но J. Park<sup>35</sup> уверяет, что ему известен случай его бесспорного присутствия в россыпи, причем в свинце была обнаружена скелетная структура самородного золота.

## ПРОБА И ОТНОШЕНИЕ К ЖИЛЬНОМУ ЗОЛОТУ. V

Проба россыпного золота (или количество частей золота на тысячу) колеблется между 500 и 999. С золотом всегда присутствует серебро, но прочие металлы редко обнаруживаются, за исключением иногда меди. Проба жильного золота в редких случаях бывает от 997 до 999, чаще же от 500 (что соответствует электруму) до 800 или 850. Рассыпное золото в любой местности обычно чище жильного и, чем дальше перенос и мельче размер зерен, тем оно более высокопробно. Так, в Калифорнии проба жильного золота примерно 850, а проба россыпного золота в русловых третичных россыпях в среднем 930—950. Высокопробность золота в россыпях является следствием растворения и удаления серебра во внешнем слое зерен под действием поверхностных вод. Ms. Connel установил, что в самородках из Клондайка внешний поверхностный слой обычно чище внутренней части. Потеря серебра в поверхностном слое равняется от 5 до 7%. Этот факт свидетельствует об относительно небольшой растворимости золота<sup>36</sup>.

**Отношение золота к плотику.** Хотя большая часть золота обычно отлагается на плотике или на один-два фута выше последнего, это не является правилом. В некоторых россыпях более крупное золото встречается непосредственно над плотиком на 4—20 футов ниже последнего. Но оно никогда не бывает равномерно распределено в толще песков и если содержится, то в весьма небольших количествах. Прекрасным примером является разрез месторождения White Channel (Клондайк), приведенный Ms. Connel (рис. 13). Промытый гравий имеет здесь мощность 150'. Содержание золота следующее:

0—6 фут. выше плотика	4,13 долл. на куб. ярд
6—12 "	0,18
12—18 "	0,047
18—24 "	0,04
24—30 "	0,034
30—36 "	0,032
36—42 "	0,032
42—48 "	0,045
48—54 "	0,025

Начиная от 54' выше плотика количество золота на куб. ярд постепенно, но неизменно уменьшается до 0,006 долл. В верхних слоях в «торфах» присутствует лишь мелкое золото. На ложном плотике, т. е. глинистом пласте, залегающем выше истинного плотика, имело место местное обогащение; здесь золото многое крупнее, чем непосредственно выше, или ниже, но мельче, чем на плотике. Изредка можно встретить богатые пески и на несколько футов выше плотика; в этих случаях плотик бывает менее богат.

Крупные и среднего размера золотники передвигаются чрезвычайно медленно. По наблюдениям Mr. Connell на участках White Channel, пересеченных руслами потоков, почти все золото осталось в руслах потоков непосредственно ниже коренных источников золотоносности. В некоторых случаях горизонтальное передвижение не больше вертикального.

Ровный и твердый плотик плохо удерживает золото; несколько глинистый и разрыхленный представляется более благоприятным. Тонкослоистые не слишком твердые глинистые сланцы образуют прекрасный плотик, в особенности если их простиранье параллельно руслу долины. Змеевик образует гладкий и неблагоприятный плотик. Золото проникает в плотик. В твердых породах оно оседает в мельчайших трещинах, в мягких породах — прокладывает себе путь на глубину от 1 до 5' так, что всю эту толщу плотика необходимо вынимать. В известняках, благодаря их растворимости, образуется неровная, раковистая изъеденная поверхность, на которой скапливается много золота. Иногда на поверхности известняков образуются ямы до глубины 50' и больше. Хороший плотик дают плотная глина, глинистый песчаник и глинистые вулканические туфы; последние можно видеть в Oroville (Калифорния) в россыпях, разрабатываемых драгированием.

В ледниковых валах и моренах в очень редких случаях может наблюдаваться незначительная концентрация, когда первичное жильное месторождение являлось исключительным по богатству, но эти россыпи весьма малоцены; содержащееся в них золото может, конечно, концентрироваться под действием ледниковых потоков, перемывающих ледниковые отложения.

**Уклон русла золотоносных потоков и рек.** Уклон русел золотоносных потоков бывает чрезвычайно разнообразен. В крутопадающих горных ручьях уклон может быть несколько сот футов на милю, но в руслах таких ручьев богатые россыпи редки. Калифорнийские реки (Sierra Nevada) имеют уклоны от 50 до 100' или более на милю. Многие из них весьма богаты, особенно в «барах» и отмелях в местах наиболее благоприятнейших для концентрации. White Channel (Клондайк) имеет уклон около 30', уклон многих современных потоков Аляски от 100 до 150' на милю. В главных руслах третичных россыпей Виктории (Австралия) преобладают пологие уклоны (до 20').

В погруженных или поднятых руслах древних россыпей, как, например, в Калифорнии, Виктории и Клондайке, следует учитывать изменения первоначального уклона. Это всего лучше наблюдается в Калифорнии, где уклон современных русел равняется 100—150', тогда как уклоны первоначальных потоков более пологи. Такое увеличение уклона произошло благодаря наклону пород, слагающих Sierra Nevada по направлению к западу. Наилучшая концентрация золота, вероятно, получается в реках с средним уклоном: 30' на милю, при хорошо уравновешенных условиях размыва и отложения. Там, где имеется большой перенос и деятельное отложение, концентрация крупного золота отсутствует. С другой стороны, при деятельной эрозии условия для образования богатых россыпей менее благоприятны, за исключением случаев когда золото поступает в исключительно большом количестве, как в современных реках Sierra Nevada.

**Золотоносные струи**<sup>37</sup> (Pay streak или «Run of Gold»). За исключением мелких горных ручьев, распределение золота в пласте далеко неравномерное. Обычно золото присутствует на плотике всей площади,

занятой руслом потока, но более богатая его концентрация сосредоточивается в узкой извилистой полосе, обусловливаемой характером плютика. Эти наносы или струи не захватывают всей ширины, иногда разветвляются и вновь сходятся, отклоняются к одной стороне русла, снова его пересекают, часто по диагонали, протягиваются к другой. Направление струй не всегда совпадает с наиболее глубокой частью русла. Рис. 14 представляет извилистость золотоносной полосы в относительно неглубоких гравиях Mary boro (Виктория). Направление ее не зависит от направления течения современного небольшого потока. В более широких россыпях прибрежных равнин, примерами которых служат третичные россыпи Homebush и Pitsfield, «золотоносная струя» следует ясно выраженному направлению на поверхности коренных пород. Все это доказывает несостоятельность мнения, что золото первоначально равномерно распределялось по пласту и только в дальнейшем постепенно осело на дно под влиянием силы тяжести. Эти «золотоносные струи» свидетельствуют об эпохах, хорошо уравновешенных и долго остававшихся постоянными в условиях, в течение которых аллювий мог накапливаться лишь до средней предельной мощности, был непрерывно напитан водою в условиях медленного передвижения вперед. При увеличении количества переносимого обломочного материала способность потока к переносу золота быстро падает.

**Растворение и осаждение золота.** Многие из более ранних исследователей, как, например, Genth, Lieber, Selwyn, Laur, Egleston, C. Newbery и Daintree, из своих наблюдений в различных странах света пришли к заключению, что россыпное золото, и, в частности, крупные самородки, отложены циркулирующими растворами. В настоящее время твердо установлено, что хотя в исключительных случаях и может иметь место растворение с последующим вторичным отложением, однако, как правило, золото концентрируется в россыпях путем механического переноса<sup>38</sup>. Однако даже и теперь некоторые ученые, например J. M. Maclarens<sup>39</sup> и H. C. Boydell<sup>40</sup>, склонны особенно подчеркивать вторичное и, вероятно, коллоидальное осаждение золота. Тем не менее этот процесс, по всей вероятности, не имеет значения с экономической точки зрения. Если срезать и отшлифовать самородок, то в нем почти всегда можно наблюдать зернистую структуру, совпадающую со структурой жильного золота. При длинном ряде опытов Liversidge удалось найти

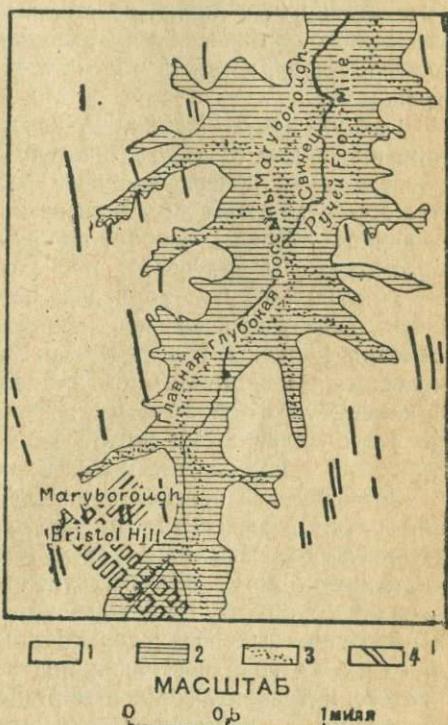


Рис. 14. Конфигурация продуктивной части россыпи в аллювии Maryboro, Victoria. (по S. B. Hunter).

1—силурские сланцы и песчаники; 2—аллювий; 3—золотоносный гравий под 20–50-футовой толщей аллювия; 4—кварцевые жили.

только два образца (оба из Новой Гвинеи), в которых наблюдалась концентрическая структура, свидетельствующая о конкреционном отложении. Весьма редко встречаются упоминания о кварцевых гальках с дендритовыми налетами золота<sup>41</sup> или о самородках с мельчайшими кристаллами золота на поверхности<sup>42</sup>. В коллекции J. Edmann, в Сан-Франциско, есть небольшой кристалл магнетита с тонкой пленкой золота. Этот образец найден в третичных месторождениях в Providence Hill, провинция Plumas (Калифорния). J. Edmann утверждает, что он никогда не встречал подобных образцов в современных россыпях. Кажется достаточно твердо установлено, что пирит, восстановленный из растворов присутствующими в россыпях органическими веществами, может содержать небольшое количество золота, а также что металл иногда находят у корней деревьев или трав.

Как указывает Maitland<sup>43</sup>, золото, выкристаллизовавшееся в мельчайшие кристаллы в глине (Kapowna, Западная Австралия), находится непосредственно поверх или близ разложившихся выходов жил; этот вид месторождения вряд ли можно назвать россыпью. Во всех случаях, наблюдавшихся автором, золото, проникающее в плотик россыпей, бесспорно обломочного (детритового) происхождения.

Установлено, что зола деревьев, растущих в золотоносных районах Гвиан, содержит довольно значительное количество золота. Впервые это отметил Lungwitz и опровергли Dubois и Kollbeck и после тщательных исследований окончательно установил Harrison<sup>44</sup>. О содержании золота в каменноугольной золе мы имеем сведения из различных стран света, но в этом случае оно может быть детритовым или же, быть может, содержалось в примешанных к углю песке и глине.

Золото легко переходит в коллоидальное состояние и в этом состоянии легко переносится в растворе коллоидального кремнезема. Оно весьма легко осаждается в присутствии электролитов, и факты подобного растворения могут объяснять некоторые случаи нахождения в россыпях вторичного золота. По новейшим исследованиям<sup>45</sup>, золото растворимо в поверхностных водах только в случае присутствия хлора, пришедшего в свободное состояние под взаимодействием серной кислоты, хлористого натрия и двуокиси марганца, т. е. комбинации, которая должна иногда иметь место в рудных месторождениях зоны окисления. В присутствии окисляющегося пирита некоторое количество золота может перейти в раствор в виде хлористого соединения, но, по всей вероятности, оно не останется в этом состоянии сколько-нибудь продолжительный период времени, так как столкнется с восстанавливющими веществами. Хотя золото слегка растворимо в углекислом натрии, сернистом натрии и других подобных соединениях, последнее весьма редко присутствует в водах зоны окисления.

**Отношение к первичным месторождениям.** Тот факт, что при посредстве механических процессов разрушения, переноса и отложения россыпное золото происходит из жильных месторождений, в настоящий момент является фактом абсолютно установленным, подтвержденным многочисленными примерами. Это еще не значит, что каждое первичное месторождение, давшее материал для образования россыпи, можно выгодно эксплуатировать.

В большинстве случаев россыпное золото можно проследить до самого его первоисточника, и этим пользуется залотоискатель, ищащий «карманы»: промывая в лотке взятый со склонов обломочный материал,

он идет вверх по холму, пока не достигнет первичного месторождения. Площадь, на которой развалена осыпь, имеет форму треугольника, на вершине которого и находится карман.

Реки или ручьи, пересекающие жилу или пояс золотоносных жил, весьма часто бывают обогащены в пункте, расположенному непосредственно ниже этого пересечения и, по мере приближения к месту пересечения выходов, т. е. вверх по течению реки, встречаются все более крупные размеры золотин. В качестве примера можно привести крупные месторождения россыпного золота в неогеновых галечниках Эльдорадо в Калифорнии, где они секутся *Mother Lode*, а также богатые залотом долины в северной части Nevada, непосредственно ниже пояса кварцевых жил в Washington и Graniteville. Прекрасные примеры можно также видеть в Виктории, где россыпи обогащены только в пунктах, где они пересекают или следуют системам жил, или «жильным зонам» (*riff lines*). «Белый канал» (*White channel*) водораздела Forest Hill (Калифорния) идет параллельно поясу тонких кварцевых жил, залегающих в глинистых плотных сланцах. Idaho Basin<sup>46</sup> представляет пример крупных скоплений аллювия, в котором золото можно проследить до определенных групп золотоносных жил<sup>47</sup>.

**Промышленно-экономический очерк.** За 1926 г. мировая добыча россыпного золота выразилась в цифре 35 000 000 долл. Из этого количества на Аляску и Юкон приходится 4 000 000, на Калифорнию — 5 000 000, на Викторию — 1 000 000, Сибирь — 16 000 000<sup>47</sup>. Хотя россыпи имеются почти во всех золото-сереброносных областях, однако наибольшую продукцию мы видим в Бразилии, на Урале, в Сибири, Калифорнии, Аляске и Виктории.

Золотоносные пески иногда измеряют в тоннах и куб. ярдах. Они измеряются также и по поверхности площади в кв. футах, метрах, а в Австралии обычно в кв. саженях (1,829 м). При глубоких разработках, когда вынимается только богатый нижний слой, часто измеряется квадратная площадь пласта, причем вынимается не менее 2' песков и 1' мягкого плотика, что составляет 1 кв. сажень, равняющуюся 4 куб. ярдам. Речные бары и отмели разрабатываются с помощью дамб и плотин, отводящих русла рек, и при небольшом масштабе пользуются шурфами, а при более крупном масштабе прибегают к шлюзовой промывке или гидравлическому способу.

В Калифорнии древние приподнятые россыпи разрабатываются с помощью штолен и штреков, проходимых в плотике. При самых благоприятных условиях добыча обходится не дешевле 50 центов за куб. ярд, но чаще доллар или даже два. Содержание золота в большинстве из эксплуатируемых в настоящее время россыпей не менее 1,50 долл., часто гораздо больше. Если пески промываются целиком гидравлическим способом, расход может снизиться до 2—5 центов за куб. ярд. Значительная часть расхода, разумеется, часто приходится на подготовительные работы, прорытие канав и пр. Некоторые русловые россыпи на полуострове Seward содержат золото в количестве 2—6 долл. на куб. ярд, при ширине месторождений 50' и глубине от 3 до 6'.

Погруженные древние россыпи эксплуатируются проходкой шахт. Такие работы ведутся в Виктории, но приток воды настолько большой, что стоимость работ не всегда окупается. Некоторые из этих австралийских россыпей были чрезвычайно богаты; поддающиеся эксплуатации участки содержали от 2 до 15 долл. на куб. ярд, при ширине нескольких

сотен футов. За последнее время в Калифорнии, Аляске, Клондейке и других местностях россыпи разрабатываются драгированием. В Калифорнии, где этот способ особенно распространен, в 1916 г. 58 драг выработали золота на общую сумму 7 769 000 долл. переработкой пойменных долин рек, текущих у подножья Sierra Nevada; эксплоатационные расходы снизились с 10 центов за куб. ярд до 3 или 4 центов. В 1924 г. было добыто всего 4 306 000 долл. На Аляске расходы по эксплоатации, конечно, гораздо выше; поэтому россыпи, содержащие золото в количестве менее 50 центов на куб. ярд, редко эксплоатируются. Надо думать, что в будущем драгирование окажется наиболее рациональным способом эксплоатации и вытеснит гидравлический.

Последний способ представляет трудности, сопряженные с уборкой хвостов. В 1917 г. драгирование дало на Аляске 2 500 000 долл., в 1929 г. — 1 563 000 долл.

Некоторые россыпи в безводных местностях Аризоны и Северной Мексики разрабатываются методами пневматической концентрации в так называемых сухих мойках, но производительность этих процессов незначительна<sup>48</sup>. Содержание золота в россыпных месторождениях иногда подсчитывается в долларах на линейный фут канала. Каналы, в которых легко проходятся штреки, могут дать от 70 до 500 долл. на фут. Из эксплоатируемых подземными работами россыпей наиболее богатой является, пожалуй, Madame Betty в Виктории; канал, средняя ширина которого 450', дает 1,293 долл. на линейный фут. Два участка несколько ниже первого, где ширина канала равняется 1 000', дают один 843, другой 443 долл. на линейный фут. Клондейский White channel давал 380 долл. на фут; канал Red Point в провинции Placer (Калифорния) — 72 долл. при ширине 120'; рудник American Hill в Неваде (разрабатываемый гидравлическим способом), ширина которого 1 000' — 414 долл.; русло Nome (Аляска) шириной 50' — около 100 долл. Если разработки ведутся только штреками, извлекается лишь часть золота, примерно от одной пятой до половины, в зависимости от мощности покрывающих песков.

## ЗОЛОТОНОСНЫЕ КОНГЛЮМЕРАТЫ ЮЖНОЙ АФРИКИ<sup>49</sup>

Рост продукции золотоносных конгломератов района Witwatersrand в Трансваале представляет одну из интереснейших глав истории горного дела. Начиная с 1887 г., продукция этих величайших в мире месторождений неуклонно растет. В 1916 г. наблюдалось некоторое снижение, но затем добыча снова начала расти. В 1926 г. она равнялась 28 000 000 т с выходом на сумму приблизительно 200 000 000 долл., что равняется почти половине мировой добычи за этот год. В конце 1927 г. общая сумма продукции достигла свыше 3 800 млн. долл., т. е. цифры, превышающей общее количество золота, добывшего совместно в Калифорнии, Колорадо и Аляске. Ввиду снижения стоимости металлургической обработки с 12 до 6 или 7 долл. за тонну стали использовать более бедную руду; по словам Hatch в будущем в обработку пойдет руда с содержанием даже всего 5 или 4 долл. на тонну. Полагают, что вскоре продукция начнет падать. В настоящее время достигнута глубина свыше 7 000'<sup>50</sup> и ввиду благоприятного геотермического градиента можно будет углубляться и дальше. Руда обрабатывается с применением процессов амальгамации и цианирования. В качестве дробильного оборудования наиболее распространены толчни и трубчатые мельницы.

Южная Африка представляет плато осадочных пород, залегающих поверх гранита и кристаллических сланцев.

Из известных пород наиболее древними являются кристаллические сланцы Swaziland и внедряющиеся в них граниты. Поверх их размытой поверхности залегают верхняя и нижняя системы плотных сланцев, кварцитов и конгломератов Witwatersrand общей мощностью до 19 000', покрываемых мощной серией вулканических излияний, называемых Вентерсдорнской свиты (рис. 15).

Возраст свиты Witwatersrand в точности неизвестен; она, вероятно, приурочена к кембрию или докембрию: вышележащей является система Potchefstrom, в которую входят Black Reef (самый древний) и свиты Dolomite и Pretoria. Поверх залегает девонская система Waterberg (песчаник Столовой горы в Капской колонии) и самая молодая система Karroo. Последняя содержит каменный уголь и по возрасту ее относят к пермокарбону. Каждая система отделяется от следующей песчаником залеганием.

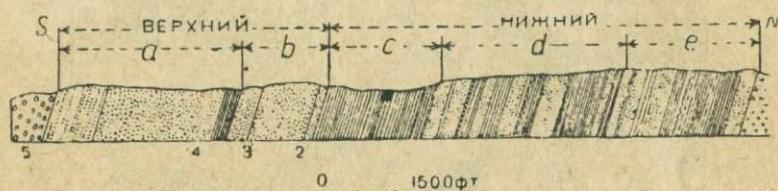


Рис. 15. Разрез серии Witwatersrand в центральной части Rand.  
1—гранит, 2—Main Reef, 3—Bird Reef, 4—Reef Kimberley, 5—амигдалиоиды. (по Е. Т. Mellow). а—свита Кимберлей, б—свита Main Bird, в—свита Jeppesztown, д—свита Government Reef, е—свита Hospital Hill.

Свита Witwatersrand сложена в синклинальную складку, простирающуюся приблизительно на 120 миль с востока на запад и 45 миль с севера на юг. Близ Johannesburg, с северной стороны синклинали падение на юг — крутое вблизи поверхности, но на глубине — пологое ( $30^{\circ}$ ). Весьма обычны сбросы и инъекции даек диабаза, которые относят по возрасту к залегающей поверх свите вулканических пород Вентерсдорн.

Золотоносные конгломераты залегают на нескольких горизонтах как в свите Witwatersrand, так и в свите Black Reef. Однако наиболее продуктивные пласти залегают в верхней части Witwatersrand, включая сюда толщу в 7 000' кварцитов и конгломератов. В них, начиная сверху, различаются следующие группы: Kimberley, Bird Reef, Livingstone Reef и Main Reef. Первые две мощностью около 500' каждая, но конгломераты здесь менее богаты; содержание золота редко превышает 3 долл. на тонну. В группу Main Reef мощностью около 90' входят несколько более или менее непрерывных пластов конгломерата. Положение, занимаемое Main Reef по отношению к выше залегающим пластам, можно видеть из рис. 17.

Группа Main Reef обычно подразделяется (сверху вниз) следующим образом:

South Reef (южный риф)	3'
Bastard Reef (разбросанная галька и кварцит)	20—40'
Main Reef Leader	2'
Кварцит	2—20'
Main Reef	4'

Из них наиболее продуктивен Main Reef Leader. Галька в конгломерате мелкая диаметром, в среднем, 2 дюйма; она состоит из хорошо окатанных обломков стекловидного кварца; в меньшем количестве встречаются гальки более угловатого кварцита, дымчатого кварца и плотного сланца.

Галька лежит на песчанике, сцепментированном кремнеземом. Изобилиуют пирит (в цементе), составляя около 3% всей породы, в виде конкреций, замещающих кварц, и в форме кристаллов, представляющих две последовательные генерации. Другими новообразовавшимися минералами являются хлоритоид<sup>51</sup>, серицит, кальцит и графит. Золото в гальках от-

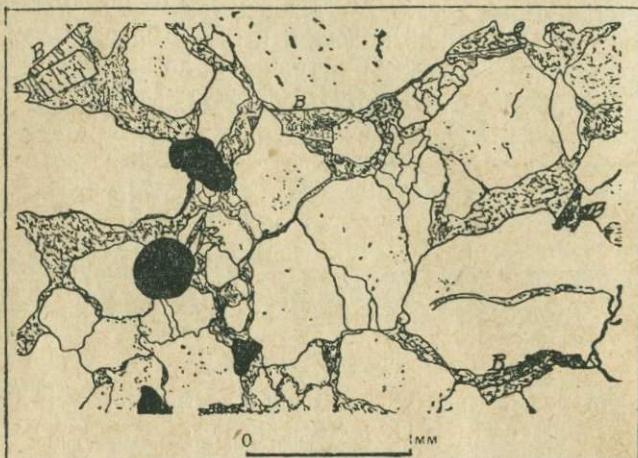


Рис. 16. Золотоносный конгломерат, Johannesburg (Южная Африка). Кварцевая галька, местами раздробленная.

Цементирующее вещество—серицит, кварц и незначительное количество хлорита. Черный цвет—конкремции пирита, замещающие основную массу и кварц. В—призмы хлоритоида (по J. D. McKenzie).

существует и связано с цементирующим веществом, образуя мельчайшие угловатые кристаллические агрегаты и реже округленные частицы. Оно обычно тесно связано с пиритом, в виде вкрапленности в него или поверхностного налета на зернах, составляющих пиритовые агрегаты. Видимое золото отсутствует.

Несмотря на то, что дискуссия относительно генезиса этих знаменных месторождений идет уже давно, мнения геологов расходятся. Очевидно при рассмотрении этой проблемы нельзя ограничиваться месторождениями Johannesburga, а необходимо учитывать геологические соотношения Трансваала и Африки в целом.

Первое предположение, что этот конгломерат можно просто классифицировать, как аллювиальную или литоральную россыпь, опровергается характером золота и его тесной связью с пиритом.

Обломочный пирит, безусловно, может встречаться в россыпях, но вместе с ним всегда должны присутствовать магнетит и ильменит. Их отсутствие является сильным аргументом против теории непосредственного отложения из россыпи. Ясно, что, если это и является россыпным месторождением то, во всяком случае, имела место сильная перекристаллизация и миграция элементов. Однаково неприемлема и гипотеза

F. W. Voit<sup>52</sup>, предполагающего, что золото вынесено на поверхность горячими ключами, стекавшими в океан.

Сторонники теории россыпи, среди которых мы видим G. F. Becker, J. W. Gregory, G. A. Denny, R. B. Young и E. T. Mellor, вынуждены признать факт перекристаллизации золота и превращения магнетита и ильменита в пирит.

Многие геологи и инженеры, которым теория россыпи представляется невероятной, считают эти месторождения эпигенетическими, и что золото и пирит были введены путем инфильтрации, имевшей место после осадочного отложения, возможно даже позже интрузии диабазовых дайков. Это мнение разделяют H. Louis, J. H. Hammond, R. Beck, F. H. Hatch, G. S. Corstorphine и R. B. Horwood.

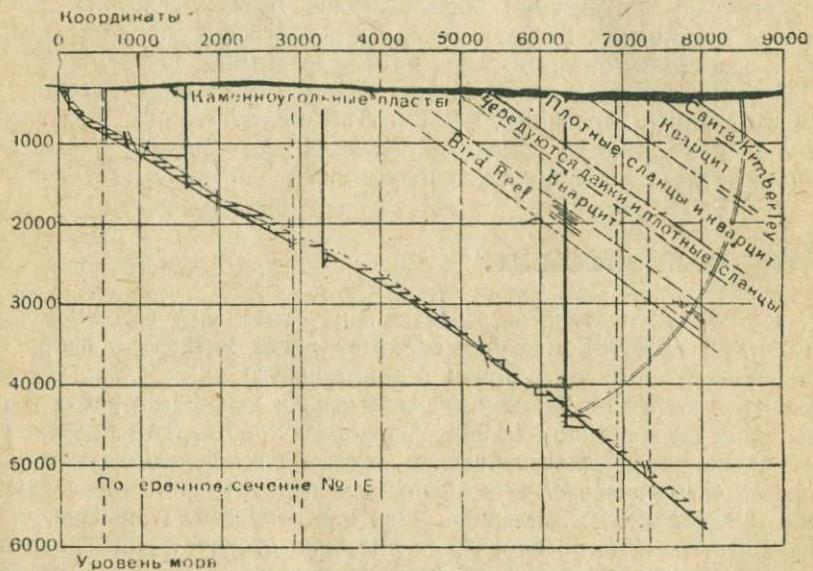


Рис. 17. Разрез через Village Deep, шахта № 3 (по Н. Ф. Marriot),

Небольшие неправильные кварцевые жилы, местами содержащие некоторое количество золота и сульфидов, пересекают свиту Witwatersrand. Вопрос относительно того, имеется ли обогащение вдоль немногочисленных диабазовых даек, является спорным. Эти кварцевые жилы безусловно связаны с дайками.

Не так давно E. T. Mellor подошел к вопросу с более широкой геологической точки зрения: в его труде мы находим весьма убедительную аргументацию в пользу первоначального отложения золота в аллювиальных гравиях. Он считает, что свиты кварцита и конгломерата являются скорее отложениями в обширной дельте, чем береговыми россыпями, причем указывает на наличие многих горизонтов золотоносных конгломератов.

Против теории инфильтрации также можно выставить сильные аргументы: 1) отсутствие протоков, по которым могли бы следовать растворы; 2) равномерное распределение в конгломерате золота; часто оно концентрируется в его нижних слоях; 3) золото встречается практически только в конгломератах, несмотря на то, что кварцит не менее проницаем;

4) конгломераты отлагались на аллювиальной равнине, граничащей с размытыми сланцами Swaziland с их чечевицеобразными золотоносными кварцевыми жилами и поэтому непременно содержали бы некоторое количество золота.

Мелкое чешуйчатое золото выкристаллизовалось бы и было бы сдавлено между вторичными нарастаниями зерен кварца. Первоначальный черный шлих под действием метеорных вод выкристаллизовался бы в пирит в осадках, содержащих сульфаты и органические вещества. До сих пор еще не полностью выясненный вопрос заключается в ненормально высоком содержании золота в конгломератах и обширности распространения последних. Однако не следует забывать, что в значительных площадях конгломерата золото почти отсутствует. В качестве аналогии приводят прибрежные россыпи Nome (Аляска), но эта аналогия далеко не совершенна. Без сомнения, в дельтовой россыпи близ береговой линии следовало бы ожидать самое мелкое дегритовое золото.

Подобного же рода конгломераты значительной геологической древности мы видим в Западной Африке в Tarkwa и Abosso<sup>53</sup>; они эксплуатируются в довольно широком масштабе. Вместо пирита в них содержатся магнетит и ильменит с хлоритоидом.

## ПЛАТИНОВЫЕ РОССЫПИ<sup>54</sup>

Известно, что платина встречается в качестве первичного компонента перидотитов; имеются описания образцов этого металла в прорастании с оливином и хромитом. Почти вся имеющаяся в мире платина добывается из россыпей; 95% мировой добычи шли раньше из россыпей, расположенных на восточном склоне Уральского хребта, где рассыпную платину находят в устланных гравием руслах рек, берущих свое начало в определенных палеозойских интрузиях перидотита и пироксена, частично измененных до змеевиков. Платине сопутствуют иридий, иридий, хромит, часто также золото. Сырая платина образует маленькие округлые зерна, редко самородки весом до 20 фунтов. Проба ее (на тысячу) колеблется между 750 и 850, остальное — железо, медь и различные металлы платиновой группы, преимущественно иридий. Россыпи частично разрабатываются с помощью драг.

Платиноносные россыпи имеются также в районе Choco (Колумбия, в Южной Америке)<sup>55</sup> в третичных конгломератах, и добыча там в связи с введением драг в настоящее время растет. В США металл встречается в незначительных количествах вместе с золотом почти во всех золотоносных районах северной и средней Калифорнии, а также в юго-западной части штата Oregon, где залегают змеевики и перидотиты. По имеющимся сведениям в 1925 г. в США было добыто 251 унция платины, преимущественно из черных шлихов драг<sup>56</sup>. Платину находят также в прибрежных песках юго-западной части штата Oregon вместе с большим или меньшим количеством золота; обычно извлекается и небольшое количество последнего. Район Tulameen, в британской Колумбии, также раньше доставлял некоторое количество платины. До войны нормальная мировая добыча платины равнялась 300 000 унциям (трой), теперь она весьма значительно снизилась (75 000 унций в 1925 г.).

Не менее 25 000 унций было добыто в СССР, остальные 46 000 унций в Колумбии. Относительно платины и палладия в жильных месторожде-

ниях, залегающих в перидотите, говорится в главе о гипотермальных месторождениях. Там же читатель найдет сведения относительно употребления платины. В течение долгого времени платина расценивалась ниже золота; затем цена на нее постепенно возросла до 20 долл. за унцию, пока не достигла в 1911 г. 45 долл. В 1925 г. благодаря все уменьшающемуся предложению цены возросли до 120 долл. и в 1927 г. вновь снизились до 60 долл., вероятно, ввиду растущей добычи в СССР. Сырая платина с содержанием от 70 до 85% Pt продается по цене от 30 до 60 долл. за унцию.

Начиная с 1914 г.<sup>57</sup>, в Тасмании ведется эксплоатация россыпей, дающих осмистый иридий в количестве нескольких тысяч унций в год. Эти россыпи приурочены к перидотитам и змеевикам.

## РОССЫПИ КАССИТЕРИТА<sup>58</sup>

Первичный кассiterит ( $\text{SnO}_2$ ) содержится в гранитах, пегматитовых дайках, или кварцевых жилах. Из этих источников он может выделяться под действием выветривания и разрушения пород; в силу своего высокого удельного веса кассiterит легко концентрируется в различного типа россыпях. Из сопровождающих минералов следует упомянуть турмалин, топаз и вольфрамит. По имеющимся сведениям в Нигерии и Австралии вместе с касситеритом находят зерна металлического олова. В Mount Bischoff (Тасмания) многочисленны элювиальные месторождения, расположенные непосредственно ниже коренных выходов месторождений касситерита, на которых ведется широкая эксплоатация. В 1905 г. близ Daffney (Южная Каролина) эксплоатировалось небольшое месторождение этого же типа, залегающее в неглубокой россыпи непосредственно ниже выхода пегматитовой дайки.

Россыпное аллювиальное олово было впервые добыто из россыпей, расположенных ниже оловоносных жил в Erzgebirge (Саксония) и в Cornwall; в настоящее время оба эти месторождения выработаны. Около 70% всей мировой добычи олова (около 146 000 т в 1925 г.) до сих пор получается из аллювиальных россыпей, преимущественно на Малайском полуострове и островах Banka и Billiton (лежащих недалеко от Суматры), в Нигерии и Китае. Малайский полуостров дает 60% всей мировой добычи из россыпей, содержащих в среднем 0,5 фунта касситерита на куб. ярд (0,6 кг на 1 метрическую т). Менее значительное количество доставляют Новый Южный Уэлс и Виктория. В последнем штате некоторое количество касситерита добывается при разработке золотоносных русловых россыпей, приуроченных к плиоцену. Первичным источником оловоносности являются включения касситерита в граните. В руднике Briseis (Тасмания) эксплоатируемое месторождение представляет от 14 до 45 футов речного аллювия, покрываемого разрушенным базальтом мощностью от 20 до 40'; содержание касситерита от 2 до 4 фунт. на куб. ярд.

В США небольшое количество аллювиального олова добывается на Аляске, близ крайней восточной точки континента Америки, в Black Hills (Южная Дакота) и в Северной и Южной Каролине.

Цена олова от 25 до 90 центов за фунт, а так как известно, что легко восстановимый касситерит содержит около 78,6% этого металла, то ясно, что даже в том случае, если содержание в россыпи касситерита не превышает 0,5 фунт. на куб. ярд, эксплоатация все же выгодна. На

Малайском полуострове разработка россыпей ведется промывкой в шлюзах, драгированием и гидравлическими способами.

## РОССЫПИ МОНАЦИТА<sup>59</sup>

Монацит (безводный фосфорнокислый церий, лантан и другие металлы цериевой группы) обычно содержит также от 3 до 8% тория, что делает этот минерал ценным для производства азотнокислого тория, используемого промышленностью для изготовления калильных газовых колпачков.

Минерал обладает уд. весом 5,203 и смолистым блеском; он желтого или бурого цвета. В россыпях встречается вместе с золотом, цирконом, магнетитом, ильменитом, гранатом и другими после промывки на шлюзах. Его очищают от минералов — спутников при помощи магнитной сепарации; чистота окончательного продукта около 90%. Источником монацита являются граниты, гнейсы и пегматиты, в которых он присутствует в качестве первичного минерала. Ввиду высокой стоимости (около 8 центов за фунт), которая колеблется в зависимости от содержания тория, месторождения монацита в некоторых местах можно выгодно эксплоатировать, в особенности, если в них присутствует еще и золото, что бывает не редко. В настоящее время монацит добывается из морских и речных россыпей в Бразилии и Индии, а также в Северной и Южной Каролине. Встречается он также и в Idaho, где большой интрузивный батолит гранита, или кварц-монцонита, очевидно содержит этот минерал. Наиболее значительное месторождение монацита в Idaho находится в районе старых россыпей Idaho Basin. В 1910 г. в США добыто около 100 000 фунт. монацита, преимущественно из россыпей штата Каролины. Общая стоимость добычи равнялась 12 000 долл. После 1910 г. добыча в США прекратилась, и весь требуемый минерал стал поступать из обширных Бразильских месторождений.

## ПРОЧИЕ РОССЫПИ

Магнетит или «черный шлих» не раз уже упоминался в настоящем труде, как продукт концентрации в аллювиальных песках; он обычно происходит из разрушенных изверженных пород, образуя значительные скопления на морских берегах или в мелководьях рек, как это видим, например, в низовьях р. St. Lawrence в Канаде и вдоль р. Columbia, в Oregon, но эти месторождения эксплоатируются лишь в исключительных случаях<sup>60</sup>. Обычно с магнетитом содержится некоторое количество ильменита.

Имеется несколько примеров элювиальных месторождений железной руды (магнетита, лимонита или гематита), образовавшихся в связи с выходами на дневную поверхность месторождений железа, а также и в виде осыпей на склонах древних формаций. В Iron Mountain (Missouri)<sup>61</sup> палеозойские породы покрывают валунные железные руды и порфиры, которые, в свою очередь, налегают на докембрийские порфиры. Порфир также содержит месторождения гематита (рис. 18).

Местами встречаются подобного же рода элювиальные массивы медных и свинцовых руд. Упомянем большой массив скоплений обломочного халькозина под выходами на поверхность рудника Bonanza<sup>62</sup> в области Copper River (Аляска), и пласти галенита на склонах ниже рудника Wood River (Idaho)<sup>63</sup>.

Некоторые россыпи содержат драгоценные камни.

Полагают, что алмазы содержатся в качестве первичного минерала в перидотитах и других породах. Алмазные россыпи эксплуатируются в Бразилии, Индии, Бельгийском Конго и Южной Африке. В Южной Африке прекрасные камни находят в аллювиальных отложениях р. Vaal; не так давно мелкие алмазы стали вымывать из прибрежных песков Lüderitz Bay (немецкая западная Африка). В некоторых россыпях находят сапфиры, реже рубины (и тот и другой камень являются разновидностью корунда). На р. Миссури, близ Helena (Монтана) <sup>64</sup>, одна отмель в течение нескольких лет разрабатывалась на сапфиры. Россыпь была весьма богатая, но большинство камней имело желтоватую или бледно-голубую окраску.

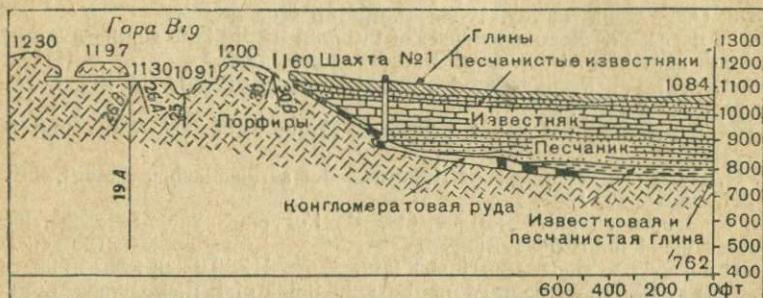


Рис. 18. Разрез Iron Mountain, Missouri, иллюстрирующий способ разработки валунных руд под толщей палеозойских известняков и песчаников (по G. W. Crane).

1. E. E. Burchard. Requirements of sand and limestone for glass-making „Bull. 285 U. S. Geol. Survey“, 1906, pp. 473—475.

2. R. M. Weygel. Technology and uses of silica and sand „Bull. 266 Bureau of Mines“, 1927.

3. L. Heber Cole. The occurrence and testing of foundry molding sands. „Trans“. Canadian Min. Inst., 20, 1917, pp. 265—291.

4. R. B. Ladoo. The non-metallic minerals. New-York, 1925, pp. 3—13.

5. L. S. Griswold. Whetstones and the novaculites of Arkansas. „Ann. Rept. Arkansas Coel. Survey“ 3, 1890.

6. J. S. Mc. Dowell. A study of the silica refractories. „Trans“. Am. Inst. Min. & Met. Engs., 57, 1918, pp. 3—61.

7. D. W. Ross. Silica refractories. „Tech. paper“ 116, U. S. Bureau of Standards, 1919.

8. Подробности относительно глиняной промышленности читатель найдет в труде H. Ries. Clays. New-York, 1908; также „Building stones and clay products“, New-York, 1912. Сведения о продукции и пр., даются в „Mineral resources of the united states“, ежегодное издание сначала Coel. Survey, впоследствии—Bureau of Mines.

9. G. P. Merrill. Rocks, rock weathering, and soils. New-York, 1897, p. 135.

10. J. T. Porter. Properties and tests of fuller's earth, „Bull. 315“, U. S. Geol. Survey, 1907, pp. 268—290.

11. T. W. Vaughan. Fuller's earth of Florida and Georgia. „Bull.“ 213“, U. S. Geol. Survey, 1903, pp. 392—399.

12. „Mineral resources“ U. S. Geol. Survey, Annual publication. Статьи F. B. Van Horn и J. Middleton.

13. Charles L. Parsons. Fuller's earth. Bureau of Mines, „Bull.“ 71, 1913.

14. E. H. Sellards and H. Gunter. „Second ann. rept.“, Florida Coel. Survey, 1908—1909, pp. 255—290.

15. T. P. Maynard and L. C. Mallory. Commercial preparation and use of fuller's earth. „Chem. and met eng“. 26, June 7, 1922.

- <sup>9</sup> H. S. Spence. Bentonite. „Rept“ 626, Canada Dept. Mines, Mines Branch, 1924.
- <sup>10</sup> C. S. Ross and E. V. Shannop. The minerals of bentonite and related clays and their physical properties. „Jour. Am. Ceramic Soc.“, 9, 1926, pp. 79—95.
- <sup>11</sup> Происхождение этого слова не совсем ясно: *placer* означает удовольствие; *peaza* — место. Stelzner (Die Erzlagerstätten) говорит, что „*placer*“ — это местное испанское название для песчаных отмелей. Немцы употребляют слово „*Seife*“, означающее место промывки. Часто употребляется и французское слово — „*alluvions*“.
- <sup>12</sup> Genesis of ore deposits. 1902, p. 163.
- <sup>13</sup> „Idem“, p. 162.
- <sup>14</sup> W. B. Devereux. „Trans Am. Inst. Min. Eng.“, 10, 1882, pp. 465—475.
- <sup>15</sup> J. Irving. Economic resources of the northern Black Hills. „Prof. paper“ 26 U. S. Geol. Survey, 1904, pp. 98—111.
- <sup>16</sup> J. M. MacLaren. Cold. London, 1908, p. 90.
- <sup>17</sup> A. H. Brooks. The gold placers of parts of Seward Peninsula, Alaska. „Bull.“ 328, U. S. Geol. Survey, 1908, pp. 108 et seq.
- <sup>18</sup> G. F. Becker. Reconnaissances of the gold fields of the southern Appalachians, Twenty-sixth ann. Rept. U. S. Geol. Survey, pt. 2, 1895.
- <sup>19</sup> O. A. Derby. Peculiar modes of occurrence of gold in Brazil. „Am. Jour. Sci.“, 3d ser., 28, 1884, p. 440.
- O. Derby. Notes on Brazilian gold ores. „Trans“, Am. Inst. Min. Eng. 33, 1892, pp. 282—283.
- <sup>20</sup> C. G. Dubois. Beiträge zur Kenntniss der surinamischen Laterit, etc. „Tsch. min. u. petr. mitt.“ 22, 1903.
- E. de Levat. Guide pratique etc. da l'or en Guyane française, Paris 1898.
- См. также „Mineral industrie“ 7, 1899.
- A. Bordeaux. „Trans. Am. Inst.“ Min. Eng. 41, 1910, pp. 567—593.
- J. B. Harrison. The geology of the gold fields of British Guiana, London, 1908.
- J. B. Harrison. In the Reports of the Institute of Mines, British Guiana.
- E. E. Lungwitz. Die Goldseifen von British Guiana. „Zeitschr. prakt. geol.“, 1900, pp. 203—218.
- <sup>21</sup> H. C. Hoover. The superficial alteration of Western Australian ore deposits. „Trans. Am. Inst. Min. Eng.“ 28, 1898, pp. 762—763.
- <sup>22</sup> T. A. Rickard. The alluvial deposits of Western Australia. Idem., pp. 480—537.
- <sup>23</sup> G. K. Gilbert. Hydraulic-mining débris in the Sierra Nevada. „Prof. paper“ 105, U. S. Geol. Survey, 1917. Report to the legislature of the hydraulic mining commission on the resumption of hydraulic mining in California. Sacramento, 1927, pp. 85.
- <sup>24</sup> J. M. Hill. Gold of the Snake River. „Bull. 620. U. S. Geol. Survey“ 1916, pp. 271—294.
- <sup>25</sup> A. J. Collier. „Bull. 315 U. S. Geol. Survey“ 1907, p. 61.
- <sup>26</sup> P. Posepny. Genesis of ore deposits. New-York 1902, p. 154.
- <sup>27</sup> T. A. Rickard. „Min. and sci. press“, Aug. 15, 1938.
- <sup>28</sup> См. также A. H. Brooks. The gold placers of parts of Seward Peninsula. Alaska, „Bull. 328 U. S. Geol. Survey“, 1908, p. 115.
- <sup>29</sup> A. J. Collier and F. L. Hess. „Bull. 328 U. S. Geol. Survey“, 1908, pp. 140—228.
- <sup>30</sup> L. M. Prindle. The Fairbanks and Rampart quadrangles. „Bull. 337 U. S. Geol. Survey“, 1908.
- <sup>31</sup> W. Lindgren. „Min. Mag.“ 2, 1905, p. 33.
- W. Lindgren. „Eng. and Min. Jour.“, Feb. 16, 1905.
- H. L. Wilkinson. „Trans. Inst. Min. and Met.“, London, 1907, p. 9.
- Stanley Hunter. „Mem. 7, Geol. Survey Victoria“, 1909.
- <sup>32</sup> W. Lindgren. The Tertiary gravels of the Sierra Nevada. „Prof. Paper“ 73, U. S. Geol. Survey, 1911.
- <sup>33</sup> R. G. Mc. Connell. Klondike gold fields. „Ann. Rept. Geol. Survey Canada“ 14, 1901.
- R. G. Mc. Connell. Report on gold values in the Klondike high-level gravels. „Ann. Rept. Geol. Survey Canada“ 1907.
- <sup>34</sup> В некоторых из россыпей близ Cherolque (Боливия) находят в изобилии совершенно круглые и слаженные самородки висмута. Некоторые из них достигают размеров 1 дюйма.
- <sup>35</sup> J. Park. Mining geology. London, 1907, p. 18.
- <sup>36</sup> W. B. Devereux. The occurrence of gold in the Potsdam formation. „Trans Am. Inst. Min. Eng.“, 1882, pp. 465—475.

- Ross E. Browne. Colorado placer gold. „Eng. And. Min. Jour.“ 59, 1895, pp. 101 — 102.
- W. Lindgren. The-gold belt of the Blue Mountains of Oregon. „Twenty-second Ann. Rept. U. S. Geol. Survey“, pt. 2, 1901, p. 637. См. также „Prof. Paper“ 73, U. S. Geol. Survey, 1911.
- R. G. Mc Connell. Report on gold values in the Klondike high-level gravels, Geol. Survey Canada, 1907, p. 979.
- <sup>37</sup> J. B. Turrell. The law of the pay streak in placer deposits. „Trans. Inst. of Min. and Met., London, May 16, 1912; „Min. And Sci. Press“, June 1, 1912.
- <sup>38</sup> Из старинной литературы, см. руководства F. Stelzner, Bergeat and Beck. Подробнее у Liversidge „Jour. Roy. Soc. N. S. W.“ 27, 1893, p. 343; 331, 1897, p. 79; 40, 1906, p. 161.
- <sup>39</sup> J. M. MacLaren. Gold. London 1908, pp. 80—86.
- <sup>40</sup> The role of colloidal solutions in the formation of mineral deposits. „Trans. Inst. Min. and Met.“, London 1924, p. 205.
- <sup>41</sup> R. G. Mc Connell. „Ann. Rept. Geol. Survey Canada“ 14, 1901, p. 64-B.
- <sup>42</sup> H. A. Gordon. „Trans. Am. Inst. Min. Eng.“ 25, 1895, p. 294.
- <sup>43</sup> J. M. MacLaren. „Op. cit.“, p. 83.
- <sup>44</sup> J. B. Harrison. Geology of the gold fields of British guiana. London 1908, p. 209.
- <sup>45</sup> W. H. Emmons, Enrichment of ore deposits. „Bull. 625 U. S. Geol. Survey“ 1917, p. 305.
- <sup>46</sup> W. Lindgren. The mining districts of Idaho Basin and the Boise Ridge. „Eighteenth Ann. Rept. U. S. Geol. Survey“ pt. 3, 1898, pp. 617—744.
- <sup>47</sup> Начиная с 1910 г. наблюдается снижение; в этом году Алиска и Юкон дали 20 000 000 долл. Калифорния 9 000 000 и Виктория 2 000 000 долл.
- <sup>48</sup> F. J. H. Merrill. „Min. And Sol. Press“, July 13, 1912.
- <sup>49</sup> G. F. Becker. The Witwatersrand Banket, etc. „Eighteenth Ann. Rept. U. S. Geol. Survey“, pt. 5, 1896.
- F. H. Hatch and G. S. Corstorphine. The Geology of South Africa, London 1905.
- J. W. Gregory. The origin of the gold in the Rand Banket. „Trans. Inst. Min. and Met.“, London, 17, October, 1907. Так же „Econ. geol.“, 4, 1909, pp. 118—129. Дискуссия там же, G. F. Becker and G. A. Denny.
- R. B. Young. The Band Banket, London, 1917, pp. 125.
- См. также описание R. Beck „Erzlagerstätten“, 2, 1909, pp. 183—200.
- C. B. Horwood. The Rand Banket. „Min. and sci. press“, Oct. Dec., 1913. Также „Gold Deposits of the Rand“, 1917.
- E. T. Mellor. The upper Witwatersrand System; the East Rand. „Trans. Geol. Soc. S. A.“ 18, 1915, pp. 11—71.
- E. T. Mellor. The conglomerates of the Witwatersrand with discussion. „Trans. Inst. and Met. Min.“, London, 25, 1916, pp. 226—318.
- Hugh F. Marriott. Mining on the Rand. „Trans. Inst. Min. and Met.“, London, 27, 1918; „Min. and sci. press“, July 20, 1918.
- A. L. du Toit. The Geology of South Africa, London, 1926.
- <sup>50</sup> В 1921, The Village Deep достигнута глубина 6 100 по вертикали и глубина по падению 1 050, следует ожидать, что глубина Village Deep скоро достигнет 7 000'.
- <sup>51</sup> Распространен бесцветный призматический минерал, обычно называемый хлоритоидом (рис. 16), но его пока еще не удалось отождествить.
- <sup>52</sup> F. W. Voit. Der Ursprung des Goldes in den Randconglomeraten, „Monatsber. Deutsch. geol. Gesell“ 60, Nos 5 und 7, 1908.
- <sup>53</sup> Edward Halse. „Trans. Fed. Inst. Min. Eng.“ 2, 1891, p. 69.
- R. Beck. Erzlagerstätten, 2, 1909, p. 200.
- <sup>54</sup> J. F. Kemp. Geological relations and distribution of platinum and associated metall. „Bull. 193 U. S. Geol. Survey“ 1902.
- Louis Duparc. Le platine et les gîtes platinifères de l'Oural. Genève, 1920.
- C. W. Purington. The platinum deposits of the Tura River System, Ural mountains. „Trans. Am. Inst. Min. Eng.“ 29, 1899, pp. 3—16.
- D. T. Day, W. Lindgren and J. M. Hill, в отдельных выпусках „Mineral Resources“ U. S. Geol. Survey.
- W. L. Uglow. The geology of platinum deposits, „Eng. And. Min. Jour. Press“, Aug.-Sept., 1919.
- <sup>55</sup> „Mining Mag. London“ 33, 1925, p. 135.
- <sup>56</sup> J. M. Hill. Platinum, „Mineral Resources“, U. S. Geol. Survey, pt. 1, 1917, и последующие годы.

James W. Neil. Recovery of platinum in gold dredging, „MIN. AND SCI Press“, Dec. 8, 1917.

57 A. Mc. Intosh Reid. Osmiridium in Tasmania. „Bull. 32 Geol. Surv. Tasmania“ 1921.

58 H. W. Kayser and R. Provis. The Mt. Bischoff tin mine. „Proc. Inst. C. E.“ (London), 123, 1996, pp. 377—387.

O. H. Van der Wyck. The occurrence of tin ore in the islands of Banca and Billiton, „Seventeenth Ann. Rept. U. S. Geol. Survey“ 1896, pt. 3, pp. 227—242. „Year Book Federated Malay States“.

L. C. Graton. Reconnaissance of some gold and tin deposits of the southern Appalachians. „Bull. 293 U. S. Geol. Survey“ 1906.

T. L. Hess and J. W. Furness. U. S. Geol. Survey and Bureau of Mines в целом ряде лет.

W. R. Jones. Tinfields of the world, London 1925.

59 J. H. Pratt and D. B. Sterrett Monazite and monazite mining in the Carolines. „Trans. Am. Inst. Min. Eng.“ 40, 1909, pp. 488—511.

D. B. Sterrett. „Mineral Resources U. S. Geol. Survey“ 1906, pp. 1195—1209.

W. T. Schaller, Idem, pt. 2, 1916, pp. 223—237.

60 Магнетитовые пески Японии, видимо, довольно широко использованы; также и магнетитовые пески, встречающиеся на побережье Новой Зеландии.

61 G. W. Crane. The iron ores of Missouri., Geol. Survey Mo., 2d ser., 10, 1912, pp. 107—145.

62 F. H. Moffit and S. R. Capps. „Bull. 448 U. S. Geol. Survey“ 1911, p. 89.

63 W. Lindgren. „Twentieth Ann. Rept. U. S. Geol. Survey“ pt. 3, 1900, p. 210.

64 D. B. Sterrett, „Mineral Resources U. S. Geol. Survey“ pt. 2, 1910, p. 877.

## Глава II

# МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ОБРАЗОВАВШИЕСЯ ХИМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ КОНЦЕНТРАЦИИ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ

## ИЗМЕНЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ОСАЖДЕНИЯ

Для понимания химических процессов изменения и превращения изверженных пород в осадки особенно необходимо изучить отложения илистых осадков, представляющих около 95% осадочного покрова.

Для этой цели в таблице (стр. 38) сопоставляются анализы среднего состава (в процентах) всех изверженных пород, ила из дельты Миссисипи и синего и зеленого «терригеновых» морских илов. Анализы эти являются довольно убедительной иллюстрацией, так как каждая гравя составлена по большому количеству образцов. Интересно провести их подробное сравнение. За охлаждением изверженных пород следуют разложение, выветривание, эрозия и осаждения, т. е. все процессы, в конечном счете сводящиеся к растворению и механическому перемещению. Компоненты материнской изверженной породы остаются в анализах 2-й и 3-й граф, но, конечно, в большей или меньшей степени они выщелочены и удалены.

При сравнении анализа 1-й графы с анализом 2-й прежде всего бросается в глаза повышенное содержание в последней  $\text{SiO}_2$ , что свидетельствует преимущественно о механической концентрации кварца. Увеличивается также количество хлора, фтора и серы и если бы случайно такие осадки были ассимилированы магмой, в последней не было бы недостатка в минерализаторах. Интересно увеличение количества бария, так как этого трудно было ожидать; потери ванадия и никеля незначительны.

Среди потерь особенное внимание привлекают потери всех обычных пордообразующих оснований.

Наблюдается относительная потеря окиси магния и кальция в количестве до 57% по сравнению с количествами, содержащимися в первоначальной породе. Потери натрия 61%, т. е. больше, чем какого-либо другого компонента; потеря калия всего 27%. Наблюдается потеря почти всех редких металлов, но эту потерю, конечно, не имеет смысла выражать в процентах.

Сопоставление данных 1-й и 3-й граф выявляет увеличение содержания глинозема и воды, что, конечно, и следовало ожидать, но можно наблюдать также и определенное увеличение количества железных окислов и серы (фтор и хлор не определялись). Хром остается почти постоянным; заметно увеличивается содержание ванадия, никеля, бария, стронция, меди

Сравнительные результаты в процессе осаждения

	1	2	3
SiO <sub>2</sub> . . . . .	59,12	69,96	57,05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	15,34	10,52	17,22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	3,08	3,47	5,07
FeO . . . . .	3,80	—	2,30
MgO . . . . .	3,49	1,41	2,17
CaO . . . . .	5,08	2,17	2,04
Na <sub>2</sub> O . . . . .	3,84	1,51	1,05
K <sub>2</sub> O . . . . .	3,13	2,30	—
H <sub>2</sub> O . . . . .	1,15	{ 3,78 1,96+	{ 2,25 7,17
CO <sub>2</sub> . . . . .	0,102	1,40	—
TiO <sub>2</sub> . . . . .	1,050	0,59	1,27
ZrO <sub>2</sub> . . . . .	0,039	0,05	—
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,299	0,18	0,21
Ce . . . . .	0,048	0,30	—
F . . . . .	0,030	0,07	—
S . . . . .	0,052	0,07	1,13
SO <sub>3</sub> . . . . .	—	0,03	—
(Ce, Y) <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,020	—	—
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,055	0,01	0,05
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,026	0,02	0,03
MnO . . . . .	0,124	0,06	0,12
NiO . . . . .	0,025	0,017	0,063
BaO . . . . .	0,055	0,08	0,06
SnO . . . . .	0,022	Следы	0,03
Li <sub>2</sub> O . . . . .	0,007	—	—
Cu . . . . .	0,010	0,0043	0,0120
Zn . . . . .	0,004	0,0010	0,0053
Pb . . . . .	0,002	0,0002	0,0004
(As <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) . . . . .	—	0,004	Следы
Органические вещества	—	0,66	—
Углерод . . . . .	—	—	1,69
Всего . . . . .	100,000	100,6229	99,9907

1—средний состав изверженных пород. Clarke and Washington, 1922.

2—ильты Миссисипи, 235 проб. Аналитик Geo Steiger; Clarke „Geochemistry“ 1920, р. 501.

3—морские терригеновые глины 52 пробы. Аналитик Geo Steiger; Clarke „Geochemistry“ 1920, р. 510.

и цинка,— содержание свинца понижается. Эти данные интересны в связи с биологическими процессами, о которых речь ниже. Потери окиси магния, извести и щелочей приблизительно те же, что и в илах, причем потеря калия менее значительна, чем потеря натрия.

Можно возразить, что эти анализы не представляют результата непосредственного изменения изверженных пород в ил и глину ввиду того, что материал, представленный графиками 2-й и 3-й, без сомнения, в значительной мере имеет своим источником осадочные породы, но этот факт не уменьшает их ценности для цели сравнения и лишь подчеркивает сильные изменения их последовательными осадочными циклами. Из пересчета,

сделанного Leith и Mead<sup>1</sup> можно видеть, что во многих случаях эти сопоставления довольно точно отражают фактические повышения и понижения содержания различных компонентов. Вышеупомянутые исследователи совершенно правильно указывают, что в течение процессов образования осадочных пород значительно увеличивается содержание воды, CO<sub>2</sub>, кислорода и других компонентов, имеющих своим источником атмосферу и гидросферу. В результате 100 г изверженной породы дает 114 г окончательных продуктов, состоящих приблизительно из 87,8 г глинистого сланца, 12,9 г песчаника, 6,7 г известняка и 6,6 г океанских солей.

Таким образом, общий вес осадков, имеющих своим источником изверженную породу, равняется 107,4 г. Другими словами, из 100 г осадочных пород 97 г идет в осадки, а остальные 3 г в морские соли.

**Биохимические процессы.** В концентрации некоторых элементов играет значительную роль жизнедеятельность растения и животных. Биохимические процессы обусловливают концентрацию некоторых элементов. Они также обусловливают некоторую долю рассеивания элементов. После смерти живого существа рассеивание является правилом, при том условии, что ему не противодействуют другие процессы. Живые организмы вбирают в себя нужные для их жизнедеятельности элементы и после смерти они отдают их в ту среду, в которой они живут.

В концентрации мы часто наблюдаем последовательные стадии. В морской воде голубовато-зеленые водоросли концентрируют фосфор, некоторые моллюски или ракообразные питаются водорослями и в свою очередь пожираются плотоядными моллюсками. Мелкие рыбы питаются моллюсками, крупные рыбы — мелкими, наконец, котики, моржи, тюлени и пр., а также и птицы поедают рыб и, таким образом, пройдя через шесть стадий, первоначально содержащийся в морской воде фосфор отлагается, наконец, на каком-нибудь пустынном острове в виде «гуано» или же скопления костей морских позвоночных.

Растения непрерывно впитывают из атмосферы углерод. Этот углерод возвращается при гниении или, будучи защищенным покровом пород, сохраняется на определенные периоды времени, пока, прия в соприкоснение с воздухом, как, например, каменноугольный пласт, не будет медленно окисляться или, будучи зажжен, не будет сгорать, или же, наконец, при содействии человека, сжигающего уголь, не вернет углерод в атмосферу. В растениях скапливаются также калий, фосфор, азот, кремнезем и углекислый кальций; их хлорофил требует железа и магния. Содержащиеся в водорослях углекислый кальций и кремнезем диатомов могут образовать значительные залежи. Исследование залежи растений дает нам ключ к пониманию многих из этих сложных процессов. Возьмем, например, морские водоросли; в их золе установлено присутствие калия, иода, никеля, кобальта, бария и стронция и даже меди, цинка и бора, а концентрация иода имеет иногда экономическое значение. Откуда попали сюда иод и бор? Без сомнения, они выделились из магм в процессе излияния или выхода газов и других видов магматической деятельности и попали в раствор морских вод.

W. Lindgren предполагает, что в органическом цикле играют некоторую роль молибден, хром и селен, в участии же ванадия и урана он вполне уверен, о чем и будет в дальнейшем упомянуто.

В концентрации некоторых видов отложений имеют значение даже самые низшие формы растительной жизни, как, например, бактерии железа и марганца без сомнения обусловили своей жизнедеятельностью

образования некоторых залежей болотных руд, бактерии серы, по мнению некоторых ученых, активно способствовали образованию залежей серы.

Не менее значительная роль принадлежит и животным, в особенности морским. Животные, живущие на суше, вероятно, вернут свою материю воздуху и почве, тогда как в море более или менее непрерывное накопление осадков может покрыть и сохранить их останки. Возьмем пример бария и стронция, первоначально содержащихся в изверженных породах, причем в некоторых видах даже в очень большом количестве, и несомненно выделяющиеся из магмы в виде газовых испарений. С суши растворы непрерывно приносят эти элементы в море. Их присутствие в морской воде бесспорно установлено. Выше указано, что в илах барий и стронций действительно присутствуют в большем количестве, чем в изверженных породах. Соответственно, большинство наших месторождений сульфатов и карбонатов этих металлов залегают в осадочных породах и это обстоятельство служит доказательством концентрации позднейшими циркулирующими метеорными водами. Существуют ли какие-либо органические воздействия, могущие вызвать некоторую концентрацию в осадках бария, которые мы находим в море? На это биологи отвечают нам, что некоторые протозоа имеют в своей ткани скопления мельчайших кристаллов сульфата и что некоторые *Radiolaria*, например, *Acantharia*, образуют свои скелеты отчасти из сернокислого стронция. Разве не могли метеорные воды действовать на миллионы их тел, погребенные быстрым скоплением осадков?

Вещества, в концентрации которых участвуют жители моря, следующие: кремнезем, сера и калий, углекислые кальций и магний и карбонофосфаты кальция. Эти вещества непосредственно или косвенно образуют такие залежи, как пластины фосфата, глауконитовые пески и известняки. Мы наблюдаем также скопления тяжелых металлов, например меди, свинца, цинка и ванадия, повидимому также хрома, кобальта, никеля и марганца. Три последние металла обнаружены анализом в глубигериковом иле, имеющем, вероятно, органическое происхождение.

Никель и кобальт присутствуют во всех пригодных для возделывания почвах, а также в небольшом, но непременном количестве в поджелудочной железе животных<sup>2</sup>. Медь, а также цинк и, вероятно, свинец являются важным компонентом крови моллюсков<sup>3</sup>. Цинк, медь, никель и кобальт бесспорно присутствуют в морской воде и их биохимическая концентрация представляет один из значительных морских процессов.

В организме ракообразных присутствует значительное количество цинка. Что касается свинца, то относительно него существует сомнение, но весьма вероятно, что моллюск все же содержит этот элемент в той или другой форме. В крови аскидий и голатурий медь заменяется ванадием<sup>4</sup>. Относительно других животных пока ничего твердо не установлено. Так или иначе ванадий представляет немаловажный компонент морской воды, хотя автору не удалось пока найти подтверждающих этот факт анализов.

Если взять все количество тяжелых металлов, сконцентрировавшихся в морских животных, оно окажется громадным. Естественно, что по смерти животных значительное количество металла возвращается в море, но, если по какой-либо причине эти животные умирают в чрезвычайно большом количестве и их останки заносятся отложениями, то в иле должно удержаться значительное количество металлов, причем преимуще-

ственno в виде сульфидов. Профессор Van Ingen доказал присутствие мельчайших кристаллов сульфидов, преимущественно цинкового и свинцового блеска, в окаменелых моллюсках, сохранившихся при таком погребении.

## ИЗВЕСТНИК

**Определение и генезис.** Известняки являются осадочными породами, состоящими преимущественно из углекислого кальция ( $\text{CaO}$  56%,  $\text{CO}_2$  44%), обычно в виде кальцита, но в свежих отложениях часто в виде арагонита<sup>5</sup>; они содержат небольшое количество магния и железа, а также различные количества глинозема и кремнезема; от увеличения содержания этих компонентов получается переход к глинистым сланцам и песчанику. В состав большинства известняков входят также фосфорно-кислый кальций и органические вещества. Порода содержит кристаллический углекислый кальций, а аморфная форма встречается только в качестве переходной; размер кристаллов варьирует в чрезвычайно широких пределах.

Воды, содержащие двууглекислый кальций, вливаясь в океан или в озера и реки, вследствие нарушения химического равновесия в растворах осаждают углекислый кальций<sup>6</sup>. Примером служат отложения поберегов Great Salt Lake (Utah). Такие известняки часто являются солитовыми.

В общем, в отложении кальцита органическая жизнь косвенно или непосредственно играет чрезвычайно важную роль, отлагая в одних случаях известковые организмы, в других осаждая его углекислым аммонием из гниющих организмов. Значительная роль принадлежит бактериям<sup>7</sup>, часто также водорослям — как морским, так и пресноводным. Моллюски, кораллы, ракообразные, различные виды морских ежей содержат кальцит и арагонит<sup>8</sup> в своих твердых оболочках, которые скапливаются на дне при незначительной глубине.

Многие организмы, например губка, осваивают из морской воды кремнезем и, таким образом, с известняками могут быть распространены отложения chert-кремнистых известняков.

Многие известняки состоят почти полностью из остатков раковин, в других не наблюдается и следов органической структуры. Следствием метаморфизма являются укрупнение зерна и уничтожение структур окаменелостей. В странах, обладающих сухим климатом, испарение обыкновенных поверхностных вод может иметь своим следствием образование мощных пластов пористого известняка. В Мексике такие пласти носят название «caliche». Кальцит и арагонит часто отлагаются в большом количестве горячими источниками, содержащими двууглекислый кальций; такие отложения весьма походят на известняк. Некоторые красиво-полосчатые просвечивающие отложения источников называются «ониксом» и материал идет на поделочные работы.

Из многочисленных разновидностей известняка следует упомянуть:

**Мел.** Белый, мелкозернистый, довольно рыхлый, чистый известняк, образовавшийся из перетертых раковин и фораминифер. Во многих странах широко известны его залежи в отложениях меловой эпохи, например на побережье Англии, в Texas, New Mexico, Arkansas и Kansas, но в этих залежах мел невысокого качества. Мел используется в качестве удобрения для kleевых красок, в качестве порошка для чистки металлов и многих других целей. «Парижские белила» представляют белый пигмент, при-

готавляющийся из молотого «cliffstone», т. е. твердой разновидности мела.

Во многих местностях США имеется производство пигмента, заменяющего белила. Такой материал должен содержать 95% или больше  $\text{CaCO}_3$  и измельчается до 200 меш. Он не должен содержать свыше 0,3%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и менее 4%  $\text{SiO}_2$ .

**Литографский камень.** Разновидность известняка, употребляющаяся для гравирования и репродукции цветных гравюр, представляет собою мелкозернистую породу с несовершенным раковистым изломом серого или желтоватого цвета и ровной структуры. Этот камень должен быть пористым, чтобы впитывать жир из литографской краски и достаточно мягким, чтобы поддаваться инструменту гравера. Литографского камня хорошего качества мало. Необыкновенно хорошиими качествами обладает камень из каменоломен Solenhofen (Бавария), представляющий юрский известняк. Состав материала разнороден и его качество можно определить, только испробовав<sup>10</sup>. Цена его доходит до 20 центов за фунт.

Литографский камень имеется во многих штатах, но по качеству он не может конкурировать с породой из Solenhofen. В дело идут плитки 22 или 28" × 40" и 13" толщины. Самые высокие сорта дороги; они продаются по цене 22 центов за фунт. В США наилучший сорт добывается в карьерах Brandenburg (Kentucky)<sup>11</sup>. В настоящее время литографский камень употребляется мало.

**Известняк для гидравлических цементов.** Некоторые глинистые известняки или доломитовые известняки употребляются в производстве естественного цемента. Такая порода дробится и обжигается; при смешивании с водою она отвердевает, благодаря гидратации и кристаллизации силиката и алюмината кальция, образующихся при обжиге. Портландские цементы представляют смесь известняка с глинистыми породами; последние, как и известняк, дробят и обжигают<sup>12</sup>.

**Известь.** Чистые известняки путем обжига, следствием которого является обезуглероживание, превращаются в негашеную известь, обычно продающуюся под названием «комовой извести»; при смешивании с водой она «гасится» в водную окись кальция и с добавлением песка употребляется в строительстве в качестве раствора. Если известь содержит окись магния и глинистые примеси, «гашение» задерживается<sup>13</sup>. Мелко молотая гашеная известь в настоящее время широко используется для бетона.

**Применение.** Хотя известняк является преимущественно строительным материалом, он употребляется также в литейном деле в качестве флюса. Для этого предпочтительны чистые разновидности, хотя в доменные печи идут также магнезиальные известняки. Жженая известь обычно содержит от 90 до 95%  $\text{CaO}$ , но идет также магнезиальная известь с содержанием 30% и больше  $\text{MgO}$ , хотя ее берут и не так охотно.

Жженая известь имеет применений, пожалуй, больше, чем какой-либо другой естественный материал. Она идет в производство белильного порошка, амиака, карбida кальция, удобрений, древесного спирта, мыла, глицерина, клея, стекла, керамических изделий, красок, бумаги, сахара, в дубильном деле и в качестве истребителя насекомых и грибка. В США производится ежегодно от 2 до 3 млн. т.

## ДОЛОМИТ<sup>14</sup>

Чистый доломит содержит 54,35%  $\text{CaCO}_3$  и 45,65%  $\text{MgCO}_3$ . В осадочных отложениях часто залегают пласты доломита и известняка. Они

узнаются по мелкозернистой структуре, напоминающей сахар; эта структура объясняется развитием однородных ромбоэдральных кристаллов. Доломит несколько тверже известняка; он нерастворим в жидким растворе соляной кислоты. Углекислый магний значительно более растворим в воде, чем углекислый кальций, доказательством чего служит тот факт, что сталактиты в доломитовых пещерах состоят почти всецело из  $\text{CaCO}_3$ . Некоторые травертины в минеральных источниках богаты  $\text{MgCO}_3$  и могут содержать до 29% этого соединения. Доломит несомненно отлагается непосредственным осаждением из морской воды, но большая его часть образуется путем изменения известняка в морской воде или путем последующей доломитизации поверхностными водами. Глубокое бурение на коралловых рифах показало, что известняк, который на поверхности несколько магнезиален, на глубине переходит в доломит. Некоторые водоросли отлагают значительное количество  $\text{MgCO}_3$  с  $\text{CaCO}_3$ ; углекислый магний содержится также в некоторых раковинных организмах, но редко в количестве, превышающем 7%. В теплых водах процентное содержание  $\text{MgCO}_3$  в раковинах организмов в общем увеличивается.

Доломит можно обжигать на известь. Утверждают, что он может заменить магнезит для производства огнеупорного кирпича.

Известны отложения тонких пластов чистого магнезита на дне водоемов, но крупные массивы магнезита образуются из известняка в результате метасоматических процессов.

## ЗНАЧЕНИЕ КАРБОНАТОВЫХ ПОРОД В СВЯЗИ С РУДНЫМИ МЕСТОРОЖДЕНИЯМИ

В зоне окисления карбонатовые породы часто растворяются, образуя остаточные глины. Аксессорные компоненты, например, сульфидные цинк и свинец или фосфаты могут в результате этого процесса оказаться концентрированными в месторождении, приобретающем экономическое значение.

Известняк легко силифицируется водами, содержащими кремнезем; кремнезем обычно образуется в виде неправильной формы массивов мелкозернистого или дымчатого кварца. Также легко известняк превращается в доломит водными растворами магния, что часто наблюдается близ рудных месторождений, образовавшихся на незначительной или умеренной глубине. Под действием теплых вод известняк и доломит могут замещаться кварцем, доломитом, баритом и флюоритом или же металлическими рудами, например пиритом, цинковым и свинцовыми блеском. Под действием высокой температуры и давления известняк перекристаллизовывается в мрамор. Силикаты, как, например, гранат, диопсид или волластонит, образуются в глинистом или кремнистом известняке из присутствующих примесей или от введения богатых кремнеземом и железом растворов. Наконец, благодаря легкой растворимости известняка по трещинам могут развиваться пустоты, являющиеся местом отложения руд.

## КРЕМНИСТЫЕ ИЗВЕСТНЯКИ — CHERTS И ДИАТОМИТЫ

Кремнезем, скапляющийся в результате механических процессов в песчанике, и кварцит уже упоминались выше. Однако кремнезем может также выделяться из воды и отлагаться в виде осадка такими организмами, как радиолария, диатомен и губки. Часть этого кремнезема обра-

зует массивы кремнистых ороговиковых пород — Chert — в известняках, часть отлагается в качестве отдельных пластов.

Диатомит<sup>15</sup> представляет отложение, образовавшееся на дне озер или болот, также и на морском дне; в чистом виде он состоит из мелких диатомей (вид водорослей)<sup>16</sup>. Такие отложения накапливаются в значительном количестве там, где на дне озер отложились кремнистые вулканические туфы, как это имело место в третичный период во многих пунктах области Кордильер. Мощные пласти залегают в миоцене Santa Barbara (Калифорния). Диатомиты часто в большей или меньшей степени смешаны с риолитовым стеклом и другими обломками. Породы состоят из водного кремнезема типа опала, образуя пласти беловатого цвета и чрезвычайно мелкой структуры; диатомит широко используется в качестве материала для полировки, набойки паровых труб и абсорбента для различных жидкостей. Цена диатомита около 20 долл. за тонну. Он содержит от 87%  $\text{SiO}_2$  и от 5 до 9%  $\text{H}_2\text{O}$ .

## ОСАДОЧНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СУЛЬФИДОВ

Осадочные породы, состоящие преимущественно из обломочного материала суши, могут содержать металлы, присутствующие в породах и рудных месторождениях континентов. Железо, конечно, встречается всюду и в несколько меньшей степени также и марганец. Скопления водных окислов марганца находят в месторождениях, залегающих в глубинах моря; их анализы показывают значительные содержания никеля, кобальта, меди, цинка, свинца и молибдена. Выше сказано, что многие известняки содержат чрезвычайно малые количества цинка, свинца и меди. Весьма трудно предположить, чтобы достаточные количества пирита или других сульфидов могли избегнуть окисления настолько, чтобы образовать значительные месторождения.

Месторождения в морских глубинах образуются так медленно, что нам не стоит на них останавливаться. Осадки прибрежной зоны содержат гораздо больше терригенового материала и поэтому представляют больший интерес.

Пирит и другие сульфиды могут осаждаться вследствие химических реакций в осадках. Залежи конкреционного пирита являются широко известными. Местами, в болотах и реках или океанических осадках, т. е. там, где выделяемый гниющими органическими веществами сероводород вступает в реакцию с сернокислыми соединениями железа, образуется двойной сульфид железа. Если такие осадки вследствие горообразовательных движений будут выведены на поверхность и подвергнуты некоторому метаморфизму, то бывший раньше мелковрапленным сульфид может перекристаллизоваться в более ясную форму. В действительности в анализах исследованного по настоящее время ила из глубины моря пирит почти или вовсе отсутствует. За последнее время часто цитируется описание Н. Андрусова<sup>17</sup> об особых условиях, существующих в Черном море, где микроорганизмы способствуют выделению сероводорода, часть которого вступает в реакцию с присутствующим в осадках железом и образует коллоидальное сернистое железо. Эти коллоиды могут выкристаллизовываться в виде двойного сульфида и образовать пирит или марказит. Относительно мельниковита (предположительно черный двойной сульфид, образующийся в осадках) см. литературу<sup>18</sup>.

Хотя пиритовые глины и изобилуют в неметаморфизованных осадочных формациях, больших осадочных залежей пирита найдено не было. Относительно конкреционного пирита см. стр. 61.

Если в песчанике содержится барит, он, вероятно, отлагается горячими ключами. Что касается осадочного отложения в широком масштабе прочих сульфидов, кроме пирита и марказита, то об этом у нас имеется мало сведений. Ниже (стр. 181) будет описан «Kupferschiefer» Мансфельда, в котором сульфиды могут быть осадочного происхождения.

## ОСАДОЧНЫЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ РУДЫ

Железные руды, например магнетит, могут отлагаться посредством механической концентрации, в виде россыпей вдоль рек или морского берега (стр. 32). Гематит или лимонит, образовавшиеся в результате разложения пород вдоль берега моря или же от окисления пиритовых месторождений как в Rio Tinto, в Испании, могут быть смыты в море и вновь отложиться близ берега. Кроме описанных механических процессов, железные руды образуются также в результате химических реакций в различных водоемах, и этого типа образования являются источником значительной доли мирового запаса железа. Железо в этом типе месторождений унесено с суши в виде растворов. Во многих случаях в образовании месторождений участвуют как растворенные соли железа, так и обломочные железные минералы.

Поверхностные воды выщелачивают железо как из железомарганцевых силикатов, так и из окислов и других минералов; такое выщелачивание протекает наиболее деятельно в местностях, покрытых глубоким покровом выветрельных пород. В ключах и реках содержатся как железо, так и марганец. Clarke упоминает о таком источнике минеральной воды, вытекающем из-под месторождения болотной железной руды в Голландии. Анализ этой воды следующий:

Анализ воды минерального источника в Ederveen (Голландия)<sup>19)</sup>  
(Аналитик, G. Moll van Charante)

(в частях на миллион)

Ca . . . . .	107,6	Cl . . . . .	15,2
Mg . . . . .	5,6	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> . . . . .	10,9
Fe . . . . .	19,6	SO <sub>4</sub> . . . . .	0,9
Mn . . . . .	11,4	CO <sub>3</sub> . . . . .	207,6
K . . . . .	0,9	SiO <sub>2</sub> . . . . .	18,0
Na . . . . .	10,0	Органическое вещество	56,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	3,3		
			467,0

В тропических странах речные воды часто содержат несколько процентов Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в растворенных солях; максимальное количество его (около 9%) содержат воды некоторых потоков Гвианы (Ю. А.).

Большая часть железа, растворенного поверхностными водами, скоро осаждается<sup>20)</sup>, но некоторое его количество уносится в озера и моря, где оно затем может отлагаться в широком масштабе. Морская вода содержит железо в количестве приблизительно 0,6 mg/l, а близ берега в иных местах даже больше.

## БОЛОТНЫЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ РУДЫ

**Условия залегания.** Болотные железные руды залегают в болотах, озерах, а иногда и в медленно текущих реках; их особенно много в северных областях Европы, Азии и Сев. Америки, еще относительно недавно вышедших из состояния оледенения. Они состоят из темнобурых шероховатых ячеистых масс или отдельных частиц, иногда оолитовой структуры. В этом случае они носят название «Shot ore» (дробовая руда) и образуют слой различной мощности на дне болота или озера. Лимонит часто замещает растения и корни, образуя псевдоморфозы по ним. Такие руды обычно добываются при помощи примитивных драг или ковшей.

Руды залегают преимущественно в мелкой воде вдоль берега, на глубину приблизительно 12'. Через несколько лет после выработки образуется новый слой. По словам A. Geikie<sup>21</sup>, в одном отложении в Швеции несколько дюймов лимонита скопилось в течение 26 лет. Скорость скопления, конечно, зависит от местных условий.

В настоящее время болотные железные руды не играют значительной роли в горной промышленности, но прослеживаемый процесс их образования может служить ключом к пониманию происхождения других, менее ясных в генетическом отношении, месторождений.

**Состав.** Эти руды всегда разубожены песком и глиной, и редко содержание в них железа доходит до 50%. Главным минералом является лимонит, но обычно присутствует также углекислое железо, также фосфат, вивианит и иногда растворимый кремнезем. В некоторых низкосортных нидерландских рудах, анализ которых приводит Clarke<sup>22</sup>, содержание углекислого железа весьма значительно превышает содержание лимонита. В рудах Швеции, Финляндии и Голландии присутствуют различные количества марганца. Шведские руды содержат следы ванадия, молибдена, меди, свинца, цинка, мышьяка, никеля и кобальта. Все болотные железные руды содержат фосфор, но редко значительное количество серы.

Согласно Svanberg, которого цитирует Zirkel<sup>23</sup>, 30 анализов шведских болотных руд дали в среднем следующее:

Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	62,57	MgO . . . . .	0,19
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	5,58	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,48
SiO <sub>2</sub> . . . . .	12,64	SO <sub>3</sub> . . . . .	0,07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	3,58	Потеря при прокаливании . . . . .	
CaO . . . . .	1,37		13,53

Всего . 100,01

**Генезис<sup>24</sup>.** Растворителями железа являются: 1) CO<sub>2</sub> из воздуха и из разлагающихся организмов; 2) серная кислота от выветривания пирита и 3) органические кислоты, развивающиеся при разложении растений. В отсутствии воздуха окись железа восстанавливается до закиси и образует растворимые двойные соли с аммиаком и гуминовой кислотой.

Осаждение из двууглекислых растворов осуществляется путем выхода CO<sub>2</sub> в воздух или же путем впитывания его клетками растений. Углекислое железо легко окисляется до водных окислов железа. В присутствии значительного количества органических веществ в осадке остается углекислое железо. Из раствора FeSO<sub>4</sub> железо осаждается в виде лимонита путем окисления или гидролиза или же посредством реакций с раствором углекислого кальция; в последнем случае образуются сидерит и

гипс, причем первый окисляется в лимонит или же железо осаждается всегда присутствующим в болотных водах гуминово-кислым аммонием; наконец, оно может быть осаждено растворимым фосфорнокислым кальцием, следствием чего бывает образование вивианита или других фосфористых соединений железа. Реже железо осаждается в качестве пирита щелочными сульфидами или сероводородом.

Из растворов гуминовых кислот железо осаждается организмами, носящими название железных бактерий<sup>25</sup>, которые ассимилируют эти соединения гумина, а также и углекислое железо, отчего оболочки их клеток покрываются налетом лимонита; насколько важна роль этих процессов, пока известно весьма мало.

При этих, как и при многих других поверхностных реакциях, водные окислы железа, вероятно, осаждаются в качестве коллоидальных комплексов неопределенного состава или «гелей», которые в дальнейшем приводят к образованию кристаллических тел. Значительное количество водной окиси железа несомненно перемещается на значительное расстояние в виде коллоида. Известно пять видов водной окиси железа. Расположив их в порядке повышения содержания воды, мы будем иметь:

Тургит . . . . .	$2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	94,6% $\text{Fe}_2\text{O}_3$
Гетит . . . . .	$2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	89,9% $\text{Fe}_2\text{O}_3$
Лимонит . . . . .	$2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	85,5% $\text{Fe}_2\text{O}_3$
Ксантосидерит . . . . .	$2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	81,6% $\text{Fe}_2\text{O}_3$
Лимонит . . . . .	$2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	74,7% $\text{Fe}_2\text{O}_3$

Тургит обладает красным цветом и его часто принимают за гематит. Несколько комплексных кремнистых и сернистых соединений железа походят на лимонит. Позняк и Merwin<sup>26</sup> признают только одну кристаллическую форму, а именно моногидрат, выкристаллизовывающийся в гостит или лепидокрокит. Они определяют лимонит, как коллоидальный аморфный моногидрат окиси железа с различным содержанием адсорбированной и капиллярной воды.

**Примеры.** В Radnor и Drummondville (округ Three Rivers, Quebec) имеются обширные месторождения болотной железной руды. Вплоть до 1911 г. эти месторождения эксплуатировались, и руда добывалась или с помощью всасывающих машин или драгировалась. В 1911 г. эксплуатация прекратилась. В этом районе работы производились, начиная с 1733 г. Одно из наиболее известных, раньше эксплуатировавшихся месторождений, находится в Katahdin (Мэйн). Небольшие месторождения имеются в различных пунктах Новой Англии (New England) и по настоящее время эксплуатируются в незначительном масштабе.

## СИДЕРИТЫ МОРСКИХ ИЛИ СОЛЕНОВОДНЫХ БАССЕЙНОВ

**Условия залегания.** Сидерит ( $\text{FeCO}_3$ ) — железная руда, имеющая большое экономическое значение, встречающаяся как в эпигенетических, так и в сингенетических залежах. Она залегает в трещинных жилах и в качестве замещений известняка, но встречается также и в осадочных породах в качестве продукта осадочных процессов. Осадочные сидеритовые руды носят название глинистого железняка, сферосидерита или «black band». Плотная мелкозернистая, конкреционная или сферолитовая структура характерна для глинистого железняка, залегающего в глинах или глинистых сланцах; на некоторых горизонтах находят множество

таких конкреций в большей или меньшей мере разубоженных глиной и песком, а часто и остатками растений. Разновидность, называемая «black band», представляет непрерывные пласты темного цвета и компактного вида, залегающих в глинистых сланцах угольных пластов, а нередко и непосредственно над или под последними.

Эти руды содержат менее 48% железа и перед плавкой их приходится кальцинировать. Присутствуют как сера, так и фосфор, иногда даже в значительных количествах.

Марказит, пирит, арсенопирит, миллерит, галенит, обманка и халькопирит иногда развиты в трещинах конкреций сидерита, свидетельствуя о том, что растворы железа содержали малые количества этих металлов, вероятно, в виде сульфатов. Анализ сидеритовой руды из Maryland<sup>27</sup> показал (в процентах): Fe 36,05; SiO<sub>2</sub> 13,53; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 6,47; Mn 0,94; P 0,08; S 0,42. Когда-то эти руды представляли большое экономическое значение, но в настоящее время значение их не столь велико. Вблизи поверхности они иногда переходят в лимонит.

Генезис осадочных сидеритов объясняется точно так же как и генезис болотных железных руд. В затопляемые и застойные участки морского берега или в мелкие воды моря, где изобилуют органические вещества, попадали растворы двухгексислого или сернокислого железа. Осаждение нормально нерастворимого карбоната произошло вследствие поглощения растворителя (CO<sub>2</sub>) растительностью. Избыток кислорода отсутствовал, в противном случае карбонат превратился бы в лимонит. Даже в том случае, если бы железо первоначально отложилось в виде лимонита, могли бы иметь место восстановление и обуглероживание до сидерита, вызванное тем, что лимонитовый осадок оказался покрытым илом, содержащим органические вещества.

Конкремионные массы не являются продуктами первичного осаждения, а, вероятно, во всех случаях первоначально принимали узловатую форму под действием растворов, просачивающихся вокруг соответствующих ядер, пока осадки были еще мягкими.

**Примеры.** В США осадочные сидеритовые руды имеются в штатах Pennsylvania, Ohio, Западной Виргинии, Maryland и Kentucky. В настоящее время они не имеют большого промышленного значения, хотя прежде широко разрабатывались. В 1916 г. добыча (преимущественно в штате Ohio) была всего 1 800 длинных т.

В Пенсильвании и граничащих с нею штатах верхние пустые угольные пласты содержат многочисленные конкреции сидерита в глинистых сланцах и песчаниках, но крупные месторождения отсутствуют. В верхних продуктивных угольных пластах или свите Monongahela River встречается руда «black band», например, непосредственно под или поверх Питтсбургского угольного пласта. Сидеритов необычайно много, в нижних угольных пластах (coal measures) в Ohio Orton<sup>28</sup> различают 12 горизонтов «black bands» и конкремионных руд.

Сидеритовые руды залегают также в третичных отложениях на Миссисипи.

«Black bands» обычны в Германии, но там они не эксплуатируются в сколько-нибудь широком масштабе. Когда-то деятельность разработки велась в Вестфалии, близ Saarbrücken, где руда образовала плоские чечевицевидные массы мощностью до 1½ м и протяжением иногда до нескольких сотен метров.

В Англии «black bands» прежде представляли громаднейшее экономи-

ческое значение: 40 лет назад на них приходилось до  $\frac{4}{5}$  всей добычи железа. В настоящее время они эксплуатируются только в North Staffordshire и в Шотландии. В Wales «black bands» залегают в нижних угольных пластах. Kendall<sup>29</sup> насчитывает 45 горизонтов сидеритовой руды.

В Шотландии (Ayrshire) «black bands» залегают как в угольных пластиах, так и в известняках карбоната. Руды содержат от 25 до 40% Fe и залегают в виде тонкого пласта мощностью в  $1\frac{1}{2}'$  и меньше; обычно несколько таких пластов залегают вместе.

## ООЛИТОВЫЕ МОРСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ РУДЫ

Оолиты<sup>30</sup> (называемые так по своему сходству с икрой) представляют округленные конкреционные зерна, в которых обычно наблюдаются кон-

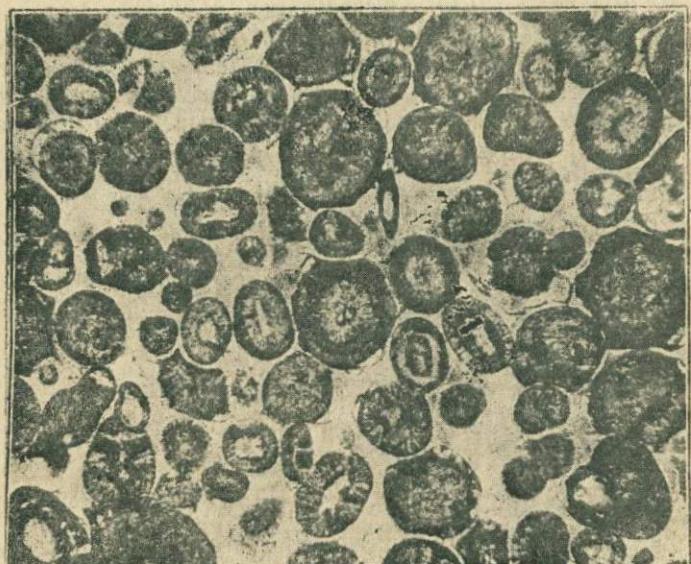


Рис. 19. Кальцитовый оолит с кальцитовым цементирующим веществом, оолиты Short Creek, Missouri.

центрическая слоистость и радиальная волокнистая структура кристаллов. Их размер 2 мм в диаметре и выше; часто присутствует ядро в виде песчинки или осколка окаменелости. Если порода содержит много оолитов, о ней говорят, что она обладает оолитовой текстурой. Оолитовые известняки (рис. 19) встречаются во многих осадочных свитах, часто являясь окремнелыми.

Оолиты железных руд состоят из гематита, сидерита, богатого железом хлорита, реже из лимонита. Нередко все эти минералы встречаются вместе. Вмещающая порода состоит из кальцита, сидерита или глинистого вещества. Оолиты, состоящие из гематита, сидерита или силикатов железа, обычно содержат некоторое количество коллоидального кремнезема, который при растворении конкреций в кислоте остается в виде скелета.

Оолиты, без сомнения, образуются как следствие коллоидальных процессов; это почти очевидно и доказано исследованиями Schade, цити-

руемыми Bucher и другими авторами. Железные оолиты являются мелководными образованиями; их развитие обусловливается присутствием поблизости источника железа в виде разрушаемых железосодержащих пород. Их морское происхождение твердо установлено.

Прежде часто высказывалось мнение, что оолитовые железные руды развивались из оолитового известняка путем последующего введения железа. В настоящее время эта точка зрения почти всеми отвергается; железо было введено одновременно с образованием оолитов. Однако в процессе отложения имели место многие и сложные изменения. Окислительные и восстановительные процессы последовательно чередовались, результатом чего явилось образование гематита или силиката, железа или углекислого железа. В более поздний период содержащие железо минералы подвергались выветриванию и могут перейти в лимонит, или же могло произойти растворение и унос кальцита, обусловившие обогащение руд.

**Водные силикаты железа осадочного происхождения.** Следует отметить следующие минералы: глауконит, шамозит, турингит (дафнит) и гранилит. Их приблизительный состав дается в помещаемой ниже таблице. Состав не постоянен, и формулы в большей или меньшей степени неопределены, что естественно в связи с их вероятно коллоидальным происхождением.

#### Приблизительный состав осадочных силикатов железа

	Глауконит	Шамозит	Турингит	Гранилит
$\text{SiO}_2$ . . . . .	48	25	23	30
$\text{Al}_2\text{O}_3$ . . . . .	7	17	17	—
$\text{Fe}_2\text{O}_3$ . . . . .	24	6	15	35
$\text{FeO}$ . . . . .	2	39	33	26
$\text{CaO}$ . . . . .	1	—	—	—
$\text{MgO}$ . . . . .	3	3	—	—
$\text{K}_2\text{O}$ . . . . .	7	—	—	—
$\text{H}_2\text{O}$ . . . . .	8	10	11	9

Глауконит ( $\text{KFeSi}_2\text{O}_6\text{H}_2\text{O}$ ) занимает особое положение ввиду постоянного содержания калия, которое в разновидностях из древних отложений, видимо, выше чем в разновидностях молодых пород. Он не встречается в оолитовых рудах, но является отчасти конкреционным, образуя темно-зеленые зерна, часто кристаллические, отлагающиеся на внутренних поверхностях раковин. Согласно Caspary, Hummel и другим глауконит коллоидален, другие же утверждают, что он обладает ясной кристаллической структурой, а иногда даже образует отдельные кристаллы. По этому вопросу имеется богатая литература<sup>31</sup>.

Минерал рассеян в морских песках всех возрастов и в некоторых из них содержится в таком большом количестве, что пески носят наименование глауконитовых «зеленых» (как, например, в меловых пластах New Jersey). Помимо калия меловые породы этой формации содержат большое количество фосфора и поэтому иногда употребляются в качестве удобрения; в качестве железных руд они никогда не используются ввиду присутствия слишком большого количества кварца. При выветривании глаукониты могут обогащаться до лимонитовых руд.

Согласно Murray и Renard, глауконит образуется на границе, где прекращается действие волн и течений и где начинает отлагаться ил, но не является литторальным отложением. Содержащийся в глине и иле

коллоидальный кремнезем вступает в реакцию с окисным железом, выделившимся на морском дне вследствие окисления, и осадившийся гель силиката железа адсорбирует калий из морской воды. Caspari уверяет, что ему удалось получить искусственный глауконит. Глауконит, вероятно, является метаколлоидом. Hummel указывает, что глауконит появляется в относительно холодных водах или там, где теплое течение встречается с холодным. Шамозит, туригит и гриналит представляют собою богатые железом хлориды.

Гриналит, повидимому, близок к туригиту; по словам Leith<sup>32</sup> встречается в большом количестве в кварцитах с сидеритовыми рудами Гуронской толщи района Mesabi и других в области Верхнего Озера. Гриналит отчасти является источником железа при образовании гематита.

Шамозит ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{FeO} \cdot 2\text{SiO}_2$ )  $\text{H}_2\text{O}$  (Hallimond) и туригит<sup>33</sup> представляют собою темнозеленые хлоритовые минералы, в которых, в том

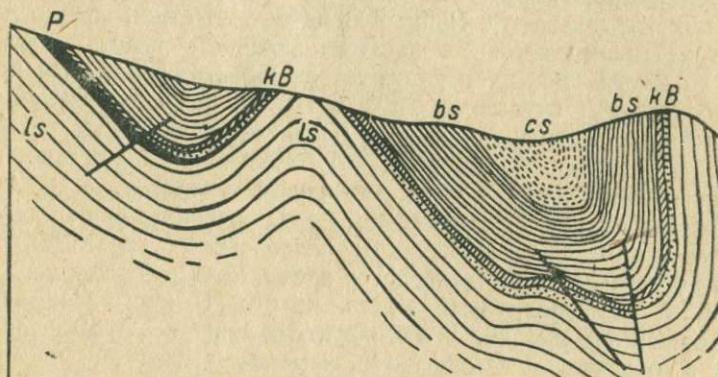


Рис. 20. Вертикальный разрез через месторождение пирита в Meggen (Германия).

P—пирит; B—барит, k—известняк, bs, cs, ls—девонские плотные сланцы (по Strauss).

случае, когда они встречаются в осадочных железных рудах, почти всегда наблюдается оолитовое строение.

Впервые описанные пласти залегают в Туригии (Германия) и в Богемии. В прошлом они широко разрабатывались, а в Богемии эксплуатируются в небольшом масштабе и в настоящее время.

В Богемии силурская свита состоит из глинистого сланца серых вакков и диабазовых туфов; в них залегают оолитовые железные руды. Из них одна залежь мощностью 16', другие тоже достаточно мощные состоят преимущественно из оолитового шамозита в массе рыхлой породы, богатой сидеритом или шамозитом. Руды богаты фосфором и содержат также небольшое количество магнетита.

**Оолитово-лимонитовые руды.** Первичный морской лимонит с оолитовой текстурой редок, вероятно вследствие обезвоживающего действия морской воды. Описание оолитового лимонита в песчанике и глине района Frodingham (Англия) мы находим у Hallimond. Это месторождение, однако, не имеет большого значения. Существование таких месторождений, быть может, объясняется близостью морского берега, в связи с чем имел место привнос необычайно большого количества гидроокиси железа.

**Оолитово-пиритовые руды.** Хотя во многих осадочных породах присутствие пирита и марказита весьмаично, развитие оолитов редко наблюдается. Месторождения в Meggen (Германия)<sup>34</sup> разрабатываются в довольно широком масштабе; пласт мощностью от 12 до 20' включен в тонком пласте известняка в складчатых девонских сланцах. Здесь встречаются также барит и цинковая обманка. Bergeat считает, что оолитовый пирит осадочного происхождения, но Krush не согласен с этим мнением, считая это месторождение принадлежащим к типу замещения известняков.

Однако нет никакого сомнения в том, что истинно-оолитовые пласти пирита или марказита имеются в различных местах (Webana, Newfoundland, Cleveland, Hills, Англия), хотя они не велики и не представляют промышленной ценности.

**Распределение.** Говоря о совершенно особом распределении оолитовых морских железных руд, Hummel отмечает, что они, видимо, не отлагаются в настоящее время, в противоположность пластам глауконита, которые во многих местах образуются в открытом море. Он предполагает, что они могут отлагаться лишь в теплых водах внутренних морей, где отсутствуют холодные течения. Оолитовые гематиты встречаются во многих формациях от докембрия до палеозоя включительно. Оолитовые сидерито-шамозитовые руды изобилуют в юре, т. е. в Англии и Франции, хотя их иногда находят и в более древних формациях. В многих месторождениях, в особенности палеозойского возраста, все три минерала встречаются вместе. Меловое время, хотя и богато глауконитом, но содержит мало оолитовых железных руд. В настоящее время все более укореняется мнение, что сидерит обычно не отлагается в виде оолитов, а образуется замещением шамозита вслед за образованием оолитов. Hallimond предполагал, что пирит может замещать шамозит, но это, видимо, не верно. По крайней мере, судя по оолитам Wabana, первичные месторождения образовались естественным путем окислительными процессами. Трудно предположить, чтобы сидерит и пирит могли одинаково отлагаться большими массами в открытом море.

**Роль организмов.** Роль микроорганизмов пока еще трудно определить. В недавно вышедшем труде Е. С. Harder<sup>35</sup> мы видим отрывочные ссылки на литературу и значительную оригинальную работу. В осаждении водной окиси железа принимают участие бактерии, в особенности «нитяная бактерия», а также простейшие водоросли и единичные кораллы. В присутствии растворимых солей железа бактерия типа *Crenothrix* высаждает водную окись железа посредством окисления  $FeCO_3$ ; этот процесс, видимо, может иметь место также в солоноватых и соленных водах, но по настоящее время он твердо установлен лишь для болотных железных руд. Некоторые другие бактерии, повидимому, способствуют образованию в море известковых оолитов. Синевато-зеленые водоросли в процессе своей жизни выделяют кислород и это, конечно, будет способствовать окислению, например, сидерита и гематита. Это может играть некоторую роль и в образовании оолитовых руд.

## ООЛИТОВЫЕ ГЕМАТИТОВЫЕ РУДЫ

**Руды Clinton**<sup>36</sup>. Из оолитовых руд США первое место принадлежит рудам формации Clinton в Appalachian States (Аппалачах) и их необычайное постоянство наблюдается во всей этой формации. Clinton (сиулур)

занимает место между трентонским известняком и девонским глинистым сланцем; он неизменно содержит несколько пластов гематитовых руд, чередующихся с известняком и глинистым сланцем. Последовательность осадочных пород в Бирмингамском округе и всей южной области Appalachian следующая:

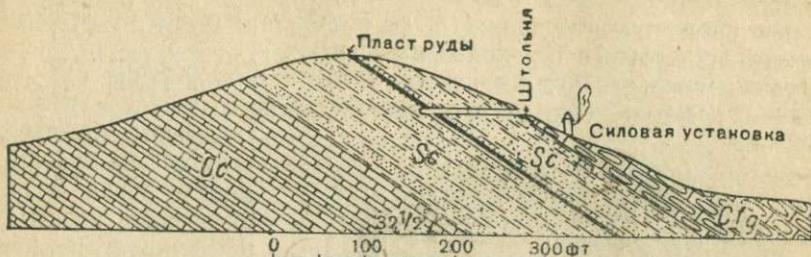


Рис. 21. Разрез, иллюстрирующий месторождения Клинтонских железных руд Birmingham, Alabama.

Sc—клинтонская (Rockwood) формация; Oc—силур, известняк Chickamauga—ордовикский; Cfg—рогошки Fort Payne, Миссисипский ярус (по E. F. Burchard).

### Каменноугольная система

Футы

#### Отдел Пенсильвания

Формация Pottsville (угольные пласти)	2 600—7 000
Несогласие.	

#### Отдел Миссисипский

Формация Parkwood . . . . .	0—2 000
Глинистый сланец Pennington (30—300') . . . . .	Глинистые сланцы
Известняк Bangor (670') . . . . .	
Кремнистая свита Fort Payne . . . . .	Floyd
Несогласие	200—250

#### Девонская система

Глинистые сланцы Chattanooga . . . . .	1—25
Песчаники Frog Mountain . . . . .	
Несогласие	

#### Силурийская система

Формация Clinton (Rockwood) . . . . .	250—500
Несогласие	

#### Ордовикский ярус

Известняк Chickamauga (Pelham) . . . . .	200—1 000
Несогласие	

#### Кембройско-ордовикский подъярус: доломит

Клох . . . . .	3 300
----------------	-------

#### Кембрийская система

Известняк Conasauga (Coosa) . . . . .	1 000
Глинистый сланец Rome (Montevallo)—большая мощность	

Клинтонские руды тянутся от западной части штата New York через Пенсильванию, Виргинию, Западную Виргинию, Кентукки, Тенесси и северо-западную Георгию в Алабаму, где близ Birmingham они достигают своего наибольшего развития. Руды образуют пласти и линзы на различных горизонтах формации Clinton, представляющей прекрасный образец

красноцветных мелководных отложений, несогласно налагающих на кембрийские известняки и несогласно перекрытых известняками миссисипской толщи пород.

Вся толща Clinton слагается тонкими пластами железистого песчаника, глинистого сланца и оолитового гематита, с косой слоистостью и переслаиванием конгломератами. Руды содержат кальцит и местами наблюдается постепенный переход в известняки.

Средняя мощность рудных пластов 2—3', но в Alabama она достигает 20' с редкими тонкими прослойками мягкого сланца и песчаника.

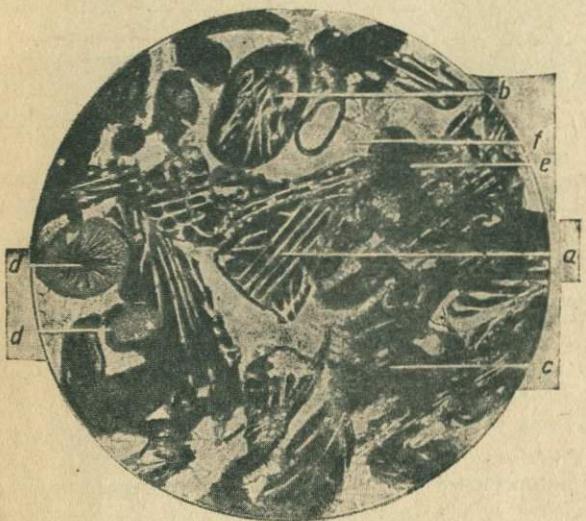


Рис. 22. Клинтонская руда, Wolcott, Wayne County, New-York. Увеличение — 20х. Руда состоит преимущественно из остатков *Bryozoa* и криноидей.

а—обломки *Bryozoa*, известковые перегородки сохранились, промежуточные выполнены окисным железом; б—обломки раковин *bryozoa* с включениями окисного железа; стени частично замещены окисным железом; в—раковинные структуры, почти вытесненные окисным железом; д—ствол криноидей, замещенный окисным железом; ячейки выполнены кальцитом с однообразной оптической ориентировкой; е—то же, почти полностью замещенный; ф—кальцитовый цемент (по L. Sayeux)

кого сланца или песчаника; местами замечается переход в желелистые песчаники.

В Alabama эти месторождения являются базой значительной желеизоделательной промышленности; ежегодная добыча руд в настоящее время достигает 6 400 000 длинных т, т. е. почти 8% всей добычи железной руды в США. В некоторых рудниках добыча ведется на глубине 4 000' по падению; бурение обнаружило совершенно такую же руду на глубине 2 000' (по вертикали), в 2 милях к востоку от выхода на поверхность; в этом районе имеются громадные запасы руды.

Клинтонские руды добываются также к северу от Алабама в Tennessee, хотя здесь разработки ограничиваются обогащенной рудой близ поверхности. Эксплоатация выгодно ведется и в некоторых пунктах к северу от Tennessee.

Имеется несколько сортов клинтонских руд; большинство из них содержит довольно значительное количество углекислого кальция.

Отдельные пласти руды тянутся на расстоянии многих миль. В районе Birmingham пласти Clinton выходят на поверхность на восточном склоне антиклинали, к северу их можно проследить и в штате Tennessee, но деятельно эксплуатируемые рудники расположены по выходам на поверхность на протяжении всего 15 миль. Бурение обнаружило пласти доброкачественных руд на несколько миль к востоку, но по направлению к западу вся формация становится более известковой.

В верхней части 80-футовой мощности этой толщи залегают 4 пласти, из которых два мощностью от 9 до 20' усиленно разрабатываются. Железные руды обычно резко отграничены от мяг-

Один из типов представляет мелкозернистый валунчатый конгломерат или песчаник, в котором каждое зерно или галька покрыты налетом гематита, и порода сцепментирована этим минералом, а также кальцитом. Другой тип состоит преимущественно из обломков брюхозоа, раковин, трилобитов и пр., отчасти покрытых налетом или замещенных окисью железа, а также множества оолитовых зерен, обычно имеющих своим ядром песчинку (рис. 22). Еще один тип руд состоит полностью из оолитов гематита среднего размера 1—2 мм; он залегает в кальцитовой массе пород. Четвертый тип представляет мелкие пластинчатые сростки гематита с обломками окаменелостей, перешедших в гематит; это столь известная в Birmingham «льняно-семенная руда» (flax-seed ore), содержащая весьма малое количество сидерита или хлорита. Обычны обломки кварца и других минералов. По простиранию пластов содержание в них известковых и кремнистых примесей непостоянно. Фосфор присутствует в значительном количестве.

На поверхности и до глубины приблизительно 200' углекислый кальций частично растворился, и руда соответственно обогатилась. Такую руду называют «мягкой», в отличие от неизмененной, или «твердой» разновидности. Наиболее бедные из идущих в производство руд содержат от 25 до 30% Fe.

#### Анализы клинтонских руд

(заимствованы у Е. С. Harder „Mineral Resources“, U. S. Geol. Surv. 1908)

	Твердая руда	Мягкая руда
Fe . . . . .	37,00	50,44
SiO <sub>2</sub> . . . . .	7,14	12,10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	3,81	6,06
CaO . . . . .	19,20	4,65
Mn . . . . .	0,23	0,21
S . . . . .	0,08	0,07
P . . . . .	0,30	0,46

C. H. Smyth считает, что гематит образовался непосредственным осаждением; этого же мнения держатся Newlands, Eckel и Burchard. Smyth полагает, что железо было вынесено в мелководные морские бассейны, медленно там окислялось и механически осадилось вокруг раковин организмов или заместило их. Силикат железа присутствует лишь в небольшом количестве.

#### ЮРСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ РУДЫ АНГЛИИ <sup>37</sup>

Английская промышленность в настоящее время может рассчитывать, главным образом, на осадочные руды, залегающие в юре. Из современной продукции 15 млн. т большая часть падает на эти руды. Наибольшее количество доставляет район Cleveland Hills в Йоркшире. Хотя руды невысокого качества, но добыча их обходится дешево, так как ведутся преимущественно открытые работы.

Недавно вышедшие «Memoirs of Geological Survey» дают давно жданые сведения. Руды залегают в Среднем Лейасе, и разрез представляется в следующем виде (цифры в футах):

Верхний лейас	Глинистые сланцы . . . . .	0—6
	Глинистые сланцы . . . . .	0—11
	Главные рудные слои . . . . .	2½—5
	Рудные пласти Pecten . . . . .	1½—16
Средний лейас	Глинистые сланцы . . . . .	3—6
	Двухфутовый рудный пласт . . . . .	1½—2½
	Глинистые сланцы . . . . .	20—30
	Рудный пласт Avicula . . . . .	0—3
Нижний лейас	Песчаные осадки . . . . .	70—90
	Глинистые сланцы и пр. . . . .	

Главные рудные слои делятся на несколько разделенных друг от друга прослойков. Аксессорными компонентами являются пирит, барит, роговая обманка и галенит; последний часто образуется в раковинах. Часто встречается цинковая обманка. В верхней части имеется также тонкий прослоек оолитового пирита, который помимо этого минерала содержит еще 0,11% Ni и Co, 0,015% Cuо и 0,15% PbO. Обычные типы руд носят наименования «шамозитовый пловок» (mudstone) и «шамозитовый, сидеритовый пловок» (mudstone), представляющие собой землистые массы мелкозернистого шамозита и оолитов того же минерала и ромбовидных стяжений и зерен сидерита. Минералы по существу сохранили состояние, какое они имели в момент отложения. Самым ранним минералом, вероятно, является шамозит, за ним следует сидерит, являющийся полно оолитовым. Гематит и первичный лимонит отсутствуют. Hallimond рисует развитие шамозита следующим образом: у илистого берега воды содержали большое количество коллоидального глинистого материала. При увеличении содержания закисного железа, вызванного увеличением обломочного материала или органическим воздействием, был достигнут предел растворимости шамозита, приведший к его осаждению; превращение глины в шамозит происходило постепенно. Hallimond дает интересный анализ среднего состава руды.

#### Анализ руды Cleveland Hills

SiO <sub>2</sub> . . . . .	8,51	S . . . . .	0,05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	6,12	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	1,30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	1,77	TiO <sub>2</sub> . . . . .	0,36
FeO . . . . .	36,91	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,03
CaO . . . . .	5,54	V <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,08
MgO . . . . .	3,75	As . . . . .	0,02
CO <sub>2</sub> . . . . .	20,70	K <sub>2</sub> O . . . . .	0,03
H <sub>2</sub> O конституци- онная . . . . .	4,05	Na <sub>2</sub> O . . . . .	0,05
H <sub>2</sub> O при сжатии .	10,00	C . . . . .	0,27
		MnO . . . . .	0,42

По имеющимся сведениям содержание металлического железа колеблется в пределах 29—30%. В руде спорадически встречаются зерна магнетита.

#### Пересчитанный состав

CaSO <sub>4</sub> . . . . .	2,83
CaCO <sub>3</sub> . . . . .	7,13
MgCO <sub>3</sub> . . . . .	7,88
MnCO <sub>3</sub> . . . . .	0,68
FeCO <sub>3</sub> . . . . .	34,70
Шамозит . . . . .	34,24

## ООЛИТОВЫЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ РУДЫ ЛОТАРИНГИИ

В настоящих и будущих запасах железа в Европе большая роль принадлежит так называемым «минеттам» (minettes<sup>38</sup>) или оолитовым лимонитам Лотарингии и Люксембурга. В период, предшествовавший мировой войне, во Франции существовало не менее 50 рудников и ежегодная продукция приближалась к 20 млн. метрических т (1913 г.). Запасы установлены в 3 млрд. т. В германской Лотарингии (в настоящее время перешедшей к Франции) продукция достигла приблизительно той же цифры, а запасы исчисляются в цифре, превышающей 2 млрд. т. В 1925 г. общая продукция достигла во Франции 36 000 000 т, причем почти все это количество было получено из минеттовых руд. Со слабым падением к западу пласти достигают глубины 3 000' и больше, хотя дальше к западу железные руды начинают выклиниваться. Месторождение занимает площадь почти 113 000 га. Центром этого района является

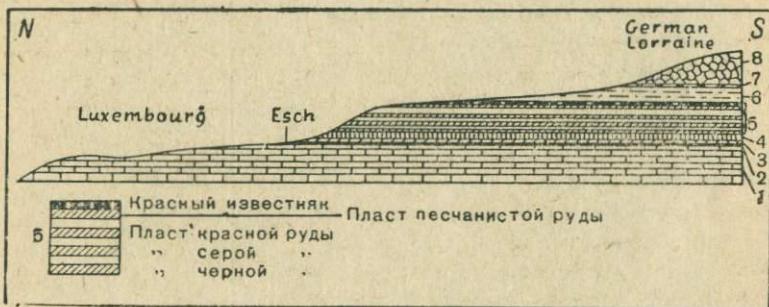


Рис. 23. Разрез залежи минеттовых руд в Esch.

8—известковый слой с *Harpaceras humphriesianum*; 7—известковый слой с *Harpaceras sowerbyi*; 6—мергель; *Harpaceras murchisonae*; 5—свита минеттовых пород (см. условные знаки); 4—песчаник с *Trigonia navis*; 2 и 3—верхние и нижние глины с *Harpaceras striatulum*; 1—слюдистый мергель (по W. Branco).

бассейн Longwy-Briey. В настоящее время эксплоатация ведется на глубине 800 м или меньше, частично штольнями и открытыми разработками (рис. 23).

Приток воды местами достигает 10 м<sup>3</sup>/мин. Руда залегает в средней части юрской системы (доггер), в глинистых сланцах, песчаниках и мергелях, в виде ясно выраженных слоев при суммарной мощности от 75 до 150'. Рудные слои не совсем непрерывны на одном и том же горизонте, а представляют местные скопления, выклинивающиеся на подобие линз. Пласти известны под названием «красного», «серого» и «черного»; их мощность различна и достигает максимум 15'. Участки, где мощность не достигает 3', невыгодны для эксплоатации. Для руд характерно низкое содержание железа (от 31 до 40%) и высокое содержание фосфора (от 1,6 до 1,8); последнее свойство делает руды пригодными для основного процесса. Присутствует от 5 до 12% CaO и от 7 до 20% SiO<sub>2</sub>. По мере понижения содержания железа повышается содержание кальция. Руды имеют землистый вид и бурую, серую или желтую окраску.

Последним трудом, посвященным изучению лотарингских оолитовых руд, является подробная монография Сауэх, снабженная прекрасными иллюстрациями (рис. 24). Автор устанавливает, что лимонит является

здесь преобладающим, но, вероятно, позднейшим минералом. Присутствуют в значительных количествах минералы — сидерит, хлорит и гематит.

Оолиты магнетита известны в бассейне в Longwy-Brie; их присутствие объясняется слабым метаморфизмом: пирит встречается редко. В оолитах часто наблюдаются трещиноватость и вторичные процессы осаждения, обычно концентрического, в виде тончайших слоев, некоторые из которых состоят полностью из гематита и лимонита.

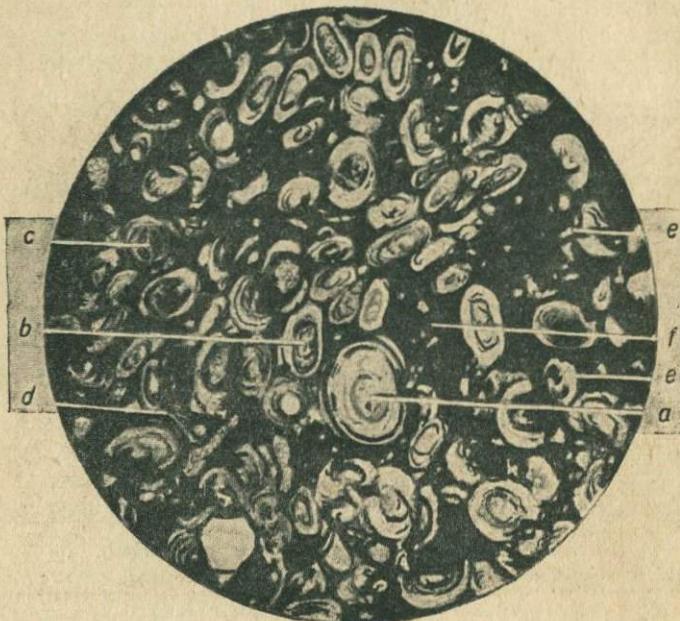


Рис. 24. Руда из силурских отложений La Ferriere aux Etangs (Франция). Увеличение 22. Оолиты представляют собой хлорит с сидеритовым ядром; мелкозернистое цементирующее вещество — хлорит и сидерит:

а—хлоритовый оолит в середине светлой окраски; с внешней стороны частично превратился в гематит; б—ядро разъединенного чистого сидерита; в—то же желтого цвета, измененный сидерит; д—зерна сидерита в цементирующем веществе; е—хлоритовый оолит, частично раздвинутый и замещенный цементирующим веществом; ф—черноватое цементирующее вещество, состоящее из хлорита и сидерита (по L. Cayeux).

Что касается происхождения руд, Cayeux продолжает держаться взгляда, выраженного в 1909 г., т. е. что оолиты железа замещают кальцит. Последовательность минералов следующая: сидерит (самый ранний), хлорит, гематит и лимонит; но гематитовые оолиты могут иметь своим непосредственным источником сидерит. Источником железа предполагаются ближайшие континентальные участки бассейна. Cayeux не дает ни подробного описания исследований хлорита, ни химической стороны процесса. Его выводы, видимо, расходятся в выводами Hallimond относительно английских руд.

В других областях Европы, представленных развитием пород юрской системы, также встречаются оолиты, но они не представляют большого значения.

## ООЛИТОВЫЕ ГЕМАТИТ-ШАМОЗИТ-СИДЕРИТОВЫЕ РУДЫ НЬЮФАУНДЛЭНДА (NEWFOUNDLAND)

Из многочисленных описаний месторождений этих руд наиболее интересна монография А. О. Hayes, посвященная рудам Wabana, Ньюфаундленда<sup>39</sup>. Руды залегают в верхнем участке (1 000') пологопадающего ордовичского песчаника и глинистого сланца. Месторождение содержит несколько пластов мощностью от 10 до 30', вполне пригодных для эксплуатации; один из них разрабатывается на протяжении 15 миль под морским дном, причем заносы руд весьма большие. Руды представляют бурые или зеленые оолиты и содержат осколки раковин; кальцит при-



Рис. 25. Оолитовая шамозит-гематитовая руда с сидеритом из Wabana.

*a*—ядро гематита и шамозита в концентрических слоях; *b*—внешняя каемка сидерита, замещающего ядро; *c*—ядро гематит-шамозита, частично замещенное сидеритом; *d*—сидерит, замещающий ядро и оболочку. Увеличение в 110 (по А. О. Hayes).

существует в незначительном количестве, известняк же вовсе отсутствует. Содержание в среднем следующее: 50—70% гематита; 15—25% шамозита, 0,50% сидерита, 0,1% кальцита и 1—10% кварца. Оолиты часто представляют концентрические скорлуповатые зерна гематита и шамозита, как это видно из рис. 25, плотно рассеянные в сидеритовой материнской массе.

Если оолитовую конкрецию гематита обработать соляной кислотой (HCl), то останется скелет кремнезема.

Установлено, что водоросли проникают как оолиты, так и материнскую вмещающую их породу и что, таким образом, до покрытия рудных отложений позднейшими осадками их состояние было близко настоящему. Окисление шамозита до гематита, вероятно, было вызвано выделяемым из этих водорослей кислородом. Таким образом, Hayes высказывает за то, что все три железные минерала осадились непосредственно, хотя он считает, что сидерит самый поздний из них и может замещать шамозит.

Особенный интерес представляют тонкие пласти пиритового оолита, залегающие поверх пласта Dominion. Этот оолит содержит грантолиты и маленькие конкреции пирита вкраплены в глинистую материнскую породу вместе с небольшим количеством кристаллического кварца.

Подобные же шамозито-гематитовые руды имеются и в других местностях<sup>40</sup>.

**Бразильские гематиты.** В метаморфизованных породах Minas Geraes (Бразилия) докембрия<sup>41</sup> имеются мощные залежи богатого гематита, залегающие в формации железистого песчаника (итабирита), подстилаемого массивным кварцитом. Генезис этого определенно осадочного гематита (он до сих пор еще не эксплуатировался) вызывает сомнение. Оолитовой структуры не наблюдается, ископаемые также отсутствуют.

Harder и Chamberlin говорят следующее: «Не будучи уверены в том, что окись железа осадилась непосредственно из морской воды, мы предпочтаем предполагать, что здесь играли роль железные бактерии».

Можно выставить и другую гипотезу, а именно, что эти руды представляют обломочный, чрезвычайно мелкозернистый гематит, принесенный сюда из глубоко окисленного покрова близлежащих материков, который в дальнейшем был метаморфизован.

## ОБЗОР ОСАДОЧНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД

Из предшествующих описаний видно, что в болотах, озерах и реках отлагаются водные окиси железа, преимущественно лимонит, и могут осаждаться менее значительные количества сидерита, серно- и фосфорнокислого железа. В солоноватой воде или в литторальных условиях и в присутствии значительного количества органических веществ отлагается также и сидерит.

Относительно морских руд не подлежит сомнению, что глауконит и родственные ему силикаты железа отлагаются в море и при особых восстановительных условиях могут образоваться также сидерит и двусернистое железо. Вероятно также, что гематит развивается частично путем окисления сидерита и глауконита, частично же путем накопления обломочного материала. Образование в морской воде лимонита менее вероятно, если учесть сильное обезвоживающее действие соляных растворов. Многие из «морских» лимонитов являются продуктами окисления сидерита и силикатов железа.

Все морские железные руды представляют мелководные отложения, и часто наблюданную оолитовую структуру приходится отчасти приписать сопровождающему отложение действию волн и течений. Многие из наблюдающихся замещений, несомненно, произошли немедленно вслед за отложением. Некоторые из геологов, например Cayeux, держатся мнения, что руда представляла собою известняк органического происхождения, путем последующих замещений превратившийся в гематит и сидерит, но эта гипотеза не находит себе подтверждения.

Везде, где образуется двусернистое железо, преобладали восстановительные условия; сульфид осадился в качестве коллоида.

Естественно, что в результате процессов поднятия суши и эрозии многие из этих месторождений могли обогатиться путем растворения и уноса кальцита, но железо никак не могло быть введенным атмосферными водами.

Таким образом, мы приходим к представлению о мелководных заливах, в которых процветали коралловые рифы или дно которых было выложено обломочным материалом, образовавшимся из более старого известняка, содержащего окаменелости. В эти заливы периодически насыпались массы мелкого обломочного материала из глубокого покрова разрушавшихся окружающих пород материка, с преобладающим тропическим климатом; этот обломочный материал, как и всегда, содержал значительное количество гематита. Поступающая с суши вода, без сомнения, содержала двухгексислое железо. В этом перемешиваемом волнами иле происходили многочисленные и сложные реакции. Образовывались коллоидальные силикаты железа, быстро окислявшиеся в гематит или замещавшиеся сидеритом. Оолиты или известковые скелеты организмов замещались гематитом или сидеритом, но все эти сложные процессы происходили почти одновременно. В настоящее время несколько сходные условия наблюдаются, например, на южной стороне Melokai (Гавайские острова), где такой гематитовый ил покрывает дно обширного, неглубокого кораллового рифа.

Естественно, существуют осадочные толщи пород, содержащие железо, но не в достаточном количестве, чтобы быть названными рудами. Из них стоит упомянуть о глауконитовых отложениях, имеющихся во многих формациях и о «железной формации» области Верхнего Озера (Lake Superior).

В генезисе оолитов значительная роль принадлежит коллоидным осадкам. Полагают, что известковые оолиты отложились последовательными слоями геля, углекислого кальция, который почти немедленно превратился в волокнистый кальцит. Подобным же образом и концентрические структуры сидерита и шамозита прошли через стадию геля, сопровождавшуюся адсорбцией фосфора.

## ОСАДОЧНЫЕ МАРГАНЦЕВЫЕ РУДЫ<sup>42</sup>

Земная кора содержит несравненно меньше Mn, чем Fe; в пересчитанных Clarke средних анализах изверженных пород можно видеть всего 0,078% марганца. Точно так же месторождения марганцевых руд далеко не так многочисленны, как месторождения железных. Тем не менее марганец содержится во многих минеральных источниках. Очень незначительное его количество присутствует и в морской воде. Известны как морские, так и лакустриновые и речные осадочные месторождения марганца. Согласно опытам, проведенным E. C. Sullivan<sup>43</sup>, содержащийся в породах марганец под действием насыщенной углеродом воды или слабого раствора серной кислоты переходит в раствор легче, чем железо. Он установил также и то, что из смеси сернокислого марганца и железа под действием углекислого кальция выпадет все железо прежде, чем начнет осаждаться марганец. Уже много лет назад Fresenius также установил, что из воды минеральных источников сначала осаждается железо (в виде лимонита), а марганец остается в растворе гораздо дольше. Этим и объясняется повсеместно наблюдающееся разделение этих двух металлов в окисленной зоне.

Марганец растворяется преимущественно в виде бикарбоната, реже в виде сульфата (стр. 118), возможно и в виде фосфата. Он легко осаждается при окислении, обычно в виде  $MnO_2$  (пиролюзит, 63,2% Mn) или в виде несколько водного псиломелана, или вада (непостоянная

смесь окислов марганца), реже в виде манганита ( $Mn_2O_3H_2O$ ). Осадок обычно представляет собою гель, который со временем отвердевает, но обладает способностью впитывать некоторые окислы, в особенности бария и калия. Подобно лимониту двуокись марганца осаждается действием бактерий<sup>44</sup>.

**Болотная марганцевая руда.** Выше говорилось, что многие болотные железные руды содержат марганец; известны также и чисто марганцевые болотные руды, хотя их месторождения и не так многочисленны. Эта руда землистая и мягкая, по составу приближающаяся к ваду. Болотный марганец частично состоит из остова твердой глянцевитой черной руды с углублениями, заполненными черным, порошковидным веществом. Мощность этих месторождений редко превышает несколько футов. Описываемое Harder<sup>45</sup> небольшое месторождение близ Wickes (Монтана) залегает на плоском дне ручья, покрыто землею, а ниже залегает охровый болотный лимонит. В Hillsborough (New Brunswick) имеется более обширное и мощное месторождение; по имеющимся сведениям оно занимает площадь свыше 17 акров; мощность —  $6\frac{1}{2}'$ . Анализ этой руды дает 45,81% Mn; 9,95% Fe; 0,03% S; 0,05% P и 5,36%  $SiO_2$ <sup>46</sup>.

**Марганец в лакустриновых и морских отложениях.** Многие осадочные образования во всех странах света содержат марганец из разрушающихся пород материка. Он встречается в виде карбоната, налета или конкреций двуокиси в туфах, кварцитах, песчаниках, глинах, глинистых сланцах и известняках; часто содержится в пластах яшмы и радиоляриевых кремнистых туфов. Осадки, содержащие большое количество марганца, перекристаллизовываются в кристаллические сланцы, причем марганец принимает форму родонита, родокрозита или магнезиального гранита (спессаббит). Хорошо известно присутствие марганцевых желваков в отложениях морских глубин; они рассматриваются как продукты подводных выделений из красного пеллагического ила, скорее как продукт химического осаждения из вод океана. Однако эти осадочные породы лишь весьма редко содержат марганец в таком количестве, чтобы представлять экономическое значение, и лишь последующей концентрацией, в особенности эффективной в областях глубоко идущих процессов элювиального разрушения пород, развиваются ценные месторождения (стр. 117—123). N. C. Dale<sup>47</sup> описывает прекрасный образец, без сомнения, осадочного и практически неизмененного месторождения в Newfoundland. Оно не представляет большого экономического значения. Металл присутствует в виде карбоната, с некоторой примесью  $MnO_2$ , в форме желваков, в сланцевых и известковых пластах кембрийского возраста и ассоциирован с фосфорнокислым кальцием желваковой структуры, гематитом и баритом; в этом месторождении присутствует псиломелан, также содержащий барий. Такого рода месторождения могут, вероятно, образоваться только в мелководье или вблизи материка, где протекало разрушение пород.

Такие осадочные образования убогой марганцевой руды весьма многочисленны, как, например, «железная формация» Cuypa Range (Minn), содержащая марганец (стр. 141).

Крупные месторождения марганца в б. Кутаисской губ. Закавказья (Грузинская республика<sup>48</sup>), видимо, морского осадочного происхождения, но возможно, что и здесь имело место обогащение, как следствие разрушения. Эти месторождения, считающиеся величайшими в мире, представляют собой пласти зооценовых глин, мергелей и песчаников; по-

следние залегают над известняками мелового возраста и слагают вершину обширного плато. Пласти руды мощностью от 5 до 8' залегают у основания эоцене; они, состоят из нескольких пропластков оолитового пиролюзита сцементированного землистой марганцевой рудой. По имеющимся сведениям они занимают площадь в 26 км<sup>2</sup>. Руды в среднем содержат 40—50% Mn и 0,16% P. Drake дает полный анализ руды, содержащей 86,25% Mn; 0,47% Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>; 0,61% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0,3% NiO, следы меди. Как и всегда, в этих рудах присутствует барий. В период, предшествовавший мировой войне, ежегодная добыча доходила до 1 млн. метрических т<sup>49</sup>.

## ОТЛОЖЕНИЯ ФОСФАТОВ<sup>50</sup>

**Состав фосфатов кальция.** Фосфор (согласно F. W. Clarke) входит в средний состав изверженных пород в количестве лишь 0,13%; в анализах осадков можно видеть еще меньшее его количество. Тем не менее он играет первостепенную роль в жизни растений и животных как морских, так и наземных, и местами мы видим громадные скопления его соединений. Наиболее распространенной его солью является фосфорнокислый кальций; фосфорнокислые соединения железа, алюминия, свинца и прочих металлов встречаются несравненно реже.

Апатит, представляющий наиболее распространенный вид фосфорнокислого кальция, содержит также CaF<sub>2</sub> или CaCl<sub>2</sub>. Формулы можно изобразить следующим образом: Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>F и Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>Cl или же 3Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · Ca(F, Cl)<sub>2</sub>, в последней формуле первая часть представляет фосфорнокислый кальций с тремя основаниями. Фтористый апатит содержит 42,3% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; хлористый апатит — 41,0%. Чистая соль фосфорной кислоты с тремя основаниями, которую берут в качестве стандарта для выражения содержания фосфорных пород, содержит 45,8% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. В осадочных породах соль фосфорной кислоты более или менее приближается к фосфату с тремя основаниями, но иногда она почти идентична со фтористым апатитом.

В отложениях гуano находят значительное число кислых водных фосфатов, например монетита (CaHPO<sub>4</sub>) и бразита (CaHPO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O), но они не представляют большого практического значения, так же как и связанные с ними отложения различных сложных фосфорнокислых соединений железа, магния, натрия и аммония. Минералогический состав морских и остаточных фосфоритов весьма сложен<sup>51</sup>. Апатит, по своему существу, является минералом, образующимся при высокой температуре, и морские фосфориты не признаются за апатит; в этих позднейших фосфоритах первенствующую роль играют водные карбонато-фосфаты. Они аморфны и без сомнения являются отвердевшими коллоидными осадками. Различают два вида: коллофан (9CaO · 3P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> · CaO · CO<sub>2</sub> · H<sub>2</sub>O + nH<sub>2</sub>O) и флюоколлофан. В кристаллические минералы, которые отчасти представляют собою измененные коллоиды, а отчасти склеруповатые и соско-видные структуры, входят даллит и франколит; это два сходных карбоно-фосфата с фтором или без него.

Помимо обломочных примесей морские фосфатные породы содержат углекислый и фосфорно-кислый кальций; часто присутствуют остатки скелетов организмов и зерна глауконита. Более бедным видам можно присвоить название фосфоритовых песков, мергелей или известняков. Более богатые виды обычно оолитовые, темной окраски породы, иногда

с характерным беловатым оттенком; в них нередко содержится большое количество органических веществ. Удельный вес 70% фосфоритовой породы в среднем 2,9, т. е. выше чем известняка. Наилучшим способом распознавания служит быстрое полевое испытание молибденово-кислым аммонием.

**Другие фосфориты.** Из фосфорно-кислых соединений железа наиболее известны вивианит  $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ; он часто встречается в болотных железных рудах. Из фосфорно-кислых соединений алюминия наиболее известны вавеллит  $4\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{Al}(\text{CH})_3 + 9\text{H}_2\text{O}$  и бирюза  $\text{AlPO}_4 \cdot \text{Al}(\text{OH})_3 + \text{H}_2\text{O}$ ; первый из них местами используется в качестве сырья для получения фосфора, вторая представляет голубой полудрагоценный камень. Оба обычно являются продуктами самой верхней зоны земной коры, иногда они образуются даже в зоне окисления. В подобных же геологических условиях встречается фосфорокислый свинец, пироморфит, по формуле соответствующий хлористому апатиту. Другие фосфаты, подобные амблигониту, фосфорокислое фтористое соединение листия и алюминия, монацит и другие редкоземельные фосфаты встречаются в пегматитовых дайках.

**Месторождения фосфоритов.** Насколько месторождения фосфорокислого кальция, представляющие экономическое значение, разнообразны по своему характеру, можно видеть из нижеследующего перечня:

1. Включенные в изверженные породы или продукты их дифференциации — металлические руды.
2. Апатитовые жилы, тесно связанные с пегматитовыми дайками.
3. Морские конкреционные отложения.
4. Поверхностные скопления экскрементов животных, например, пещеры летучих мышей и острова гуано.
5. Метасоматические месторождения замещения известняка фосфорокислыми растворами (из пп. 3 и 4).
6. Остаточные скопления под действием атмосферных осадков (из п. 3).

**Использование.** Фосфориты используются преимущественно в качестве удобрения. К группе 1-й принадлежит, например, апатитовый концентрат из адирондакских магнетитовых руд; к группе 2-й апатитовые жилы Канады и Норвегии; условия залегания других групп описываются ниже.

Для использования нерастворимый фосфат с тремя основаниями превращаются в растворимую форму при помощи 60%-ного раствора серной кислоты<sup>52</sup>; вот почему фосфоритовая промышленность может развиваться только в случае получения достаточного количества дешевой серной кислоты. В Ducktown Tennessee на медноколчеданном месторождении построены большие сернокислотные заводы, снабжающие кислотою заводы южных штатов, перерабатывающие фосфориты. При обработке  $\text{H}_2\text{SO}_4$  порода частично разлагается и образуется растворимый фосфорокислый кальций, называемый также суперфосфатом или монокальциевым фосфатом ( $\text{CaH}_4\text{PO}_4(2 \cdot \text{H}_2\text{O})$ ), а также некоторое количество труднее растворимого двукальциевого фосфата. За стандарт считают 77% фосфорокислого кальция с тремя основаниями и менее 3% глинозема и железа, но далеко не вся продукция достигает этого качества.

Опыты показали, что даже фосфорокислый кальций, или апатит, растворимы в особенности в воде, содержащей  $\text{CO}_2$ ; растворимость в растворах  $\text{CaCO}_3$  или в чистой воде незначительна, но ей способствует при-

существие хлористого натрия<sup>53</sup>. Сильное поглощение фосфорной кислоты глинами и почвами приписывается присутствию коллоидов.

**Продукция**<sup>54</sup>. Большая часть фосфатов добывается из осадочных и остаточных месторождений, хотя некоторое их количество получается из апатитовых месторождений и основных шлаков. В США большая часть фосфоритов поступает из Флориды, Tennessee и Южной Каролины (в том порядке, как они перечислены здесь); первое место, бесспорно, принадлежит Флориде. В 1925 г. производительность в США равнялась 3 254 000 т. Большое количество руд было экспортировано. В 1925 г. цена на флоридские фосфориты стояла в среднем 3,32 долл. за тонну<sup>55</sup>.

В 1925 г. прочие страны, Алжир, Марокко и Тунис, дали около 4 млн. метрических т, океанские острова около 478 000 т. В настоящее время Африка вытесняет США с европейских рынков.

**Генезис фосфатных пород.** Все живущие на земле животные вливают фосфорную кислоту и осваивают ее в качестве фосфорнокислого кальция в своих костях, и в экскрементах и в местах разложения со временем образуются большие скопления фосфатов. Помимо фосфатов в этих месторождениях присутствует значительное количество аммония и азота, за исключением мест, где обилие осадков вызвало сильное выщелачивание. Сюда можно отнести скопления костей, иногда встречающиеся в некоторых формациях и в пещерах.

То, что называется «гуано», является экскрементами морских птиц, собирающихся громадными стаями на пустынных побережьях и островах океана, например вдоль по побережьям Перу и Чили, на островах Christmas, в Индийском океане и в Вест-Индии. Некоторые из этих скоплений покрывают сплошь весь остров слоем, глубина которого иногда достигает 100'. Установлено, что при благоприятных условиях отложение происходит весьма быстро. В сухом климате гуано бывает различной окраски и структуры, обычно зернисто, светлой окраски, пористо и содержит в среднем 10,90% азота, 27,60% фосфора и от 2 до 3% калия<sup>56</sup>.

В Вест-Индии, например, на островах Navassa<sup>57</sup> и Sombego отложения выщелочены и часть их превратилась в твердую и компактную массу; остальная осталась пористой и рыхлой. Произошла концентрация фосфора до 70 или даже 75%. Гуано здесь содержит от 21 до 40% фосфорной кислоты и от 1 до 2% серной кислоты, от 20 до 45% извести, обычно также значительное количество окиси железа и глиноzemа. Подстилающий известняк или изверженная порода могут местами замещаться фосфорнокислыми растворами.

Морские пластины фосфоритов также получают свой материал от животных. Морская вода содержит фосфорную кислоту, хотя количество ее весьма незначительно, и некоторое количество фтора; как тот, так и другой компонент присутствуют в количестве, не превышающем 1 : 1 000 000.

Многие скелеты морских организмов, в особенности принадлежащие к древним формациям, богаты фосфором и фтором<sup>58</sup>. Подвергнутый анализу кембрийский *Obulus* содержал 36,54% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 2,78% F; более поздняя *Lingula* — 23,20% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 1,52 F<sup>59</sup>. Фосфор содержит также *Pteropoda*, *Lamellibranchiatae*, *Gastropoda* кораллы и простейшие водоросли, хотя и в незначительном количестве. Фосфор и фтор обнаруживаются в костях и зубах рыб. Таким образом, все морские осадки содержат

большее или меньшее количество фосфатов, и приходится удивляться, что фтор не является менее редким компонентом осадочных пород<sup>60</sup>.

В некоторых пластиах фосфаты рассеяны небольшими количествами, отчасти в виде небольших конкреций, отчасти в обломках скелетов организмов. В более ценных месторождениях фосфориты сконцентрированы в большей степени и принимают форму желваков или конкреций (иногда крупных), или оолитовых пород, сложенных из мелких оолитов, часть которых имеет концентрическую и волокнистую структуру. Желваки иногда имеют скелет раковины в качестве ядра и вследствие обогащения могут содержать в периферических слоях больше фосфора, чем в центральных.

Хотя при исследовании морских глубин иногда находят желваки фосфорита, условия их образования, вероятно, более благоприятны на небольшой глубине, близ берегов, где более развита органическая жизнь или, как утверждают некоторые, где внезапные перемены температуры, вызванные сталкивающимися течениями, убивают множество организмов.

О генезисе оолитовых и желваковых фосфатных пород, в некоторых из которых органические остатки присутствуют лишь в ограниченном количестве, очень много дискусируют, но до сих пор он остается неустановленным. Полагают, что в органическом веществе может образоваться фосфорнокислый аммоний, который, реагируя с остатками скелетов, переходит в фосфорнокислый кальций<sup>61</sup>. Возможно, что эти процессы продолжают протекать в еще неотвердевших осадках в течение некоторого периода времени после отложения.

После поднятия и образования континента процессы выветривания производят обогащение посредством выведения углекислого кальция. Этот процесс особенноителен в областях, где разрушение пород глубокое, как, например, это имеет место в Южных штатах. В штатах Utah и Idaho фосфатные породы почти не изменены. Наилучшими растворителями для фосфатов, повидимому, являются гумусовые кислоты и  $\text{CO}_2$ <sup>62</sup>.

Весьма интересно проследить цикл перемещения фосфатов. Поверхностные воды растворяют их на месте их первоначального пребывания, т. е. в изверженных породах, и далее они поглощаются растениями и животными как на суше, так и в море. По смерти организмов фосфаты возвращаются в почву или же образуют отложения и снова растворяются, чтобы быть поглощенными новыми поколениями организмов.

**Месторождение фосфатных пород.** Месторождения фосфатов встречаются в отложениях морского дна всех возрастов и почти во всех странах, во всяком случае, начиная с кембрия, когда, повидимому, началось выделение фосфорной кислоты обитателями моря, и до третичной эпохи; нет никакого сомнения в том, что на дне океанов образование таких отложений продолжается и в наше время. При описании не представляется возможным выделить первичные морские отложения от изменившихся, вследствие выветривания.

В Северной Франции эксплуатируются обширные месторождения, залегающие в меловых отложениях и обогащенные выветриванием. В юго-западной Франции, в департаментах Lot и Lot-et-Garonne фосфориты залегают в беспорядочных трещинах с глиной в юрском известняке<sup>63</sup>. Эти отложения, вероятно, образовались замещением при действии нисходящих растворов, насыщавшихся в отложениях фосфоритов осадочной толщи.

В настоящее время деятельно ведется эксплоатация фосфоритовых отложений на границе между Алжиром и Тунисом<sup>64</sup>.

Месторождения приурочены к нижнему эоцену, перекрывающему отложения мела, и слагаются частично крупными конкрециями в мергелях, где богатый фосфорит иногда представляет лишь поверхностную корку; другие состоят из мягкого материала, представляющего мелкие и глаженные бурые или желтоватые зерна фосфата, сцепленные кальцитом; в них попадается много окаменелостей и содержится значительное количество битуминозного вещества. По имеющимся сведениям мощность самого богатого фосфоритового пласта 10—15'.

В США месторождения фосфоритов расположены в трех областях: 1) побережье Атлантического океана, Северная и Южная Каролина и Флорида, в породах третичной эпохи; 2) в Tennessee, в девонских и силурийских отложениях; 3) в области Utah-Idaho, в каменноугольных породах.

В области Utah-Idaho<sup>65</sup> фосфориты найдены лишь недавно и на обширной площади обещают быть весьма ценными. В настоящее время из-за неорганизованности транспорта они разрабатываются лишь близ Montpelier (Idaho) и в небольшом масштабе. Область залегания фосфоритов распространяется к северу от Ogden (Utah) через весь Idaho, Wyoming и Montana и далее в Канаду; наиболее ценные месторождения расположены в горном кряже, представляющем северное продолжение хребта Wasatch, и приурочиваются к формации Park City (верхний карбон, Пенсильванский ярус), средняя мощность которой около 600'. Эта формация сложена из известняков, частично кремнистых слоев фосфоритов и глинистых сланцев. Горизонт фосфоритов приурочен к средней части толщи с общей мощностью в среднем 200' (см. вып. I, рис. 12. 13 и вып. II, рис. 26).

Породы представляют сплошные фосфатовые мягкие сланцы и пластины фосфатовых пород с некоторым количеством известняка. Наиболее бо-

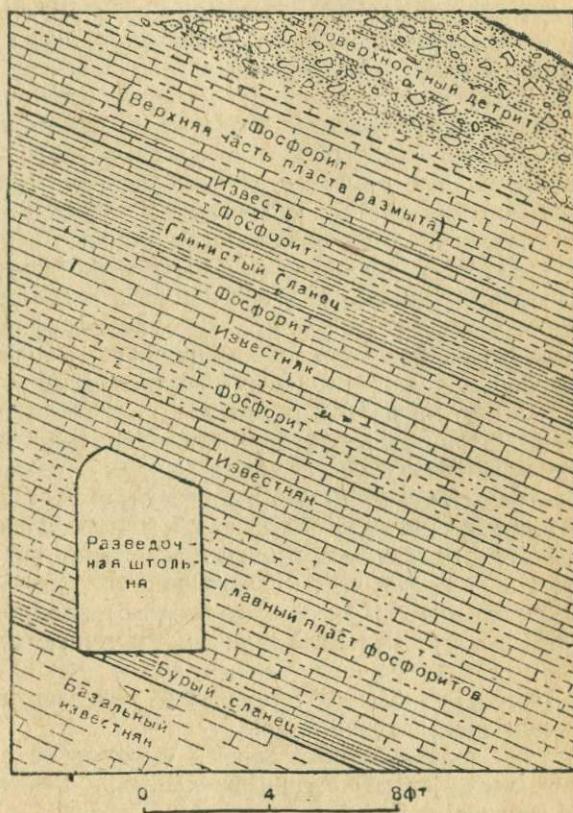


Рис. 26. Разрез фосфоритовых пластов Montpelier, Idaho (по Weeks & Ferrier).

к северу от Ogden (Utah) через весь Idaho, Wyoming и Montana и далее в Канаду; наиболее ценные месторождения расположены в горном кряже, представляющем северное продолжение хребта Wasatch, и приурочиваются к формации Park City (верхний карбон, Пенсильванский ярус), средняя мощность которой около 600'. Эта формация сложена из известняков, частично кремнистых слоев фосфоритов и глинистых сланцев. Горизонт фосфоритов приурочен к средней части толщи с общей мощностью в среднем 200' (см. вып. I, рис. 12. 13 и вып. II, рис. 26).

Породы представляют сплошные фосфатовые мягкие сланцы и пластины фосфатовых пород с некоторым количеством известняка. Наиболее бо-

гатый пласт, эксплуатируемый в Montpelier и содержащий 70 и более процентов  $\text{Ca}_3\text{P}_2\text{O}_8$ , залегает у основания фосфатовой серии; его мощность равняется 5—6'. Это черная или матово-серая оолитовая порода с крилтокристаллическими конкрециями всевозможных размеров от  $\frac{1}{2}''$  и выше.

Большие участки фосфоритовых пластов мощностью местами до 75' содержат от 30 до 50%  $\text{Ca}_3\text{P}_2\text{O}_8$ . Пласти смяты в складки и местами имеют крутое падение. Порода твердая, разработки ведутся подземными работами. Большого обогащения не наблюдается.

Фосфориты Западного Tennessee<sup>66</sup> эксплуатируются уже с 1894 г.; в настоящее время ежегодная добыча равняется 400 000 т. Эти фосфориты делят на три класса: 1) бурые остаточные фосфориты, происшедшие от выщелачивания ордовических фосфоритовых известняков; пласти мощностью от 3 до 8' и содержат до 80% фосфорнокислого кальция; 2) синие или черные пластовые фосфориты, залегающие в породах девонского возраста; наблюдаются переходы от оолитовой структуры к сланцевой с промежуточными компактной и конгломератовой структурами. Высокопроцентная порода редко достигает мощности, превышающей 20''. Рассеянные в зеленом песке желваковые разновидности содержат около 60%  $\text{Ca}_3\text{P}_2\text{O}_8$ ; 3) белый фосфорит, представляющий собою дотретичный продукт замещения или выполнения пустот в известняке карбона. В настоящее время не эксплуатируется.

Открытые в 1867 г. залежи фосфоритов в Северной и Южной Каролине<sup>67</sup> тянутся вдоль берега моря на расстоянии 60 миль. Они залегают на небольшой глубине в рыхлых отложениях миоценового возраста, богатых окаменелостями, и состоят из так называемой валунчатой породы, из которой углекислый кальций и выщелочен и частично замещен фосфатами. Пустоты, являющиеся следствием растворения, придают этим образованиям вид массы, сложенной из отдельных талек. Мощность колеблется от 1 до 3'. Их перекрывают зеленые песчаные мергеля. Подобного же рода месторождения эксплуатируются в реках при помощи драг; они состоят из округленных водою обломков фосфоритов, снесенных в реку из выше залегающих свит. Эксплоатация ведется при помощи паровых экскаваторов и драг.

По продуктивности залежи фосфоритов в Флориде<sup>68</sup> занимают второе место после северноафриканских. Весьма значительное количество экспортится.

В общем залежи следуют направлению северо-западного побережья штата, но отстоят на некотором расстоянии от берега. Здесь существует несколько типов; все они залегают в формации Alum Bluff или выше ее, или же в подстилающем Виксбургском (Vicksburg) известняке; обе формации олигоценового возраста. Глины, мергеля и песчаники Alum Bluff на многих горизонтах содержат большое количество слаженных желтоватых или бурых желваков фосфорита, которые Matson и Sellards относят к первичному отложению и считают источником всех прочих отложений. Местами эти пласти эксплуатируются, но в общем не представляют большого экономического значения. Материал весьма сходен с фосфоритами Cafsa (Тунис).

Так называемые «поверхностные валунчатые» залежи, представляющие наибольшее значение, являются расслоенными обломочными и остаточными массивами; они покоятся на формации Alum Bluff и, предположительно, имеют ее своим источником. Их приурочивают к миоцену

или плиоцену. В них содержатся конкреции белого фосфорита с 65—70% фосфорнокислого кальция с тремя основаниями, тогда как более мелко кристаллическая материнская вмещающая порода содержит его в количестве от 20 до 30%. Они залегают на высоте 100' и составляют часть пластов с остатками скелетов раковин, зубами акул, костями мастодонтов, лошадей и носорогов. Глубина залегания в среднем 12', песчаного наноса — до 40'. Пригодные для эксплоатации залежи занимают в среднем по нескольку акров, некоторые даже до 40.

Отложения типа называемого «фосфатные породы» (rock phosphates) залегают в виксбургском известняке нижнего олигоцена, во впадинах его поверхности с признаками вторичного происхождения и, надо полагать, выщелочены из залегающей поверх их формации Alum Bluff. Кон-

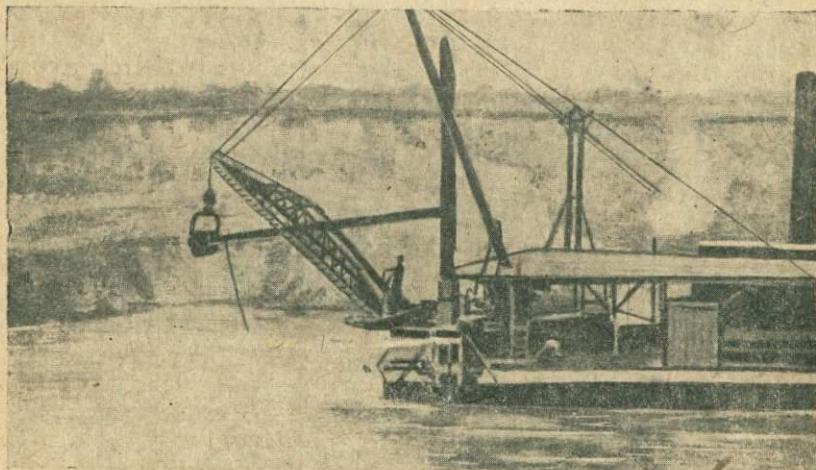


Рис. 27. Драгирование фосфоритов во Флориде. Верхний пласт представляет песчаный нанос (заснято F. B. Van Horp).

центрация осуществлялась химическим и механическим процессами, о чем свидетельствует масса округленных или полуугловатых конкреций фосфорита, местами рассортированных приблизительно по размерам в общей массе песков, глин и мягкого фосфорита: отложения покрыты песками плейстоцена мощностью 50'. Некоторые залежи занимают от 5 до 35 акров, другие представляют лишь карманы в известняке. Мощность в среднем 30' и иногда наблюдается переход в залегающий снизу известняк. Диаметр конкреций или желваков колеблется в пределах от нескольких дюймов до 10'; они плотнозернисты, светлосерой окраски и иногда содержат пустоты, выложенные вторичным и сосковидным фосфатом. Скелеты раковин попадаются редко, а обломки костей и зубов акул — часто. Геохимическими процессами являются замещение известняка фосфатом и растворение остаточного известняка до шламма, приводящие к концентрации; местами наблюдаются признаки механического перенесения. Полагают, что мягкие фосфаты образуются путем замещения пористого известняка. В этих залежах количество фосфата «поддающегося извлечению» вряд ли превышает 15%.

Так называемая «речная галька» является плейстоценовыми отложениями в современных реках; они не эксплуатируются. Matson считает,

что по минералогическому составу флоридские фосфориты представляют коллофан с франколитом (стр. 63).

Разработка ведется паровыми лопатами, гидравлическим и дражным способами (рис. 27) с применением промывки для удаления глины, дробления, грохочения, разборки вручную.

Химический состав морских и остаточных фосфоритов дается в при водимых ниже анализах, из которых I и III представляют неизмененные морские отложения, а II — остаточные.

### Анализы фосфоритов

	I	II	III
Нерастворимый остаток . . . . .	1,82	6,69	3,05
SiO <sub>2</sub> . . . . .	0,30	—	—
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,50	2,14	1,03
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,26	0,61	0,64
MgO . . . . .	0,22	0,33	0,57
CaO . . . . .	50,97	46,03	48,58
Na <sub>2</sub> O . . . . .	2,00	—	0,09
K <sub>2</sub> O . . . . .	0,47	—	—
H <sub>2</sub> O — . . . . .	0,48	0,79	—
H <sub>2</sub> O + . . . . .	0,57	3,47	—
CO <sub>2</sub> . . . . .	1,72	3,93	4,60
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	36,35	31,50	29,74
SO <sub>3</sub> . . . . .	2,98	—	2,75
Ce . . . . .	—	1,86	0,11
F . . . . .	0,40	—	2,12
Органическое вещество . . . . .	—	—	7,45
Итого . . . . .	99,04	97,35	100,79

I. Crawford Mountains, Utah. Seo. Steiger, analyst. „Bull.“ 430, U. S. Geol. Survey 1909, стр. 465. Титан отсутствует, органическое вещество не определялось, хлора—следы.

II. Florida. G. H. Eldridge. Gafsa, Tunis. O. Tetre. „Zeitschr. prakt. Geol“. 1907, стр. 248.

III. Анализ пересчитывался на сухом материале с 3,81% H<sub>2</sub>O · P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>—равняется 64,93% Ca<sub>3</sub>P<sub>2</sub>O<sub>8</sub>; 2,35% CaF<sub>2</sub>; 4,67% CaSO<sub>4</sub>; 10,45% CaCO<sub>3</sub>.

<sup>1</sup> C. K. Leith and W. J. Mead, Metamorphic geology, New-York 1915, pp. 64 and 69.

<sup>2</sup> G. Bertrand. The importance of minute chemical constituents of biological products. „Science“, Dec 24, 1926.

<sup>3</sup> Моллюски, ракообразные, многие насекомые (например *Blatta orientalis*) содержат медь в количестве от 1 до 14 мг на 100 г живого организма. Цинк, являющийся характерным компонентом человеческой печени, присутствует также в гастropодах: часто цинк присутствует в большем количестве, чем медь. Зола некоторых гастропод содержит около 12% ZnO и 7,8% CuO. См. Carl Oppenheim. „Handbuch der Biochemie“, Berlin, 1, 1909.

<sup>4</sup> A. H. Phillips нашел 0,123% V по весу всего животного, высущенного при температуре 110°. „Am. Jour. Sci.“, 4 ch. series, 46, 1918, стр. 473. M. Henze нашел 18,5 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, в хромогене и в крови асцидий. В некоторых видах этих животных ванадий отсутствует. „Zeit. f. Physiol. Chemie“ 72, 1911, pp. 494—501.

<sup>5</sup> J. Johnston, E. M. Merwin and E. D. Williamson. The several forms of calcium carbonate. „Am. Jour. Sci.“, 4 th ser., 41, 1916, pp. 473—512.

6 J. Johnston and E. D. Williamson. The role of inorganic agencies in the deposition of calcium carbonate. „Jour. Geol.“ 24, 1916, pp. 729—750.

7 T. W. Vaughan. Chemical and organic deposits of the sea, „Bull. Geol. Soc. Am.“ 28, 1917, pp. 933—944.

W. M. Bradley. Algae reefs and cölites of the Green River formation. „Prof. Paper“ 154-G, U. S. Geol. Survey, 1929, pp. 203—223.

Современный обзор происхождения известняков читатель найдет у W. H. Twenhofel „Treatise on Sedimentation“. Baltimore 1926, pp. 214—265.

8 Арагонит — нестойкий вид углекислого кальция, всегда стремится перейти в кальцит. Его очень много в позднейших или третичных отложениях.

9 R. B. Lado. Non-metallic minerals. New-York 1925, pp. 123—130.

10 S. J. Kübel. „Mineral Resources“, U. S. Geol. Survey, 1900, pp. 869—873.

G. P. Merrill. The non-metallic minerals. New-York 1910, pp. 147—152.

11 E. O. Ulrich. „Eng. and Min. Jour.“ 73, 1902, p. 895.

12 E. F. Burchard. „Mineral Resources“ U. S. Geol. Survey, 1916, с библиографией.

13 E. F. Burchard and W. E. Emley. The source, manufacture and use of lime. „Mineral Resources“, U. S. Geol. Survey, pt. 2, 1918, pp. 1509—1593.

E. C. Eckel. Cement, limes and plasters. New-York 1922.

W. E. Emley. Manufacture of lime. „Tech. Paper“ 16, U. S. Bureau of Standards, 1913.

14 F. M. Van Tuyl. The origin of dolomite. „Ann. Rept. Iowa Geol. Survey“ 25, 1914, pp. 251—422; „Am. Jour. Sci.“, 4th ser., 42, 1926, pp. 249—260.

Подробное трактование вопроса о доломите читатель найдет у F. W. Clarke „Geochemistry“. „Bull.“ 717, U. S. Geol. Survey, 1924, pp. 565—579.

E. Steidtmann. Origin of dolomite, etc. „Bull. Geol. Soc. Am.“ 28, 1917, pp. 431—450.

15 W. C. Phalen and E. J. Katz. „Mineral Resources“, U. S. Geol. Survey 1908—1925, под заглавием „Abrasives“.

Приготовление и использование см. у Percy A. Boeck „Met. And Chem. Eng.“ 12, 1914, pp. 109—113.

16 См. Arnold and Anderson. „Bull.“ 315, U. S. Geol. Survey, p. 438.

17 N. Androussoff. Guide des excurs. du VII Cong. géol. int., 29, 1907, p. 6.

18 B. Doss. „Zeitschr. Prakt. Geol.“ 20, 1912, p. 460.

E. C. Harder. Iron-depositing bacteria and their geological relations. „Prof. Paper“ 113, U. S. Geol. Survey, 1919, p. 61.

19 Упоминается F. W. Clarke, в его „Geochemistry“. „Bull.“ 770, U. S. Geol. Survey, 1924, p. 536.

20 Гидроокиси этих металлов часто скапливаются на внутренних поверхностях водопроводных труб.

21 A. Geikie. Texbook of geology. 4th ed., 1903, p. 187.

22 F. W. Clarke. Geochemistry. „Bull.“ 770, U. S. Geol. Survey, 1924, p. 538.

23 Zirkel. Lehrbuch der Petrographie 3, 1894, p. 574.

24 R. Beck. Die Lehre von den Erzlagerstätten, 3-ье, изд., 2, 1909, p. 397.

F. W. Clarke. Geochemistry. „Bull.“ 770, U. S. Geol. Survey, 1924, p. 535.

Ossian Aschan. „Zeitschr. prakt. Geol.“ 15, 1907, pp. 56—62.

E. J. Moore. „Econ. Geol. 5, 1910, pp. 528—537.

J. M. van Bommelen. „Zeitschr. Anorg. Chemie“ 22, 1906, p. 313.

J. H. L. Vogt. „Zeitschr. Prakt. Geol.“ 2, 1894, p. 30 и 3, 1895, p. 38.

F. M. Stapff, „Zeitschr. Deutsch. geol. Gesell.“ 18, 1866, p. 86.

25 E. C. Harder. Iron-depositing bacteria and their geological relations. „Prof. Paper“ 113, U. S. Geol. Survey, 1919.

26 E. Posnjak and H. E. Merwin. The hydrated ferric oxides. „Am. Jour. Sci.“ 4th ser. 4, 1919, pp. 311—348; The system  $Fe_2O_3$ — $SO_3$ — $H_2O$ . „Jovr. Amer. Chem. Soc.“ 44, pt. 2, 1922, pp. 1965—1994.

H. R. Weiser. The hydrous oxides. New-York, pp. 482.

27 J. T. Singewald. „Econ. Geol.“ 4, 1909, pp. 530—543.

J. T. Singewald. Report on the iron ores of Maryland. Maryland Geol. and Econ. Survey 9, pt. 3, 1911.

28 Ohio Geol. Survey, 5, 1884 p. 378.

29 J. D. Kendall. The iron ores of Great Britain and Ireland, London, 1893, pp. 145—199.

30 Самые лучшие обзоры и библиографию читатель найдет у W. H. Twenhofel, в его „Treatise on sedimentation“. Baltimore 1926, pp. 316—341; 533—543.

- W. H. Bucher. On oölites and spherulites. „Jour. Geol.“ 26, 1918, pp. 593—621.  
 G. Linck. Die Bildung der öölite und Rogensteine. „Neues Jahrbuch, f. Min“, Bl. Bd. 16, 1903, p. 495.  
 31 Помимо общей литературы, приводимой выше, см. W. A. Caspari „Contrib. Chemistry Marine glauconite“ „Proc. Edinburg Royal Soc.“ 30, 1909, p. 364.  
 K. Hummel. Die Entstehung eisenreicher Gesteine durch Halmyrolyse. „Geologische Rundschau“ 13, 1922, pp. 40—136.  
 L. Cayeux. Contrib. étude microgr. des terres sed. Lille, 1897.  
 A. Lacroix. Minéralogie de la France. I, 1893—1895, pp. 406—408.  
 C. S. Ross. The optical properties and chemical composition of glauconite. „Proc. U. S. Nat. Mus.“ 69, 1926, pp. 1—15.  
 32 C. K. Leith. „Mon.“ 43, U. S. Geol. Survey, 1903, pp. 237—279.  
 33 A. W. Stelzner und A. Bergeat. Die Erzlagerstätten, I, 1904, p. 20.  
 E. R. Zalinsky. „Neues Jahrbuch“, Beil. Bd. 19, 1904, pp. 40—84.  
 34 A. Bergeat. „Zeitschr. Pract. Geol.“ 22, 194, pp. 237—249.  
 Beyschlag, Krusch und Vogt. Die Lagerstätten 2, 1913, p. 414.  
 35 „Prof. Paper“ 118, U. S. Geol. Survey, 1919.  
 36 C. H. Smyth. Jr., On the Clinton iron ore. „Am. Jour. Sci“. 3d ser. 43, 1892, p. 487.  
 E. F. Burchard. The Clinton iron ore deposits of Alabama. „Trans. Am. Inst. Min. Eng.“ 39, 1908, pp. 997—1055.  
 E. F. Burchard. The red iron ores of East Tenn. „Bull.“ 16, Geol. Survey, Tennessee, 1913.  
 Burchard, Butts and Eckel. The Birmingham district, Alabama. „BULL.“ 400, U. S. Geol. Survey, 1910.  
 D. H. Newland and C. A. Hartnagel. Iron ores of the Clinton formation. „BULL.“ 123, New-York State Mus., 1908.  
 W. R. Crane Red ore mining methods in the Birmingham district. „Trans. Am. Inst. Min. and Met. Engs.“ 72, 1925, pp. 157—186; также pp. 187—225.  
 Iron ore practice in the Birmingham district. Bur. of. Mines, „Bull. 239, 1926.  
 37 Special reports on the Mineral Resources of Great Britain. „Mem. Geol. Survey“ 8—13, 1919—1924.  
 Также A. F. Hallimond, Beddod iron ores of England and Wales. Idem 29, 1925, pp. 134.  
 W. Barnes. Mining iron ore in the Midlands. „Mining Mag.“, London, March, 1918, pp. 120—126.  
 38 P. M. Nicou. B „Iron ore resources of the world“, Int. Geol. Congress, Stockholm, 1910.  
 L. van Werveke. „Zeitschr. Prakt. Geol“, 1895, p. 497; 1901, pp. 396—403.  
 F. Vilain. Ann. Mines, Mem. 1, 1902, pp. 113—290.  
 G. Berg. Struktur und Entstehung der lothringischen Minette Erze. „Zeitschr. d. d. Geol. Gesell“. 1920, Monatsber., p. 77.  
 L. Cayeux. Les minéraux de fer oölitiques de France, 2, Paris, 1922.  
 39 A. O. Hayes. The Wabana iron ore of Newfoundland. „Mem.“. 78, Geol. Survey Canada, 1915.  
 J. B. Gillott. Folding and faulting of the Wabana ore deposits. „Trans. Canadian Inst. Min. Met.“ 27, 1925, pp. 616—634.  
 40 L. Cayeux. Les minéraux de fer oölitiques de France. 1, Paris, 1909.  
 W. T. Dorpinghaus. Erzlagerstätten vom Chamosit Typus (Spain), Archiv. für Lagerstätten Forschung, Berlin, 1914.  
 41 E. C. Harder and R. T. Chamberlin. The geology of Central Minas Geraes, Brazil. „Jour. Geol.“ 23, 1915, Nos. 4 and 5.  
 42 Прекрасный обзор читатель найдет у D. F. Hewett в „Twenhofel's, Treatise on sedimentation“. Baltimore 1926, pp. 405—418.  
 43 E. C. Sullivan, цитируемый W. H. Emmons в „Bull.“ 46, Am. Inst. Min. Eng. 1910, p. 803.  
 44 G. A. Thiel. „Econ. Geol.“ 20, 1925, pp. 301—310.  
 45 E. C. Harder. Manganese deposits of the United States. „Bull.“ 427, U. S. Geol. Survey, 1910, p. 137.  
 46 „Ann. Rept. Geol. Survey Canada“ 2, 1894, p. 146.  
 E. C. Harder. Op. cit., p. 171.  
 47 H. C. Dale. The Cambrian manganese deposits of Conception and Trinity Bays, Newfoundland, „Proc“, Am. Philos. Soc. 54, 1915, pp. 371—456.

- 48 C. F. Drake. The manganese ore industry of Caucasus. „Trans. Am. Inst. Min. Eng.“ 28, 1898, p. 191.
- E. C. Harder. „Op. Cit.“, p. 208.
- 49 J. C. Pickering. Manganese mining at Tschiatouri. „Eng. And Min. Jour. Press“, Dec. 18, 1926.
- 50 X. Stainer. Bibliographie générale des gisements de phosphates. „Ann. des Mines de Belgique“ 7, 1902, et seq.
- F. W. Clarke. The data of geochemistry. „Bull.“ 770, U. S. Geol. Survey, 1924, pp. 523—534.
- O. Stuttzer. Die wichtigsten Lagerstätten der Nicht-Erze. Berlin 1911, pd. 265—461.
- Oliot Blackwelder. The geologic role of phosphorus. „Am. Jour. Sci.“, 4th ser., 42, 1916, pp. 285—298.
- W. C. Phalen. The conservation of phosphate rock in the United States. „Trans. Am. Inst. Min. Eng.“ 57, 1918, pp. 99—132.
- Издание „Mineral Resources“, U. S. Geol. Survey (теперь Bureau of Mines); различные авторы.
- Издание „Mineral Industry“, New-York; различные авторы.
- 51 A. Lacroix. Sur la constitution mineralogique des phosphorites françaises. Compte Rendu, 150, 1910, p. 1213.
- H. S. Gale and R. W. Richards. Bull. 430, U. S. Geol. Survey, 1910, p. 464.
- W. T. Schaller. „Bull.“ 5-9, U. S. Geol. Survey, 1912, pp. 89—100.
- A. F. Rogers. „Am. Jour. Sci.“, 5 th ser., 3, 1922, p. 269.
- A. F. Rogers. A review of the amorphous minerals. „Jour. Geol.“ 25, 1917, pp. 515—541.
- 52 Реакция представляется следующей формулой:  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2 + 2\text{CaSO}_4$ .
- 53 H. E. Patten and W. H. Wagaman. Absorption by soils. „Bull.“ 52, Bureau of Soils, Dept. Agriculture, 1908.
- O. Schreiner and G. H. Faileyer. Absorption of phosphates and potassium by soils. „Bull.“ 32, Bureau of Soils, Dept. Agriculture, 1906.
- 54 „Mineral Resources“, U. S. Geol. Survey, annual issues.
- 55 R. W. Stone в J. E. Spurr and F. S. Wormser. The marketing of metals and minerals. 1925, pp. 467—485.
- 56 R. A. F. Penrose, Jr. „Bull.“ 46, U. S. Geol. Survey, 1888.
- F. D. Power. Phosphate deposits of the Pacific. „Econ. Geol.“ 20. 1925, pp. 266—281.
- 57 E. V. D'Invilliers. Phosphate deposits of the Island of Navassa. „Bull.“ Geol. Soc. Am.“ 2, 1891, p. 71.
- 58 F. W. Clarke and W. C. Wheeler. The inorganic constituents of marine invertebrates. „Prof. Paper“ 124, U. S. Geol. Survey, 1922.
- 59 Andersson and Sahlbom. Ueber den Fluorgehalt schwedischer Phosphorite. „Bull.“ 4, Geol. Inst. Upsala, 1900, p. 79. „Neues Jahrb.“, ref., 1903, I, pp. 195, 197.
- 60 K. Andréе. Ueber einige Vorkommen von Flusspath in Sedimenten. „Tsch. M. Und p. Mitt.“ 228, 1902, pp. 535—562.
- H. S. Gale and R. W. Richards. „Bull.“ 430, U. S. Geol. Survey, 1910, p. 463.
- 61 Renard and Cornet. „Bull.“ 21, Ser. 3, Acad. Belgique, 1891, p. 126.
- L. Kruft. „Neues Jahrbuch“, Beil. Bd.15, 1902, pp. 1—65, Ref. in Zeitschr. Prakt. Geol.“ 10, 1902, p. 301.
- R. Delkeskamp. „Zeitschr. Prakt. Geol.“ 12, 1904, p. 299.
- 62 W. A. P. Graham. Experiments on the origin of phosphate deposits. „Econ. Geol.“ 20, 1925, pp. 319—334.
- 63 L. de Launay. Gites minéraux. 1, 1913, p. 679.
- 64 M. Blayac. Description géologique de la région des phosphates du Dyr et du Kouïf. „Ann. Des Mines“ (9), 6, 1894, pp. 319—330.
- L. de Launay. Les richesses minérales de l'Afrique. Paris 1903, p. 206.
- O. Tietra. Die Phosphatlagestätten von Algier und Tunis. „Zeitschr. Prakt. Geol.“, 1907, p. 229.
- По русским фосфоритам см. W. Tschirvinski, „Neues Jahrbuch.“, Bd. 2, 1911, p. 51 и отчеты J. V. Samoiloff в „Miner. Mag“. 18, 1917, p. 87.
- 65 F. B. Weeks and W. F. Ferrier. „Bull.“ 315, U. S. Geol. Survey, 1907, pp. 449—462.
- H. S. Gale and R. W. Richards. „Bull.“ 430, Idem, 1910, pp. 457—535.
- Elliot Blackwelder. „Bull.“ 430, Idem, 1910, pp. 536—551.

- R. W. Richards and G. R. Mansfield. „Bull.“ 470, Idem, 1911, pp. 371—439,  
также „Bull.“ 577, Idem, 1914.
- G. R. Mansfield. „Am. Jour. Sci.“, 4th ser., 46, 1918, pp. 591—598; „Bull.“  
713, U. S. Geol. Survey, 1920, pp. 108—117.
- <sup>66</sup> C. W. Hayes. The Tennessee phosphates. „Sixteenth Ann. Rept.“, U. S.  
Geol. Survey, pt. 4, 1895, pp. 610—630; „Seventeenth Ann. Rept.“, Idem, pt. 2, 1896,  
pp. 513—550; „Twenty-first Ann. Rept.“, Idem, pt. 3, 1901, p. 473.
- <sup>67</sup> G. S. Rogers. Phosphate deposits of South Carolina, „Bull.“ 580, U. S.  
Geol. Survey, 1914, pp. 183—220.
- <sup>68</sup> E. H. Sellards. „Fifth Ann. Rept.“. Florida Geol. Survey, 1913, pp. 23—80.
- E. H. Sellards. „Trans. Am. Inst. Min. Eng.“ 50, 1914, pp. 901—916.
- G. C. Matson. The phosphates of Florida. „Bull.“, 604, U. S. Geol. Survey,  
1915.
- См. также отдельные выпуски „Mineral Resources“, U. S. Geol. Survey, и „Mi-  
neral Industry“.

## Глава III

# МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ОБРАЗОВАННЫЕ ИСПАРЕНИЕМ РАСТВОРИТЕЛЯ В ЕСТЕСТВЕННЫХ ВОДОЕМАХ ОСТАТОЧНЫЕ СОЛИ<sup>1</sup>

## ВВЕДЕНИЕ

Описанные в предыдущей главе месторождения представляют нерастворившиеся остатки или химические осадки относительно нерастворимых веществ в озерах, реках и морях. Существуют, однако, и иного рода месторождения, которые хотя и могут рассматриваться как химические осадки в поверхностных водах, но состоят из растворимых солей, образовавшихся по испарении воды в полностью или частично непроточных водоемах. Они содержат легко растворимые вещества, выщелоченные из земной коры, принесенные реками в океаны и озера и сконцентрировавшиеся при определенных характерных условиях.

В сухом климате и в пустынях такие водоемы непроточных вод представляют обычное явление. Медленные движения земной коры создают такие водоемы повсеместно, но в пустынях водные потоки недостаточно мощны, чтобы проложить себе выход и поддерживать систему стока вод. Наоборот, передвижение обломочных пород с горных хребтов в широких аллювиальных и ледниковых долинах способствует образованию внутренних водоемов. В сухом климате испарение и осаждение солей идут чрезвычайно быстро; сильные сухие ветры переносят громадное количество мелкого дегрита; между пустынными горными цепями простираются ослепительные солончаковые равнины. В настоящее время залежи соли существуют в кордильерских пустынях вдоль западной стороны всего континента Америки, в Сахаре и безводных пустынях Средней Азии. Подобные же условия существовали в различных странах света и в прежние геологические эпохи: пермское время в центральной Европе, триас области Скалистых гор и силур Северной Америки; для всех этих эпох в известные периоды были характерны безводные пустыни и отложения соли и гипса.

Итак, отложения соли могут образоваться: 1) в заливах морей; 2) в озерах; 3) в «playas», или промежуточных озерных цепях; 4) на безводных склонах, от быстрого испарения атмосферных вод.

В последних двух классах капиллярное восхождение растворов часто способствует вынесению солей на поверхность; последние образуют

«efforescences» или соляные корки; примером служат налеты и корки «щелочей» (углекислый, хлористый и сернокислый натрий, сернокислый кальций), которые в засушливых странах так сильно мешают землемерию.

В областях, где преобладают известковые породы, как, например, в неимеющих протоков бассейнах Мексики, пологие склоны предгорий часто покрыты мягкими, компактными пластами углекислого кальция, носящими здесь название «caliche» или «tepetate». Такие пласти относятся к 4-му классу.

Небольшие скопления соли могут образоваться от испарения у поверхности вод из восходящих ключей.

Ниже поверхности скопления растворимых солей образуются весьма редко; однако в погребенном отложении могут возникнуть реакции, посредством которых образуются новые соли или концентрации рассеянных веществ. В некоторых местах такие, строго говоря, эпигенетические скопления трудно отличить от сингенетических солей (стр. 95).

В солончаках находят следы меди. В соли из морской воды находят следы золота и серебра. Относительно присутствия следов золота в месторождениях калия (Германия) сведения противоречивы<sup>2</sup>. По последним данным золото в них не присутствует вовсе.

## ТИПЫ ВОДЫ

С геологической точки зрения в морях и внутренних бассейнах существует два типа воды. Первый из них можно назвать океаническим типом, с преобладающим хлористым натрием; он характерен для морей и частично высыхающих озер в областях, где преобладают осадочные породы; примером служит большое Соляное озеро (Salt Lake) в Utah. Если такая вода подвергается чрезвычайно усиленному испарению, как мы это видим, например, в Мертвом море, то получается «остаточный» тип, богатый хлористым магнием. Второй из главных типов — это небольшие внутренние бассейны в областях усиленной вулканической деятельности; этот тип содержит весьма много углекислого и сернокислого натрия и кроме того то или другое количество хлоридов; это является следствием выщелачивания рыхлых вулканических пеплов и туфов и свидетельствует также о присутствии горячих ключей, содержащих углекислый натрий и соль борной кислоты.

Некоторые осадочные свиты, например меловые в западных штатах, содержат чрезвычайно большие количества щелочных сульфатов. Происходит выщелачивание таких пластов атмосферными водами, и продукты могут переноситься в солончаковые равнины и небольшие озера. Вследствие химических реакций (стр. 48) из других солей натрия и кальция образуется углекислый натрий, и в озерах, помимо сульфатов, часто содержится значительное количество этой соли. Такие щелочные озера существуют, например, в Wyoming. В этих озерах отсутствуют характерные для вулканических областей соли борной кислоты.

Продуктами первого — «оceanического» типа вод являются отложения гипса, поваренной соли и, наконец, калийной и магнезиальной солей. Продуктом второго — «вулканического» типа — сода, глауберовая соль, соли борной кислоты, вероятно также соли азотной кислоты, а также в большей или меньшей степени хлористый натрий.

Состав вод в морях и внутренних бассейнах

	I	II	III	IV	V
Cl . . . . .	55,292	55,69	70,25	10,45	23,34
Br . . . . .	0,188	Следы	1,55	—	—
SO <sub>4</sub> . . . . .	7,692	6,52	0,21	54,07	12,86
B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> . . . . .	—	—	—	—	0,32
CO <sub>3</sub> . . . . .	0,207	—	Следы	4,24	23,42
Li . . . . .	—	0,01	—	—	—
Na . . . . .	30,593	32,92	6,33	25,88	37,93
K . . . . .	1,106	1,70	1,70	—	1,85
Ca . . . . .	1,197	1,05	5,54	Следы	0,04
Mg . . . . .	3,725	2,10	14,42	5,36	0,10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	—	—	Следы	—	Следы
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	—	—	"	—	"
SiO <sub>2</sub> . . . . .	—	0,01	"	—	0,14
	100	100	100	100	100

I. Океанический тип. Средний из 77 анализов. W. Dittmar, Chalcenger. Rept, 1,1884. Соленость 3,5%.

II. Океанический тип. Великое Соляное озеро (Great Salt Lake), E. Waller. School of Mines, Quart. 14, 1892. Соленость 23% (бывают и колебания).

III. Остаточный тип. Мертвое море. Compt. Rendu., 62, 1866, p. 1329. Аналитик A. Tereil. Соленость 20,7%.

IV. Сульфатный тип. Devil's Lake (Чертово озеро), Сев. Dakota. F. W. Clarke. "Geochemistry" 1916, p. 163. Аналитик H. W. Danat, Соленость 1,1%.

V. Вулканический тип. Озеро Mono, "Bull". 60, U. S. Geol. Surv. 1890, стр. 53. Аналитик T. M. Chatard. Соленость 5,1%.

Общее отношение солей, растворенных в океанской и речной воде, следующее:

в воде океана: Cl > SO<sub>4</sub> > CO<sub>3</sub>; Na > Mg > Ca,

в речной воде: CO<sub>3</sub> > SO<sub>4</sub> > Cl; Ca > Mg > Na.

## НОРМАЛЬНАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОСАЖДЕНИЯ СОЛЕЙ

При испарении воды, пока не начинают осаждаться растворенные соли, наименее растворимые соли обычно выпадают первыми, между тем как наиболее растворимые соли остаются в растворе до конца. Произведенные J. Usiglio<sup>3</sup> опыты на морской воде показали, что утексислье кальций и магний с небольшим количеством окиси железа осаждаются при выпаривании одного метра воды до половины или одной пятой. Гипс осаждается при выпаривании до  $\frac{1}{6}$  или  $\frac{1}{7}$ , но продолжает осаждаться, хотя и в меньшей степени, пока от литра остается всего 30 см<sup>3</sup>. Главный компонент, т. е. хлористый натрий, обильно осаждается при выпаривании до 100 см<sup>3</sup>, но осаждение продолжается, пока объем воды не сокращается до 16 см<sup>3</sup>; даже и тогда некоторая часть соли остается в растворе. Хлористый и сернокислый магний выпадает из раствора в этих же пределах испарения, но в большем количестве, и «остаточный раствор» (bittern) содержит преимущественно хлориды магния и калия, бромистый натрий, сернокислый магний и хлористый натрий.

Эта группа солей редко представлена полностью в каком-либо одном отложении; наиболее разительный пример такого полного испарения находим в больших отложениях поташа и соли в Пруссии. Часто, как мы это видим в Redbeds в западных штатах, после отложения гипса про-

цесс остановился; образованию хлористого натрия могли помешать изменение климата или вторжение моря. В действительности процессы осаждения гораздо более сложны, чем это показывают вышеупомянутые опыты, и весьма часто образуются двойные или комплексные соли.

Солоноватый раствор, содержащий те же соли, что и морская вода, но в иной пропорции, по испарении дает существенно иные результаты. Короче говоря, в генезисе соляных отложений факторами являются температура, концентрация и время.

Изучению стойкости растворимых солей дали большой толчок труды J. H. Van't Hoff<sup>4</sup> и его многочисленных сотрудников. Работа была предпринята ими с целью выяснения происхождения месторождений калийных солей в Пруссии. В трудах Van't Hoff и Weigert находим объяснение мощных залежей ангидрита; ими установлено, что минерал образуется из гипса в растворах хлористого натрия при температуре 30° С. В морской воде это превращение имеет место при 25° С. При этой температуре кристаллы гипса, падая через соляной раствор, превращаются в ангидрит. Это служит примером общего правила относительно обезвоживания минералов, приходящих в соприкосновение с соляными растворами при температуре ниже их нормальной инверсионной температуры.

В природе многие минералы отлагаются из растворов при меньшей степени гидратации, чем это происходит при обыкновенной температуре в лабораторных условиях. Так, натрон, т. е. обыкновенный углекислый натрий ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), редко встречается в качестве естественного образования, хотя он стоец при температуре ниже 37° С. Наиболее распространенным образованием является трона ( $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), которая обычно стабильна лишь при температуре выше 37° С.

Из чистого раствора сернокислого натрия обычно отлагается мирабилит ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), а в присутствии хлористого натрия образуется тенардит ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). Из раствора сернокислого магния в присутствии хлористого магния вместо многоводного гидрата осаждается кизерит ( $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ). Присутствие вещества одинаковой степени растворимости понижает осмическое давление и действует, в некотором отношении, так же, как повышение температуры<sup>5</sup>. Этот принцип, без сомнения, приложим также к процессам образования минералов в породах и жилах.

## СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ<sup>6</sup>

В пустынных долинах, где часто развиты временные или постоянные озера, можно наблюдать образование соляных осадков незначительной мощности, чередующихся с осадками обломочных пород эолового или аллювиального происхождения. В обширном и глубоком бассейне может образоваться большое скопление соли. Законы, управляющие отложением солей в пустынях и приуроченных к ним низменностях, прекрасно изложены J. Walther<sup>7</sup>.

Отложения солей имеют место в прибрежных морских и океанических зонах, подвергающихся периодическому затоплению, но отложения этого типа редко бывают мощными.

Отложения соли морского происхождения часто достигают большой мощности, в некоторых случаях до 1 000 и даже 2 000. Совершенно очевидно, что всякую теорию, основанную лишь на одном цикле испарения морской воды, будет весьма трудно защищать, учитывая тот факт, что морская вода содержит всего 3,5% солей.

Теория отмели («bar theory»), предложенная С. Ochsenius<sup>8</sup> (1877 г.), ранее высказывавшаяся Miller Lyell и Bischof, является попыткой объяснить существование таких мощных пластов соли. Ochsenius предполагает, что такие чистые и мощные залежи соли, какие наблюдаются в центральной Германии, не могли образоваться путем затопления ряда неглубоких впадин и озер. Периодическое повторение испарения и затопления потребовало бы невероятное число однообразных периодов опускания и поднятия.

«Теория отмели» подразумевает наличие морского залива, отделенного от открытого моря весьма мелким проливом, играющим роль барьера, и позволяющим проникать в залив ровно такому количеству воды, какое испаряется на поверхности. Подразумеваются также сухой климат и отсутствие поступления в залив пресной воды с материка. При таких условиях поступающая из океана вода непрерывно приносит в залив новые запасы соли; поверхностные осадившиеся соляные слои уплотняются и опускаются и таким образом в замкнутом заливе происходит непрерывная концентрация. Отложение соли на дне все увеличивается в мощности, а тяжелый «маточный раствор» с остатками магнезиальных солей соответственно поднимается на поверхность.

Когда эти насыщенные плотные растворы достигают поверхности мелкого барьера, движение становится обратным и остаточный «маточный раствор» снова стекает в океан. Таким образом, скопление калиевомагнезиальных солей не имеет места. Однако, если как раз в это время барьер в проливе становится выше, «маточные растворы» останутся в совершенно отрезанном от моря бассейне и последует отложение калиевых солей. В качестве иллюстрации к теории отмели часто приводят пример залива Карабугаза в Каспийском море<sup>9</sup>.

Не так давно Branson<sup>10</sup> предложил, в изменение теории отмелей, мысль о существовании двух или более бассейнов.

Отложения соли могут иметь место также в реликтовых морях, ранее обогащенных солью и, быть может, углубленных вследствие общей депрессии. Такие условия, возможно, существовали в пермское время в Канзасе и центральной Германии.

## ГИПС И АНГИДРИТ<sup>11</sup>

**Условия залегания.** Гипс ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) и ангидрит ( $\text{CaSO}_4$ ) обычно залегают в осадочных породах в качестве остаточных солей. Оба часто встречаются также в качестве жильных минералов в рудных месторождениях; в некоторых местах гипс является продуктом выноса восходящих ключей или реакций кислых вод с известковыми породами. Образование корок гипса может быть вызвано действием капиллярных растворов на гипсосодержащие пласти пород или по берегам соляных озер. Вследствие своего медленного превращения в водное соединение ангидрит не имеет большого экономического значения, тогда как гипс занимает одно из первых мест среди неметаллических ископаемых.

В осадочных месторождениях гипс часто образует относительно чистые пласти значительной мощности. Он имеет вид снежнобелых, мелко-зернистых агрегатов и узнается по мягкости (T : 2), низкому удельному весу (2,3) и растворимости в слабом растворе соляной кислоты. Ангидрит точно так же образует белые зернистые агрегаты, но его легко отличить от гипса по большей твердости, большему удельному весу (2,9), ложно-

кубической спаянности и инертности к слабому раствору HCl. Ангидрит медленно переходит в гипс; многие месторождения, на первый взгляд кажущиеся залежами сплошных гипсов, содержат остатки ангидрита.

Пласти гипса и ангидрита мы видим во всех странах света, во многих осадочных формациях, причем на поверхности преобладает гипс, но известны примеры чередований пластов того и другого.

В пермских слоях центральной Германии залегают пласти ангидрита мощностью до 300', связанные с отложениями калиевых солей (стр. 95).

В США залежи ангидрита не так часто встречаются; в большинстве случаев вместе с гипсом, перекрывающим мощные залежи соли в Луизиане (Louisiana) и Южном Тексасе (Texas). Пласти ангидрита имеются также в New Mexico, Texas, Oklahoma, Nova Scotia и New Brunswick. В Carlsbad (New Mexico) залегают необычайно мощные пласти ангидрита под отложением соли мощностью 633<sup>12</sup>. Мощность гипсовых пластов в США редко превышает 30—40', но на отдельном участке этих пластов может быть несколько. Они чередуются с пластами известняка и глинистого сланца. Местами гипс чрезвычайно чистый, белоснежный, но весьма часто в нем наблюдаются прослойки или пропластки глинистого сланца или известняка. Компактная, прозрачная разновидность носит название альбастра и употребляется для поделочных работ. Гипс в крупных плитках или кристаллах называется селенитом. Поверхностные новообразования гипса, проникнутые глиной, носят название гипсита.

Имеется описание ряда пластов гипса, отчасти чередующихся с ангидритом в докембрийских породах, слагающих горы Palen<sup>13</sup>, в Южной Калифорнии. Месторождения гипса практического значения имеются в формации Salina (Силур), в северном Нью-Йорке; они тянутся параллельно южному берегу озера Онтарио.

Эксплоатация гипсовых пластов ведется в широком масштабе также в Мичигане (Michigan), где они приурочены к миссисипским слоям (нижний карбон). Не меньшего масштаба месторождения того же возраста эксплуатируются в Nova Scotia и New Brunswick. Iowa, Kansas, Texas, Oklahoma, New Mexico и другие штаты довольно богаты месторождениями гипса пермского возраста; в западной части этой области гипс залегает в нескольких горизонтах Red Beds (красные пласти), возраст которых колеблется между верхним карбоном и юрой.

Исключительно мощные, но с трудными условиями эксплоатации месторождения неопределенного возраста залегают в верхней части «соляных куполов» (стр. 92) Louisiana и Texas. В Калифорнии имеются месторождения третичного возраста. В Kansas, Oklahoma и Texas преимущественно распространены месторождения гипса четвертичного возраста; третичные отложения Парижского бассейна (Франция) богаты гипсом, отсюда и наименование «plaster of Paris».

**Применение.** В настоящее время ведутся опыты по искусственноому превращению ангидрита в гипс путем мокрого измельчения. Гипс широко используется во всевозможных отраслях промышленности. В местностях, где почва содержит много щелочей, молотый гипс (в естественном виде) употребляется в качестве удобрения; его же используют для замедления схватывания цемента и для многочисленных химических целей. Он часто используется в качестве наполнителя и примеси к другим веществам. Главнейшее же применение гипс находит в качестве строительного материала. Для этой цели его обжигают при температуре 350° F, при этом возгоняется значительная часть воды. После помола и добавления воды

вновь образуется гипс, и смесь схватывается в твердую массу, называемую «алебастром» (plaster of Paris). Применение гипса быстро растет. В 1925 г. продукция США равнялась 5 700 000 коротких т. Большая часть этого гипса была добыта в штатах Ohio, Iowa и New-York. Обожженный гипс стоит в среднем 9 долл. за т.

**Стойкость и растворимость**<sup>14</sup>. Как говорилось выше, в морской воде гипс превращается в ангидрит при температуре 25° С. В чистой воде он начинает медленно переходить в ангидрит при температуре 63,5° С. При температуре 25° С и выше, т. е. той, которая часто наблюдается в соленных озерах, расположенных в тропическом поясе, могут образоваться чередующиеся пласти гипса и ангидрита, что фактически и наблюдается. В природе происходит как гидрация, так и обезвоживание. Ангидрит в значительной степени является первоначальным минералом<sup>15</sup>.

Растворимость гипса представляет сложную проблему вследствие того, что существуют метастабильные формы — полугидрат и растворимый ангидрит; над этой проблемой работали van't Hoff и Meyerhoff<sup>16</sup>. Растворимость гипса в воде достигает максимума 0,21% при температуре 40° С; при более высокой температуре растворимость несколько понижается. При температуре 63,5° С растворимость ангидрита одинакова с растворимостью гипса, но при более высокой температуре она быстро падает и при 100° С равняется 0,06%, а при 200° С — всего 0,005%<sup>17</sup>. Присутствие других кальциевых солей, имеющих общий ион, понижает растворимость гипса, но хлористый натрий ее повышает почти втрое вследствие образования  $\text{CaCl}_2$ .

Возможно, что некоторые месторождения гипса и ангидрита являются следствием замещения известняка<sup>18</sup>.

## УГЛЕКИСЛЫЙ И СЕРНОКИСЛЫЙ НАТРИЙ

**Условия залегания.** Большая часть выпускаемой на рынке соды представляет искусственный продукт, приготовляющийся из ловаренной соли, но как сернокислый, так и углекислый натрий часто содержится в соленных озерах пустыни или в солончаках, оставшихся после таких озер. Столь обычный в пустынях белый налет состоит именно из этих солей с большим или меньшим количеством хлористого натрия и небольшим количеством хлористых и углекислых калия и магния; все эти соли содержатся в содовых озерах<sup>19</sup>.

В США эксплоатация соды в промышленном масштабе начата в озере Owens (Калифорния), озерах Ragtown (Nevada) и в содовых озерах Wyoming.

Из труда T. D. Charad об озере Owens, где углекислый натрий представляет несколько больше трети всех растворенных солей, видно, что порядок осаждения по испарению следующий: 1) трона ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ); 2) сернокислый натрий; 3) хлористый натрий и 4) легкорастворимый нормальный углекислый натрий. Из озер Wyoming два или три очень богаты содой. В Green River бурение в песчанике Wasatch (эоцен?) на глубине 125—700' обнаружило артезианскую воду, представляющую почти что концентрированный раствор соды, который одно время использовался для производства едкого натра; в основе процесса лежала реакция с едкой известью. В 1925 г. из озер Clinton (британская Колумбия) добывали соду.

В щелочных озерах в безводных областях Wyoming (Arizona) и New

Mexico образуются отложения солей, выщелоченных из окружающих осадков мезозоя и ценозоя. Мощность отложений достигает 15', и они занимают площадь в 100 акров. Эти соли состоят преимущественно из мирабилита ( $\text{Na}_2 \cdot \text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), эсомита ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), натрона и галита.

Другими встречающимися в этих озерных отложениях сульфатами являются тенардит ( $\text{NaSO}_4$ ), глауберит ( $\text{NaSO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$ ) и блендит ( $\text{NaSO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ).

Сернокислый натрий растворяется в теплой воде гораздо легче, чем в холодной, но так как подобные же колебания для хлористого натрия невелики, то «простая разница температуры летом и зимою может заставить мирабилит выделяться в соляном озере или вновь растворяться». По словам Gilbert в Великом Соляном озере (Great Salt Lake) осаждение сернокислого натрия происходит зимою. В 1926 г. сернокислый натрий шел из Camp Verde (Arizona) озер Wabuska (Nevada) и равнин Carriso (California). Сернокислый натрий употребляется в бумажной и стеклянной промышленностях.

## АЗОТНОКИСЛЫЙ НАТРИЙ (СЕЛИТРА)

Щелочные азотнокислые соединения являются чрезвычайно легко растворимыми солями и крупные их скопления встречаются лишь в исключительных условиях. Азотнокислый натрий присутствует в почве; он образуется при содействии так называемых азотирующих бактерий<sup>20</sup> или путем реакций, имеющих место между содержащими азот веществами и щелочными солями. Азотнокислые натрий и калий большой чистоты иногда встречаются в виде корочек или жилок на защищенных от растворения скалах различных пород и в пещерах; во многих случаях они являются продуктами органической жизни. Азотнокислый кальций находили в известняковых пещерах. Естественно, что отложения азотнокислых солей встречаются преимущественно в безводных местностях.

Небольшие количества азотнокислых солей имеются в различных пунктах западных штатов; они часто связаны с вулканическими породами<sup>21</sup>, в особенности с риолитами, туфами, базальтами и озерными отложениями областей, где протекает вулканическая деятельность. Далеко не все согласны с тем, что эти азотнокислые соли вулканического происхождения, однако эта теория наиболее вероятна.

Имеются два источника азота, которыми природа может воспользоваться для образования аммонийных азотнокислых солей.

1. Азот, присутствующий в воздухе, который может быть связан организмами или разрядами электричества в атмосфере, или увлекаться дождевой водой. 2. Азот из недр земли, возможно содержащийся в магме, в качестве азотнокислого бора или какого-либо металла. Во всяком случае вулканические газы и испарения часто содержат азот и аммоний; многие полагают, что возможна фиксация этого азота источниками<sup>22</sup>.

Единственной местностью, где азотнокислые соли присутствуют в очень большом количестве, является пустыня Atacama в северном Чили<sup>23</sup>. Эти знаменитые месторождения селитры долго снабжали весь мир селитрой и только за последнее время для них появился конкурент в лице искусственной селитры, приготовляемой из азота, присутствующего в атмосфере. В 1925 г. ежегодная добыча исчислялась в 2 500 000 метрических т. В настоящее время одна американская фирма ввела усовершенствованный процесс обогащения и извлечения селитры из селитроносной породы.

(caliche). Месторождения расположены в провинциях Тегараса и Antofagasta в сухих внутренних долинах между прибрежным хребтом и Андами на высоте от 1 000 до 3 000'; отложения тянутся на 300 миль параллельно берегу. Самые низкие впадины часто заняты соляными отложениями с небольшим количеством селитры. Месторождения селитры залегают на пологих склонах долин. Пласт селитры представляет поверхность формуцию значительного, хотя и не непрерывного протяжения; его перекрывает нанос мощностью в несколько футов, состоящий из рыхлого материала с полуугловатым гравием и по мере углубления становящийся более твердым. В этом наносе содержится некоторое количество селитры, часто также много хлористого натрия, сернокислого натрия и гипса, так же как и незначительное количество иодистокислого натрия. Caliche, т. е. пласт селитры, представляет красновато-бурый песчаный гравий, сцепментированный солями; мощность его в среднем несколько футов. Под caliche залегают песок, гравий или глина — часто значительной мощности. Содержание в caliche азотнокислого натрия в среднем 25%; эксплоатация участков, содержащих 15%, невыгодна. Вместе с селитрой присутствует значительное количество хлористого натрия, серно- и борнокислых кальция и натрия и небольшое, но постоянное количество иодистокислого натрия. Встречаются небольшие количества азотнокислого калия, кальция и бария, а также немного иодистокислого кальция и хромовокислого иода (лаутарит и диетцейт).

Добываемый материал обычно имеет следующий состав в %:

Азотнокислый натрий . . .	14—25
калий . . .	2—3
Хлористый натрий . . .	8—50
Сернокислый " . . .	2—12
" кальций . . .	2—6
" магний . . .	0,3
Двубористый натрий . . .	1—3
Иодистый " . . .	0,05—1
Хлористокислый " . . .	0,1—0,5
Нерастворимый остаток . . .	0,50

Вопрос генезиса чилийских месторождений селитры чрезвычайно спорный, и лишь весьма немногие сходятся во мнении.

Чилийский геолог Piñón, а за ним Rogers и Van Wagenen объясняют их происхождение фиксацией азота из атмосферы, особенно в периоды грозовых разрядов, и этот азот спускается с Анд путями подземной циркуляции и поднимается на поверхность через капилляры.

Penrose и другие полагают, что селитра образовалась из птичьего гуano, скопление которого существовало, когда еще не было прибрежного хребта, и что азотнокислые соли постепенно были выщелочены и смешались с солеными водами внутреннего бассейна. Другие склонны думать, что месторождения образовались путем фиксации азота бактериями или путем окисления содержащего азот растительного вещества. Singewald и Miller считают, что азотнокислые соли спускаются при действии почвенных вод; они особенно подчеркивают, что здесь действовали лишь обычные, наблюдаемые повсюду процессы, и, по их мнению, скопление образовалось лишь благодаря необычайно сухому климату. Другие, например g. Steinmann, ищут объяснение генезиса селитры в третичных вулканических породах. По имеющимся сведениям в Maricunga азотнокислые соли залегают в вулканическом туфе позднейшего происхождения.

Все эти объяснения звучат несостоятельно или натянуто. Месторожде-

ния селитры — ни морские ни лакустриновые. Весьма бросается в глаза что их протяжение соответствует протяжению туфов и излияний лавы юры и карбона, занимающих в этой области такую большую площадь; неизбежен вывод, что здесь должна заключаться какая-то причинная связь. Вероятно, что азотнокислые соли вулканического происхождения, и что азот содержался в упомянутых породах и в дальнейшем был выщелочен при ненормальных климатических условиях. Эту точку зрения относительно генезиса поддерживают W. L. Whitehead<sup>24</sup> и Clarke<sup>25</sup>. Постоянное присутствие солей борной кислоты служит лишним доказательством.

В настоящее время мировая потребность в иоде удовлетворяется его азотнокислым соединением из чилийских месторождений. В 1924 г. продукция равнялась 600 000 кг. Если потребует рынок, эта продукция может быть сильно увеличена.

## СОЛИ БОРНОЙ КИСЛОТЫ (Borates)<sup>26</sup>

**Общий характер залегания.** Соли борной кислоты и прочие соединения бора встречаются в природе в условиях несколько особенных по характеру генезиса. В качестве сложных и нерастворимых соединений, например, в турмалине и датолите боросиликаты встречаются в изверженных и метаморфических породах или в пегматитовых дайках и трещинных жилах, но не представляют экономического значения, за исключением некоторых турмалинов, используемых в качестве самоцветов.

В виде борной кислоты и баротов кальция и магния бор присутствует в вулканических газах и испарениях; из последних наиболее известны соффионы Тосканы (Италия), из которых извлекается громадное количество борной кислоты. Бораты, преимущественно в виде буры ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), присутствуют в горячих источниках и озерах областей, где протекает вулканическая деятельность. Бура была впервые получена из таких озер, расположенных в Тибете. Теплые источники Калифорнийских прибрежных хребтов и Невады (стр. 51) нередко содержат бор, иногда даже в весьма значительных количествах. Соли борной кислоты из этих источников часто собираются в маленькие озерные бассейны, при испарении значительной части воды которых они отлагаются в виде кристаллов буры. Лет 50 тому назад весьма значительное количество буры добывалось из Богах Lake (Калифорния, County Lake). Выпаренные соли содержали 62% углекислого натрия, 20% хлористого натрия и 18% буры.

Соли борной кислоты находят в больших количествах в playas, т. е. неглубоких водоемах, периодически наполняющихся водою, или в отложениях третичных озер; этими солями являются: бура, улексит ( $\text{CaNaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ), колеманит ( $\text{CaB}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), реже инноит ( $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 13\text{H}_2\text{O}$ ), мейергофферит ( $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) и говлит ( $\text{H}_5\text{Ca}_2\text{B}_5\text{SiO}_{14}$ ). Недавно открытый кернит ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) встречается в обилии на дне некоторых калифорнийских озер. Наконец, бор содержится в морской воде; в чрезвычайно малых количествах его находят в солончаках в виде борнокислых соединений магния, преимущественно бората ( $\text{Mg}_7\text{Cl}_2\text{B}_1\text{O}_{30}$ ).

**Морские отложения солей борной кислоты.** Месторождения морского происхождения в сущности ограничиваются отложениями калийных солей в центральной Германии и западной части Уральского хребта; присутствие солей борной кислоты наблюдается также в хлористом нат-

рии, ангидrite и гипсе. Они встречаются преимущественно в виде борацита и некоторых других редких соединений бора в карналлитовой области (стр. 83), т. е. в отложениях последних маточных растворов испарения.

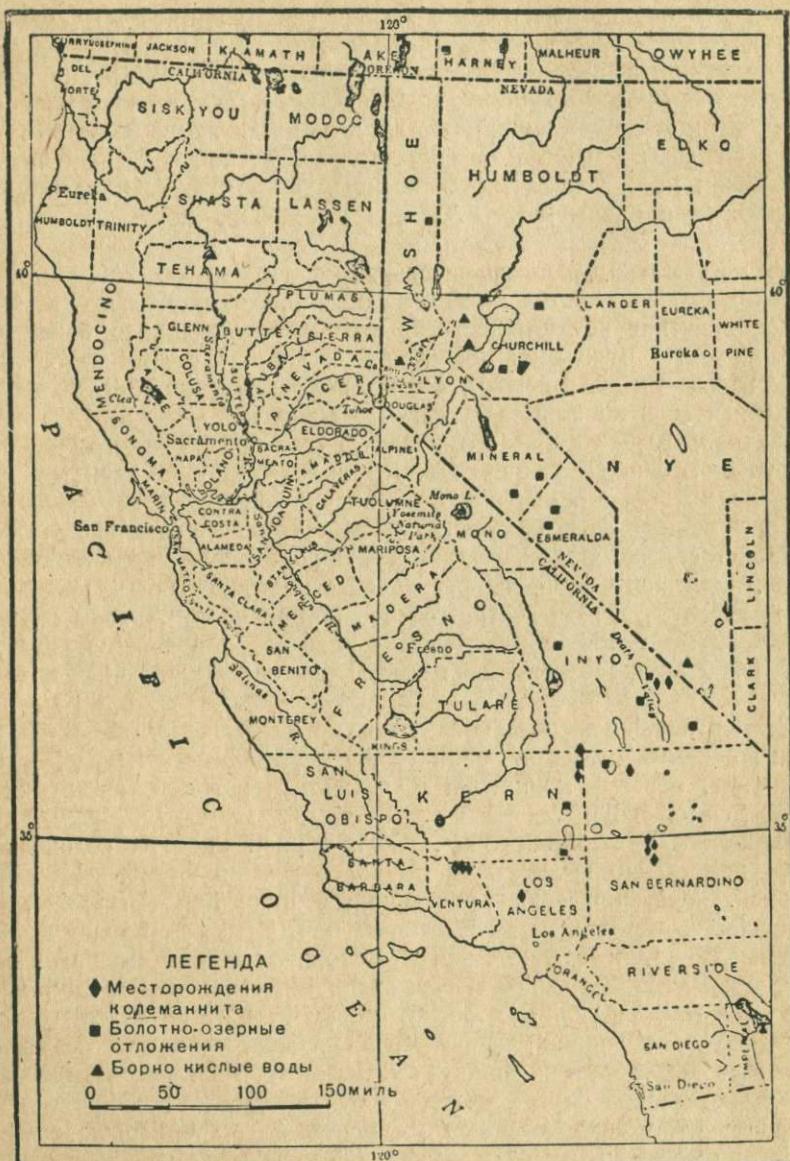


Рис. 28. Распределение месторождений бора в Калифорнии и Неваде (по Yale и H. S. Gale).

ряющейся морской воды. Борацит обычно образует мелкие кристаллы или конкреции, но в литературе встречается упоминание о гнезде весом в 1 400 фунт. Несколько сот тонн солей борной кислоты добывается ежегодно способом кристаллизации из растворов. Соединения бора оста-

ются с наиболее легко растворимыми солями и, наконец, осаждаются в виде магнезиальной соли вследствие того, что в морской воде этот металл преобладает над кальцием.

**Солончаковые месторождения буры.** Пустыни южной Калифорнии, Невады и Орегона богаты отложениями соли борной кислоты (рис. 28). Такие же отложения мы находим в Аргентине, Боливии и Чили. В пустынных равнинах, заключенных между голыми хребтами вулканических пород, имеется много неглубоких водоемов, которые в течение кратковременного периода дождей покрываются мелкими лужами воды. По испарении этой воды остается ослепительно-белый налет соли, который в дальнейшем может покрыться наносимым ветром мелким песком. Эти отложения были открыты в 1870 г., и в течение многих лет в Searles Marsh (60 миль к северу от Barstow), в Death Valley (Долина Смерти) и других местах добывалось значительное количество буры. Хотя и в наше время этих солей остаются громадные запасы, они потеряли свое экономическое значение вследствие того, что их место заняли более легко эксплуатируемые отложения колеманита. Налет соли редко превышает 1' и содержание в нем буры весьма неравномерно. Согласно Bailey, неочищенная соль из Searles Marsh содержала 50% песка, 12% хлористого натрия, 10% углекислого натрия, 16% сернокислого натрия и 12% буры. Бурение обнаружило 20-футовый пласт песчанистой глины с кристаллами борнокислого кальция, под которым залегает пласт твердой троны мощностью 28', подстилаемой толщей глин мощностью 350', насыщенной сероводородом. На выработанной площади благодаря процессам капиллярного поднятия растворов образовался новый налет буры, который через 3—4 года достиг достаточной мощности, чтобы его вновь можно было эксплуатировать. Площадь, на которой залегает бура, занимает 1 700 акров; в дождливое время года она покрывается водою на глубину 1'.

В Searles Marsh улексита обнаружено не было, но он весьма распространен во многих отложениях «playa», в Калифорнии и Неваде, а также в Аргентине, образуя конкреции шелковистых волокон, известных под названием cotton balls.

**Отложения третичных озер.** Соли борной кислоты солончаков и «playas» несомненно выщелочены из более древних третичных озерных отложений. Месторождения Калифорнии в Inyo, San Bernardino, Kern, Los Angeles и Ventura, где добывается почти исключительно колеманит, принадлежат к этому типу. Месторождения колеманита встречаются близ Тихоокеанского побережья в Piru (Ventura County) и близ Sougus (Los Angeles County), где, по словам Keyes, они залегают в желтых глинах и песчаниках, вероятно, миоценового возраста мощностью в несколько тысяч футов. Минерал присутствует в глине в виде желваков; поверх пластов бората залегают отложения гипса.

Мощные отложения залегают у подножья гор Calico, к северу от р. Mojave; они имеют крутое падение и разрабатываются шахтами глубиною до 400'. В настоящее время эти крупные массивы низкопроцентных колеманитовых сланцев с 7—20% борной кислоты не разрабатываются; эксплуатация сосредоточена на двух сплошных пластах борных минералов мощностью от 7 до 10', подстилаемых риолитовыми туфами.

Однако самые богатые пласти колеманита находятся в районе Furnace Creek, хребта Funeral, возвышающегося над Death Valley (Долиной Смерти), в Inyo (рис. 29). Установлено, что третичные осадки (не со-

держащие окаменелостей) мощностью 4 000' образуют широкий пояс, диагонально пересекающий хребет пород, падающих к северо-востоку под углом 20—45°.

Согласно Keyes, нижняя и наиболее мощная часть состоит из конгломератов и песчаников, выше которых залегают глины оливкового цвета, переслоенные с базальтами. Верхняя часть свиты глин содержит гипс, колеманит и тонкие пропластки известняка. Пласти соли борной кислоты можно проследить на протяжении 25 миль. В содержащих колеманит пластах, достигающих мощности 50', в голубоватых глинах разбросаны, молочно-белые слои или желваки белого крупнокристаллического минерала, по словам Keyes, разубоженного большим или меньшим количеством гипса. Сплошные слои достигают мощности 15'. В смежных слоях в глинах рассеяны мелкие включения колеманита в количестве от



Рис. 29. Рудник по добыче бора Lila C в провинции Inyo, Калифорния (заброшен с 1913 г.).

10 до 25%; в настоящее время эти бедные месторождения не эксплуатируются.

**Добыча и применение.** Добыча солей борной кислоты сосредоточена в юго-восточной Калифорнии и за последние годы значительно расширилась. В 1925 г. было добыто 113 700 т сырого колеманита со средним содержанием  $B_2O_3$  в количестве 25%. Наиболее богатую часть разбирают вручную, а худшие сорта мелят, обжигают и классифицируют на грохотах; последним процессом достигается разделение колеманита от пустой породы. Сортированный материал отправляют на побережье, где идет переработка на буру и борную кислоту. Дальнейшая обработка заключается в кипячении с содой для получения буры и с серной кислотой для получения борной кислоты. Вследствие последних открытий цена на буру постепенно снизилась: в 1925 г. она составляла 5 центов за английский фунт.

Бура широко используется химической промышленностью для эмалировки металлов, в медицине и в домашнем обиходе.

**Генезис.** Месторождения колеманита, встречающегося вместе с гипсом и известняком, несомненно, не являются морскими осадками. Трудно представить и осаждение их в соляных внутренних озерах, могущее иметь

место при испарении озерной воды. Изучение образцов говорит в пользу замещения; действительно, H. S. Gall<sup>27</sup> высказывает предположение, что некоторые из залежей колеманнита являются замещениями известняка. Foshag указывает, что борная кислота вряд ли может замещать углекислоту и на основании труда van't Hoff доказывает, что улексит является первичным минералом, который, будучи выщелочен NaCl, превращается в колеманнит<sup>28</sup>. Несколько аналогичные условия образования представляют месторождения стронцианита, залегающие среди осадков таких же озер (стр. 169).

Реакция  $2\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  (улексит)  $\rightleftharpoons \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  (бура) +  $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (колеманнит) +  $\text{H}_2\text{O}$  — обратима. Van't Hoff<sup>29</sup> удалось получить пандермит и колеманнит из мейергофферита; он установил, что улексит, пандермит и, вероятно, колеманнит могут образоваться при температуре от 25° и выше. Первыми солями, осаждающимися из океанских вод, являются соли кальция. Для соли борной кислоты точка насыщения наступает только при осаждении карналлита.

## ХЛОРИСТЫЙ НАТРИЙ

**Условия залегания**<sup>30</sup>. Хлористый натрий, или поваренная соль, образует залежи в осадочных породах и в большинстве случаев явно происходит от выпаривания соляных растворов. Из 7 400 000 т соли, добытой в США в 1925 г., одна треть представляет каменную соль. Большинство соли добывается из рассолов, образующихся в результате растворения залежей соли естественными водами, или же путем искусственного нагнетания воды в буровые скважины, пройденные в соленосных залежах. Значительное количество добывается также путем выпаривания морской воды и воды из соленных озер, как, например, Great Salt Lake (Utah).

Месторождения соли приурочены к различных формациям, но чаще всего встречаются в пермских и триасских отложениях; наиболее древними соляными отложениями США являются силурийские в штате New-York. Обычно с соляными отложениями связаны отложения гипса, залегающие ниже первых. В связи с процессами горообразования и сменой морских и континентальных условий отложения гипса могут оказаться и над залежами соли.

В соляных залежах нередко встречаются включения и прослойки ангидрита, гипса и глины. По мощности залежи соли чрезвычайно разнообразны — от тончайших пропластков до массивов мощностью 1 500' и больше. Близ Speerenberg (район месторождений калия в Германии) буровая скважина пересекла 3 900' соляных отложений, но здесь, как и в других местах, эта мощность непостоянна: скважина могла пройти по складке или смещению. Кроме того, массив соляных отложений обладает пластичностью, во много раз большей, чем сопровождающие ее глины и ангидрит, и, по мнению немецких геологов, это приводит к самым неожиданным и непоследовательным стратиграфическим соотношениям.

Отложения сернокислого кальция нередко сопровождаются достаточно мощными образованиями вторичной серы. В качестве включений в соленосных отложениях встречаются углеводы и CO<sub>2</sub>. Наиболее трудно объяснимым является процесс накопления столь мощных отложений соли. Испарение морской воды, содержащей 3,5% соли в бассейне глубиною до 100 м, может привести к образованию соляного отложения

мощностью не более 2 м. Теории Ochsenius и Walther пытаются объяснить это различными способами. Об особых условиях соляного бассейна в Луизиане будет говориться ниже.

**Примеры.** В штате New York пласты соли залегают в красных сланцах Salina (Силур) на довольно значительной площади. Большое коли-

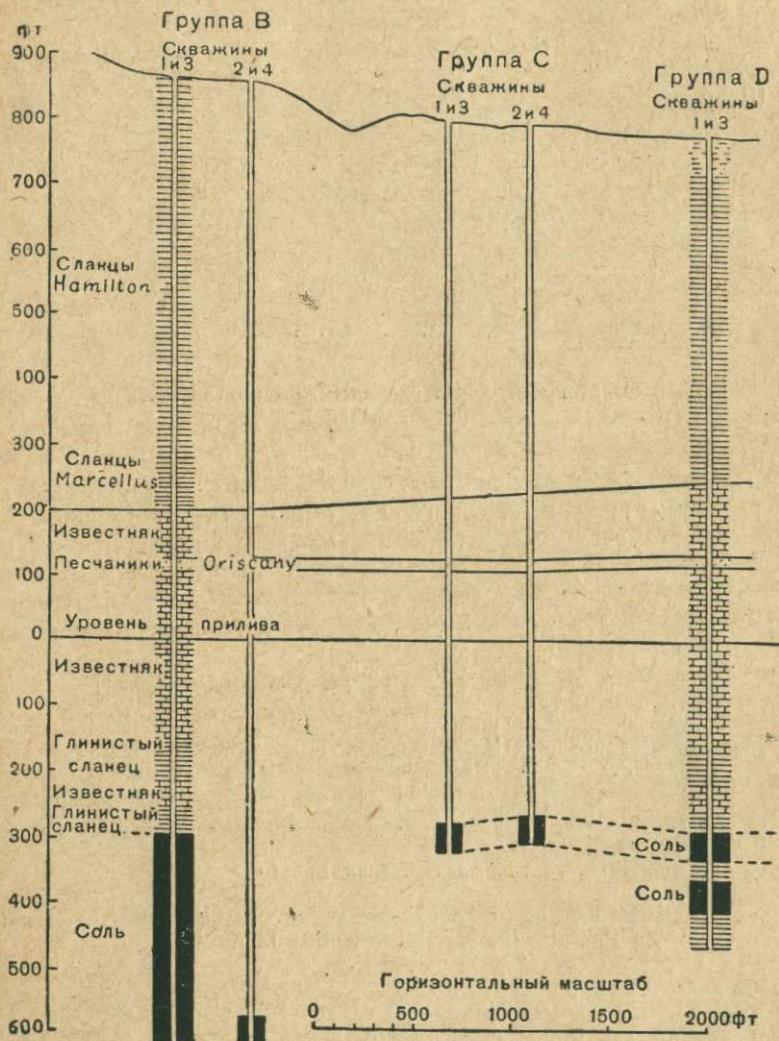


Рис. 30. Разрез соляных эксплоатационных скважин в Tully, New-York (по F. J. H. Merrill).

чество соли извлекается из искусственных рассолов. Залежи соли образуют чистые чечевицевидные скопления и слои, чередующиеся с пластами мягких сланцев, известняка и гипса; мощность всей соленосной свиты достигает 470' (рис. 30). В Ithaca несколько пластов соли залегают на глубине 2244' общей мощностью до 248'. Вверху залегает магнезиальный известняк, содержащий гипс.

Каменная соль добывается в нескольких пунктах. Недавно в Cuylerville пройдена шахта глубиною в 1 100', вскрывшая пласт соли мощностью 21'. Разработка соляных пластов ведется также в Ливонии близ их выходов на дневную поверхность. Подобного же рода залежи эксплуатируются в Ohio с помощью буровых скважин и последующего извлечения соли из рассолов.



Рис. 31. Стратиграфическая схема Нижнемичиганского бассейна (по A. C. Lane).

В США большая часть соли идет из Michigan<sup>31</sup>. Соль залегает мощными пластами на различных горизонтах формации Salina, а также в песчаниках миссисипского отдела или нижнего карбона (рис. 31). Соль

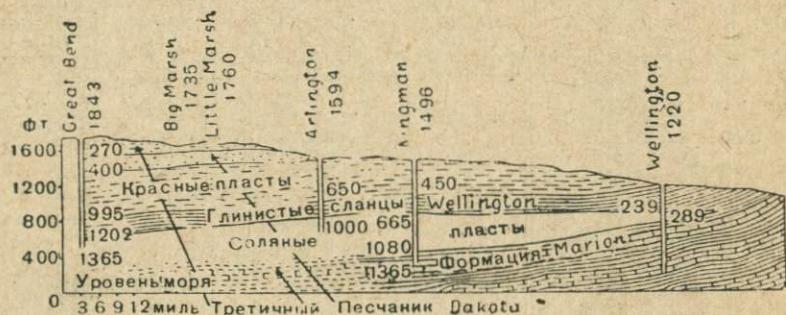


Рис. 32. Геологическое строение пермских соленосных отложений в Канзасе (из Mineral Resources of Kansas).

извлекается из естественных и искусственных рассолов. Эти рассолы необычайно богаты бромом, который извлекается из них в качестве побочного продукта маточного раствора. Близ Detroit'a предпринята глубокая подземная разработка, представляющая значительные трудности.

Канзас (Kansas) также дает много соли<sup>32</sup>, часть ее добывается из соляных источников (карбон) и из солончаков, в которых скапливается соль, выщелоченная из пермских отложений. Большинство соли добывается именно из этих пермских пластов, где отложения соли чередуются с пропластками глинистого сланца.

Общая мощность отложений соли не превышает 500', но некоторые из пластов достигают мощности свыше 200' (рис. 32). Залежи соли распространяются и на штат Oclahoma (рис. 33).

В западных, засушливых штатах весьма распространены залежи соли типа *playa*, расположенные в сухих бассейнах между горными кряжами, но обычно подобные залежи редко бывают мощными.

Наиболее известны такого типа месторождения соли, находящиеся в Salton, Imperial County, где бассейн лежит ниже уровня моря; не так давно он был затоплен р. Колорадо, после чего добыча соли здесь резко снизилась.

Обширная площадь покрыта слоем соли толщиной от 10 до 20". Под ним лежит тонкий пропласток ила, перекрывающий второй слой соли. Глубокое бурение встретило 22' черного ила, содержащего соль и соду; ниже залегает пласт твердой глины мощностью 270'<sup>33</sup>.

Подобного же рода месторождения соли весьма обычны в Северной Африке и Средней Азии.

В течение длительного периода времени в Тироле (альпийский триас) эксплуатировались месторождения соли, переслоенные с глиной и залегающие между пластами известняка. Другой известный соляной район расположен по окраине Карпат в Румынии, Трансильвании и Галиции, где соль залегает пропластками среди песков и глин миоценса. Отложения в большинстве случаев сильно нарушены, брекчированы и смяты. В Галиции находятся знаменитые соляные копи Величка (Wieliczka), посещаемые многочисленными туристами, привлекаемыми живописностью и обширностью разработок (в настоящее время на глубине 1 000'); достопримечательностью служит также искусная внешняя подрезка твердых пластов соли.

Соляные пласти района Stassfurt будут описываться ниже.

**«Соляные купола» (Gulf Coast)<sup>34</sup>.** В США наиболее обширные месторождения соли обнаружены бурением в Louisiana и граничащей с ней прибрежной полосе Texas. Эти месторождения носят совсем особый характер, и генезис некоторых из них трудно объясним. Над низменной и болотистой прибрежной полосой к западу от Нового Орлеана (New Orleans) возвышаются многочисленные низкие холмики, под которыми и находят соль. Соль залегает не пластами, а в виде громадных подземных куполов, окруженных со всех сторон мощными и часто крутопадающими пластами глин и песков четвертичной и третичной эпохи. В некоторых местах на поверхности появляется тонкослоистый известняк мелового возраста. Известное представление об этих странных соотношениях дает рис. 34. Согласно Harris в Petite Anse бурением обнаружена залежь почти чистой соли мощностью 2 263', затем следует 70' пустых пород, после чего снова встречена каменная соль неизвестной мощности. На Côte Carline скважина вошла в залежь соли на глубине 334' и до глубины 2 090' (на которой закончили скважину), не встретив, кроме соли, никаких других отложений. В Bell Isle<sup>35</sup> скважина Knapp № 1

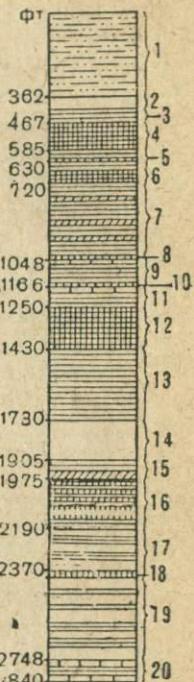


Рис. 33. Глубокая скважина в 3 милях к востоку от Gate City, Oklahoma (по N. H. Darton).

1 — красноцветная толща; 2 — гипс и ангидрит; 3 — сланцы; 4 — соль 118'; 5 — красные сланцы с солью 10'; 6 — соль 50'; 7 — красные сланцы с гипсом; 8 — соль 3'; 9 — красные сланцы и известняки; 10 — соль 6'; 11 — красные сланцы, известняки с ангидритом; 12 — соль 168'; 13 — красные сланцы; 14 — гипс и ангидрит; 15 — серые сланцы; 16 — соль 102' с ангидритом; 17 — ангидрит, сланец; 18 — соль. — 25'; 19 — ангидрит, сланцы; 20 — известняки и сланцы.

прошла пласт соли мощностью 2 000', а затем через 236' — ангидрита и гипса. По имеющимся сведениям в Humble, скважина проходит через пласт соли мощностью 5 410'. При бурении часто наталкиваются на нефть, газ и серу. В некоторых местах соль перекрывается пластами гипса и ангидрита мощностью 200, 400 и даже 600'. В иных случаях (как, например, в Spindletop, Texas) сверху отложений соли залегает пористый нефтеносный известняк мощностью в несколько сот футов. Падение отдельных свит, слагающих купол пород, крутое, и часто бывает, что скважина, расположенная вблизи другой, обнаружившей соль, не встречает последней. Естественно, что имеющиеся в литературе разрезы, составленные по данным нескольких буровых скважин, дают лишь гадательную структуру.

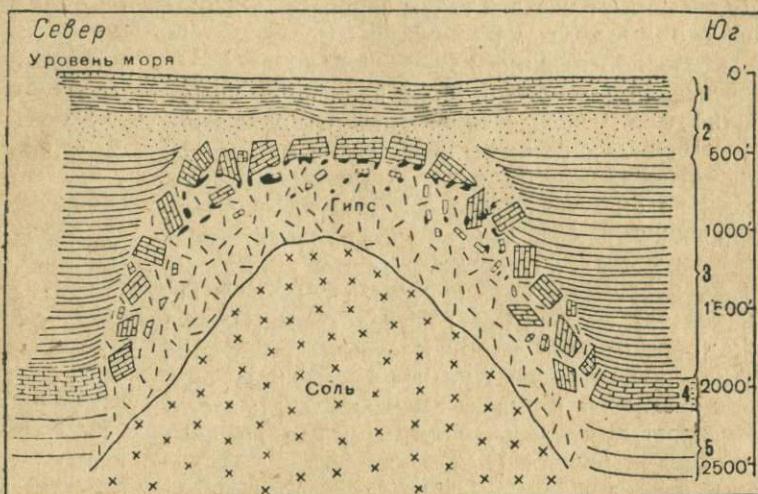


Рис. 34. Вертикальный разрез соляного купола на основании данных бурения в районе Calcasieux, Louisiana. Черный цвет — сера (по Kirby Thomas),

1—толща глин и песков; 2—плывуны; 3—толща песков, глин и сланцев; 4—известняки; 5—вероятная мощность известняков и соли.

Эти громадные запасы соли пока еще мало эксплуатируются. В 1925 г. добыча каменной соли велась на Weeks Island на глубине 645', на Avery Island — на глубине 500' и в Carline — на глубине 900'. Шахты проходят в водоносных рыхлах породах, пока, наконец, не достигают водонепроницаемого пласта соли. В некоторых местах существует опасность затопления всей копи в случае вскрытия водопроводящих каналов<sup>36</sup>.

По мнению R. T. Hill, эти интереснейшие соляные купола отлагаются восходящими растворами; поднятие окружающих пластов происходит вследствие гидростатического давления соляных растворов и нефти, поднимающихся вверх по существующим в породах трещинам. По мнению L. Hager и A. C. Veach, купола представляют собою поднятия, вызванные лакколитовыми интрузиями. Согласно G. D. Harris, поднятия вызываются расширением растущих кристаллов соли, причем концентрированные растворы поднимаются из секущих трещин, а источником соли являются глубоколежащие породы палеозоя и мезозоя.

Ни одна из этих точек зрения не убедительна. В новейшей литера-

туре мы встречаем упоминания о существовании многочисленных соляных куполов вдоль побережья, а также и внутри материка<sup>37</sup>. Этот же вид соляных куполов мы видим на перешейке Tehuantepec позади Puerto Mexico<sup>38</sup>; в некоторых местах эти купола сопровождаются месторождениями нефти и газа.

Из заграничной литературы мы знаем о существовании таких же соляных куполов в Северной Германии, Трансильвании и других странах<sup>39</sup>. Hopkins твердо установил, что соляной купол в Palestine (Texas) образовался в результате местного вертикального куполовидного поднятия.

К такому же выводу приходят De Golyer и Rogers. Вероятно, эти купола представляют «протыкание» более мягких пород соленосными отложениями нижележащих перми и карбона, так как каменная соль обладает большой пластичностью при всякого рода деформациях. Какая именно сила вызвала такое поднятие — пока не выяснено.

Ввиду того, что соляные купола побережья Gulf содержат нефть, газы и серу, им уделяется особое внимание. Многочисленные новые купола открыты при помощи новейших методов геофизической разведки, главным образом, при помощи гравиметрии и сейсмометрии. В т. V «Bulletin of American Association of Petroleum geologists» за 1925 г. читатель найдет 21 статью по этому вопросу, в общем подтверждающие приведенные выше выводы<sup>40</sup>.

**Состав, добыча и применение.** Соль поступает на рынок обычно в чистом виде. Главнейшей примесью является сернокислый кальций, присутствующий иногда в количестве 1%. Соль из некоторых озерно-пустынных отложений содержит углекислый и сернокислый натрий.

В 1925 г. добыча каменной соли в США выражалась в 2 343 000 коротких т. В том же году мировая продукция соли составляла 7 398 000 коротких т. Цена держалась в среднем 3 долл. за тонну. 99% всей продукции дали штаты New-York, Kansas, Louisiana и Michigan.

Относительно широкого использования соли в пищевой промышленности говорить излишне. Большие ее количества употребляются в производстве прочих натриевых солей, в особенности соды.

**Бром и хлористый кальций.** В 1925 г. в штатах Michigan, Ohio и West Virginia из остаточных соляных рассолов было получено 780 т брома; цена его была приблизительно 31 цент за английский фунт. В настоящее время производятся опыты по извлечению брома из морской воды в заводском масштабе. Весьма значительное количество брома добывается из соляных месторождений Германии.

В США из рассолов ежегодно добывают до 60 000 т хлористого кальция. Предварительный анализ такого рассола приводится ниже<sup>41</sup>:

#### Анализ рассола из Pomeroy (Ohio)

(в г./л.)

Хлористый натрий . . . . .	84,30
" кальций . . . . .	14,34
" калий . . . . .	0,114
" магний . . . . .	5,50
" барий . . . . .	0,343
" стронций . . . . .	0,257
Иодистый натрий . . . . .	0,004
Бромистый магний . . . . .	0,155

# МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ ГЕРМАНИИ<sup>42</sup>

Если процесс испарения морской воды довести до конца, осадок будет содержать легко растворимые хлористые и сернокислые соли калия, магния и кальция. Чуть ли не единственным месторождением, где можно наблюдать всю последовательность и полноту осаждения солей, являются пермские отложения Средней Германии к северу и югу от гор Гарца.

Эти месторождения в настоящее время эксплуатируются чуть ли не пятьюдесятью предприятиями; они дают ежегодно до 12 млн. т необработанных калиевых солей; из этого количества 85% используется в качестве удобрения, остальные 15% для различных промышленных целей. Общая

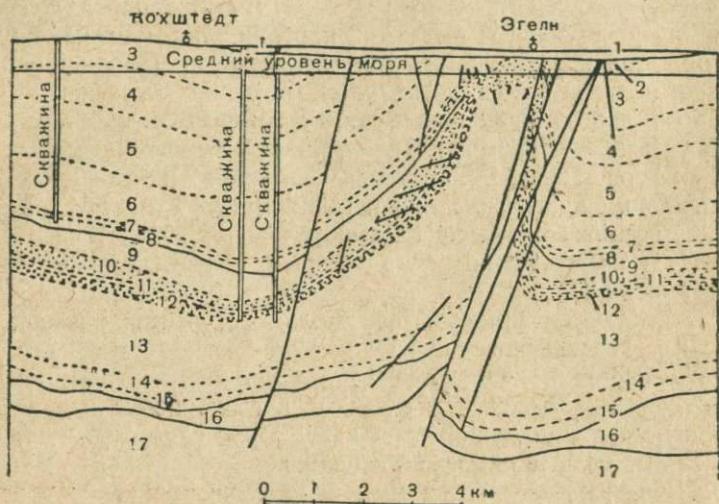


Рис. 35. Разрез антиклинали. Горизонтальный масштаб 4 км.  
Вертикальный масштаб в 15 раз больше горизонтального.

1—третичная толща; 2—триасовые сланцы; 3—триасовые известняки; 4—верхние песчаники; 5—средние песчаники; 6—нижние песчаники; 7—верхние глины; 8—вторичная соль; 9—молодая соляная толща; 10—основной пласт ангидрита; 11—глинистая соль; 12—калийные соли; 13—древняя соляная толща; 14—пермские известняки (Zechstein); 15—верхнепермские песчаники (Rotliegendes); 16—нижнепермские и верхнекарбоновые (Rotliegendes); 17—каменноугольные и доказанноугольные образования.

стоимость добычи равняется 45 млн. долл. Разработка ведется исключительно шахтами глубиною от 1 000 до 2'500'. Шахты круглого сечения закреплены бетоном или железными трубами; как при проходке шахт, так и в процессе работы всегда имеется большая угроза затопления. Если воде удастся проникнуть в шахту, то рудник в большинстве случаев приходится считать пропавшим.

Некоторые из продуктов продаются в качестве удобрения без предварительной химической обработки. Из этих продуктов первое место занимает карналлит, а затем кайнит; в том виде, как они поступают с рудника, и тот и другой содержат от 30 до 40% поваренной соли. Другими химическими продуктами являются хлористый и сернокислый калий и сернокислый калий и магний. Кизерит очищается до сернокислого магния.

Калиевые соли залегают в виде свиты относительно тонких пластов на тяжелом пласте каменной соли в пермской толще; их в свою очередь

перекрывают песчаники и известняки триаса, наконец, третичные и четвертичные отложения. Они образуют ряд синклинальных и антиклинальных складок, местами выходящих весьма близко к поверхности и в этом случае несут заметные следы вторичного изменения, выражющегося процессами выщелачивания.

Общий разрез сверху вниз от песчаника триаса представляется в следующем виде<sup>48</sup>:

№ по пор.	Мощность м	Характер отложений
1	20—30	Красная глина с небольшим количеством ангидрита и каменной соли
2	50	Каменная соль
3	1—5	Ангидрит с каменной солью
4	5—15	Красная глина с ангидритом и каменной солью
5	100—150	Каменная соль более позднего происхождения
6	40—90	Преимущественно ангидрит
7	4—10	Соленосная глина
8	30—40	Карналлитовая зона карналлит ( $KCl \cdot MgCl_2 + 6H_2O$ )
9	20—40	Кизеритовая зона. Кизерит ( $MgSO_4 + H_2O$ )
10	40—60	Полигалитовая зона. Полигалит ( $KCaSO_4 \cdot MgSO_4 \cdot K_2SO_4 + 2H_2O$ )
11	300—500	Каменная соль более раннего происхождения с тонкими пластами ангидрита, интерпретируемыми, как годовые отложения
12	70—100	Ангидрит более древний
13	4—10	Известняк (Zechstein Kalk). Морское отложение
14	0,5—4	Черный глинистый сланец, содержащий медь. Конгломерат Пластины нижней церми и карбона Более ранние свиты (8—11) заканчиваются отложениями калиевых солей Свита более позднего происхождения (1—7) не содержит калиевых солей

Каменная соль фактически присутствует во всем разрезе, так как карналлитовая зона, дающая наибольшее количество сырья, содержит лишь около 55% карналлита, включая также 25% каменной соли и 16% кизерита. Кизеритовая зона дает 65% каменной соли и всего 17% кизерита.

Главнейшими продуктами являются каменная соль, кизерит, сильвин ( $KCl$ ), карналлит ( $KCl \cdot MgCl_2 + 6H_2O$ ) и каинит ( $KCl \cdot MgSO_4 + 3H_2O$ ).

Немецкие геологи установили, что в соляных пластах имели место весьма значительные вторичные изменения отчасти немедленно после отложения, отчасти же много позже вслед за отложением триаса и продолжаются поныне. Изменения, последующие триасу, имели место как в выходах на дневную поверхность, так и на глубине. Вышеперечисленные минералы могут встречаться во всех трех генерациях, но, кроме того, образовался целый ряд более или менее сложных вторичных соединений.

Каинит является частично вторичным продуктом, происходящим из карналлита путем выщелачивания  $MgCl_2$ . Он образуется вдоль гребней антиклиналей. В некоторых условиях вместо каинита образуется вторичная смесь хлористого калия, кизерита и соли; эта смесь представляет важный продукт, носящий название *hartsalz*. Между карналлитом

и соленосной глиной встречаются вторичные отложения более древнего типа.

Продукты всех этих изменений и превращений весьма сложны.

Van't Hoff<sup>44</sup> и его сотрудники провели изучение различных сочетаний солей с целью установить пределы их стойкости при температурах от 25 до 83° С. Сильвин и карналлит стойки в крепких растворах NaCl при температурах от 0 до 85° С. Многие из более редких солей (например, лангбенит 2MgSO<sub>4</sub>K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) при этих условиях устойчивы, только начиная с 37° С и выше.

Некоторые из требующихся температурказалось бы очень высоки; так кизерит и сильвин образуются при температуре выше 72° С.

Однако на средних глубинах испаряющихся соляных озер температура может быть очень высокой. A. V. Kaleczinsky<sup>45</sup> установил, что температура некоторых соленых озер Венгрии в летнее время достигает 71° на глубине 1,3 м, между тем как выше и ниже температура воды 20° С.

В настоящее время, однако, полагают, что многие из этих изменений вызваны погружением первичных отложений соли на более значительные глубины, где имеет место частичная перекристаллизация. Позднее пластины вновь приблизились к поверхности, и следствием этого местами метаморфические реакции стали протекать в обратном направлении<sup>46</sup>.

## ДРУГИЕ ИСТОЧНИКИ КАЛИЕВЫХ СОЛЕЙ

Истощающиеся почвы земледельческих районов требуют, помимо фосфорнокислых и азотных соединений, также и калиевых солей<sup>47</sup>, и Германия является единственной страной, богатой этими солями\*. В 1913 г. ввоз калийных солей в США составлял 1 800 000 метрических т; за время мировой войны производство этих солей в Америке возросло, но все же не превышает 20% всего потребного количества.

В Эльзасе (Олигоцен) найдены залежи калийных солей, сходных с германскими; они обещают быть продуктивными и их эксплоатация уже начата<sup>48</sup>.

Залежи их имеются также в Тироле, Испании<sup>49</sup>, Галиции и Индии, но до настоящего времени мировой рынок еще не снабжается этими странами. В США поиски калиевых солей деятельно ведутся уже с 1910 г.

Присутствие калия в пермских соляных отложениях западного Texas было впервые открыто J. A. Udden; производившиеся с тех пор буровые работы подтвердили наличие годных для эксплоатации залежей калийных солей на глубине от 1 000 до 2 600'. В недалеком будущем США будут располагать более богатыми данными относительно этой важной находки<sup>50</sup>.

**Калий в горных породах и минералах.** Граниты, пегматиты, некоторые фонолиты и некоторые лейцитовые породы содержат значительное количество калия, что-нибудь между 5 и 12%. К сожалению, нерастворимые калиевые силикаты, содержащиеся в ортоклазе, лейците или стекловатых разностях основных пород, весьма трудно превращать в растворимые соли.

Если ортоклаз или другую породу, содержащую калий, перетереть в мелкий порошок и смочить водой, некоторая часть калиевой соли примет растворимую форму (вероятно калиевого силиката). Судя по не-

\* Это было справедливо до открытия в СССР Соликамских месторождений калийных солей, запасы которых не уступают Германии. Прим. ред.

которым имеющимся сведениям такой мелко молотый порошок может, до известной степени, служить удобрением. Имеются патенты процессов, основанных на электролизе измельченной и смешанной с водой породы или на ее обработке негашеной известью и хлористым кальцием с последующим обжигом; с помощью этих методов освобождаются растворимые калиевые соли.

В 1925 г. в Италии было добыто свыше 200 000 т лейцитовых пород, поступивших на производство калиевых солей. Предполагают эксплуатировать имеющиеся в Georgia и Minnesota пласты глинистого сланца, содержащего калий.

Глауконитовые пески и мергеля — например, меловые отложения New Jersey — содержат от 3 до 6% калия (в глауконите) и, кроме того, некоторое количество фосфорной кислоты (в фосфорнокислом кальции). В необработанном виде эти мергеля используются в качестве удобрения; намереваются поставить извлечение из них калия в растворимой форме. Источник калия ищут также в алюните; это минерал весьма скромной внешности, белый или розовый, компактный или мелко-зернистый, редко крупнозернистый. Он соответствует формуле  $K_2O \cdot 3Al_2O_5 \cdot 4SO_3 \cdot 6H_2O$  и содержит от 8 до 11% калия. Он встречается преимущественно в вулканических областях в качестве продукта метаморфизма пород, вероятно под действием вод, содержащих серную кислоту; он гораздо более распространен, чем растворимые естественные квасцы, которые иногда встречаются в природе в виде корок налета.

Алунит встречается в виде вкраплений в породы или в качестве ясно выраженных жил. На западе известны залежи в Goldfield (Nevada); Marysville (Utah) и Rosita Hills (Colorado). Из эксплуатируемых за границей месторождений упомянем La Tolfa (Италия); Almeria (Испания); Bullah Delah (New South Wales). Превращение алунита в растворимый сернокислый калий легко осуществляется кальцинированием; часть серной кислоты и вся вода улетучиваются, и остается растворимый сернокислый кальций и нерастворимый остаток глинозема. Во время мировой войны извлечение калиевых солей из алунита велось в Marysville.

**Калий в рассолах.** Калиевые соли легко растворяются, поэтому вместе с хлористыми кальцием и магнием они остаются в последних остатках, или «маточных растворах», называемых «bitters». Во многих из естественных рассолов, откачиваемых буровыми скважинами, пройденными в соленосных отложениях, присутствует некоторое количество калия, и при соответствующих условиях эти рассолы могут быть использованы для извлечения из них калиевых солей. Некоторые рассолы из формации Marshall (нижний карбон) (рис. 31) содержат хлористый калий в количестве от 3 до 5 г/л; из этих рассолов извлекают поваренную соль, хлористый кальций и бром, но содержание в них калия, видимо, слишком незначительно, чтобы его извлечение могло быть выгодно. В некоторых местах определено ярко выраженные пласти дают естественные рассолы, или остаточные маточные растворы. Согласно W. C. Phalen такой «маточный раствор» из Fairport Harbor (Ohio, озеро Erie) содержит (в г/л)  $KCl$  7,4,  $NaCl$  110,1,  $CaCl_2$  134,4,  $MgCl_2$  43,2. Такой рассол, вероятно, можно использовать для извлечения калия.

Этот слой находится почти на 400' выше наиболее высоко залегающего соляного пласта в Ohio, из которого откачиваются искусственные рассолы. Рассолы, содержащие калий, которые возможно будет исполь-

зователь, имеются в пустыне Соляного озера (Salt Lake Desert) на западной линии Тихоокеанской жел. дороги.

В озерах сухих районов, в особенности тех, которые являлись раньше сценой вулканической деятельности, содержится значительное количество калия.

Воды озера Owens в Восточной Калифорнии содержат хлористый калий в количестве 3 т/л. Сведения относительно продукции отсутствуют.

Испарение вод из четвертичных озер, расположенных в бассейне Lahontan (Невада и Калифорния), во многих местах имело своим следствием образование соляных отложений относительно небольшой мощности. Вследствие изменений, имевших место в системе стока этих бассейнов, более богатые калием остаточные рассолы иногда перетекали в расположенные поблизости впадины. Такой пример мы имеем в Searles Marsh (San Bernardino, Калифорния), где отложения соли мощностью до 60', залегающие на площади не менее 11 кв. миль, насыщены крепким рассолом калиевых солей. В растворимых солях из Searles Marsh K<sub>2</sub>O присутствует в количестве почти 7%. В настоящее время здесь имеется завод American Trona Corporation, вырабатывающий калиевые соли и буру.

Во время мировой войны некоторое количество калия извлекалось из рассолов некоторых небольших озер в штатах Nebraska и Colorado.

Наиболее древним источником калия, как известно, была зора растительных веществ. Этим металлом особенно богаты морские водоросли, в них же содержится и иод.

В настоящее время в США калиевые соли извлекаются из отходов паточных заводов, а также пыли цементных заводов и доменных печей. В 1925 г. извлечение составляло 47 000 т необработанного поташа, что дает 25 000 т K<sub>2</sub>O; в 1928 г. потребление поташа равнялось 692 000 т, т. е. 200 000 K<sub>2</sub>O. Будущее покажет, насколько положение может улучшиться, когда приступят к эксплатации вновь открытых калиевых солей в Texas и New Mexico. В настоящее время единственными крупными производителями поташа являются Германия и Франция. Бывшие враги теперь пришли к соглашению, позволяющему им регулировать цены на калийные соли в США. В настоящее время эти цены держатся приблизительно 34 долл. за 80% «муриата» и 46 долл. за тонну 90% «сульфата». Германия произвела в 1925 г. 12 000 000 т круда, или 1 600 000 т K<sub>2</sub>O, в то время как производство Франции составляло для того же года 1 200 000 т круда, или 310 000 т K<sub>2</sub>O.

---

<sup>1</sup> George P. Merrill. The non-metallic minerals, 1910.

F. W. Clarke. Geochemistry. „Bull.“ 770, U. S. Geol. Survey, 1924, pp. 218—260.

A. W. Grabau. Principles of salt deposition. New-York 1920.

<sup>2</sup> A. Liversidge. „Jour. Chem. Soc.“ 71, 1897, p. 298.

E. E. Lungwitz. „Eng. Min. Jour.“, April 6, 1905.

<sup>3</sup> „Annales Chim. Phys.“, 3d ser., 27, 1849, pp. 92—172.

<sup>4</sup> Эти труды публиковались преимущественно в „Sitzungsberichte K. preuss.

Acad. d. Wiss.“, в период с 1897 по 1910 гг.

Результаты своих трудов van't Hoff дает в книге озаглавленной „Zur Bildung der Ozeanischen Salz-Ablagerungen“. Braunschweig 1905 и 1909, см. также „Physical chemistry in the service of the sciences“, University Chicago Press, 1903. Также H. Precht and E. Cohen. „Ueber die Bildung verhältnisse der ozeanischen Salzlager“. Leipzig 1912.

<sup>5</sup> J. V. Elsden. Principles of chemical geology. 1910, pp. 85—86.

- 6 W. H. Twenhofel. Treatise on Sedimentation. Baltimore 1926, pp. 341—372.  
 7 J. Walther. Lithogenesis der Gegenwart. Jena 1893, 1894, pp. 776—800.  
 J. Walther. Das Gesetz der Wüstenbildung. Leipzig 1912.  
 8 C. Ochsenius. Bedeutung des orographischen Elements „Barre“. „Zeitschr. Prakt. Geol.“ 1893, pp. 189—201; 217—233.  
 9 W. H. Twenhofel. Op. cit., p. 366.  
 10 E. B. Branson. Origin of thick salt and gypsum deposit. „Bull. Geol. Soc. Am.“ 26, 1915, pp. 231—242.  
 11 F. A. Wilder, „Bull. Geol. Soc. Am.“ 32, 1921, p. 390. „Mineral Industry“, Annual issues.  
 G. P. Grimsley. Michigan Geol. Survey, 9, pt. 2, 1904.  
 G. P. Grimsley and E. H. S. Bailey. Kansas Geol. Survey, 5, 1899.  
 R. W. Stone. Gypsum deposits of the United States. „Bull.“ 697, U. S. Geol. Survey, 1920.  
 H. Ries. Economic geology. New-York 1925, pp. 244—259 (с ссылками).  
 R. C. Wallace. Gypsum and anhydrite in genetic relationship. „Geol. Mag.“ 1, 1914, pp. 271—276.  
 D. H. Newland and H. Leighton. „Bull.“ 143, N. Y. State Mus., 1910.  
 A. F. Rogers. Notes on the occurrence of anhydrite in the United States, School of Mines Quarterly, 36, 1915, pp. 123—142.  
 D. H. Newland. Geology of gypsum and anhydrite. „Econ. Geol.“ 16, 1921, pp. 393—404.  
 12 N. H. Darton. „Bull.“ 715, U. S. Geol. Survey, 1921, p. 221.  
 13 E. C. Harder. „Bull.“ 430, U. S. Geol. Survey, 1910, pp. 407—416.  
 14 C. Doepler. Handbuch der Mineralchemie. Bd. 4, Hft. 7, 8, 1927.  
 15 O. Bowles and M. Farnsworth. Physical Chemistry of the calcium sulphates. „Econ. Geol.“ 20, 1925, pp. 738—745.  
 16 Суммировано Cameron и Bell. „Bull.“ 33, U. S. Bureau of Soils, 1916.  
 17 A. C. Melcher. „Jour. Am. Chem. Soc.“ 32, 1910, pp. 50—66.  
 18 J. V. Harrison. The gypsum deposits of S. W. Persia. „Econ. Geol.“ 19, 1924, pp. 259—274.  
 19 F. W. Clarke. Geochemistry. „Bull.“ 770, U. S. Geol. Survey, 1924, p. 237.  
 A. R. Schultz. Deposits of sodium salts in Wyoming. „Bull.“ 430, U. S. Geol. Survey, 1910, pp. 570—588.  
 A. G. Wikoff. „Mineral Industry“, 1925, p. 637.  
 R. C. Wells. Sodium and sodium compounds. „Min. Res. U. S. Geol. Survey“ 1918, II, pp. 159—198.  
 L. Reincke. „Trans. Canad. Min. Inst.“ 22, 1919, p. 353.  
 O. P. Jenkins. Verde River lake beds. „Am. Jour. Sci.“, 5th ser., 5, 1923, p. 65.  
 R. C. Wells. Sodium sulphate, its sources and use. „Bull.“ 717, U. S. Geol. Survey, 1923.  
 20 H. S. Gale. Nitrate deposits. „Bull.“ 523, U. S. Geol. Survey, 1912.  
 21 G. R. Mansfield. Nitrate deposits in southern Idaho and eastern Oregon. „Bull.“ 620, U. S. Geol. Survey, 1916, pp. 19—44.  
 L. F. Noble and G. R. Mansfield. Nitrate deposits in the Amargosa region. „Bull.“ 724, U. S. Geol. Survey, 1922, pp. 61—67.  
 Whitman Cross. „Am. Jour. Sci.“, 4th ser., 4, 1897, p. 118.  
 22 F. W. Clarke. Geochemistry. „Bull.“ 770, U. S. Geol. Survey, 1924, p. 256.  
 23 Литература весьма обширна, упомянем:  
 L. Darapsky. Das Department Tal-tal. Berlin, 1900. Ref. „Zeitschr. Prakt. Geol.“, 1902, p. 153.  
 R. A. F. Penrose. „Jour. Geol.“ 18, 1910, pp. 1—32.  
 F. W. Clarke. Geochemistry. Op. Cit. M, pp. 254—260.  
 J. T. Singewald Js., and B. L. Miller. „Econ. Geol.“ 11, 1916, pp. 103—114.  
 Lorenzo Sundt. „Econ. Geol.“ 12, 1917, p. 89.  
 A. H. Rogers and H. R. Van Wagener. The Chilean Nitrate Industry. „Bull.“ 134, Am. Inst. Min. Eng., Feb. 1918, pp. 505—522. Дискуссия в „Bull.“ 136, Idem. 1920, pp. 845—848.  
 S. H. Salisbury, Jr. and A. G. Wikoff. „Mineral Industry“, Annual issues.  
 W. L. Whithead. The Chilean nitrate deposits. „Econ. Geol.“ 15, 1920, pp. 187—224.  
 C. Doepler. „Die Mineralchemie“ 3, 1, 1918, pp. 267—281.

W. Wetzell. Petrographische Untersuchungen an chilenischen Saltpetergesteine.  
„Zeitschr. Prakt. Geol.“, 1924, p. 113.

<sup>24</sup> Op. cit.

<sup>25</sup> „Geochemistry“. „Bull.“ 770, U. S. Geol. Survey, 1924, p. 258.

<sup>26</sup> G. E. Bailey. The saline deposits of California. „Bull.“ 24, California State Min. Bur., 1902.

M. R. Campbell. Reconnaissance of the borax deposits of Death Valley and the Mohave Desert. „Bull.“ 200, U. S. Geol. Survey, 1902.

C. R. Keyes. Borax deposits of the United States. „Trans. Am. Inst. Min. Eng.“ 40, 1909, pp. 674—710.

J. H. van't Hoff. Zur Bildung der ozeanischen Salz-Ablagerungen, 1905.

Общие сведения: F. W. Clarke. „Geochemistry“. „Bull.“ 770, U. S. Geol. Survey, 1924, pp. 243—253.

C. G. Vale and H. S. Gale в „Mineral Resources“, U. S. Geol. Survey, Annual publication.

H. S. Gale. The origin of colemanite deposits. „Prof. Paper“ 85, U. S. Geol. Survey, 1913, pp. 3—9.

W. F. Foshag. The origin of the colemanite deposits. „Econ. Geol.“ 16, 1921, pp. 199—214.

<sup>27</sup> „Prof. Paper“ 85, U. S. Geol. Survey, 1913, pp. 3—9.

<sup>28</sup> W. F. Foshag. Op. Cit.

<sup>29</sup> J. H. van't Hoff. Zur Bildung der ozeanischen Salz-Ablagerungen. 2, 1909, pp. 45—75.

<sup>30</sup> U. S. Geol. Survey „Mineral Resources“ (annual reports). См. W. C. Phalen. „Mineral Recourses“ 1907—1911.

„Mineral Industry“ (Annual issues).

G. D. Harris. „Bull.“ 7, Louisiana, Geol. Survey, 1908.

J. O. von Buschmann. Das Salz. Leipzig 1906 and 1909, 2 тома.

W. C. Phalen. Technology of salt making in the United States. „Bull.“ 146, U. S. Bureau of Mines, 1917 (с описанием месторождений).

A. W. Grabau. Principles of salt deposits. New-York 1920.

<sup>31</sup> A. C. Lane. „Mineral Industry“ 16, 1907; также 19, 1910.

A. C. Lane. „Water-Supply Paper“ 30, U. S. Geol. Survey, 1899.

<sup>32</sup> M. Z. Kirk. Mineral resources of Kansas. Univ. Geol. Survey, 1898.

N. H. Darton. Permian salt deposits of the southcentral United States. „Bull.“ 715, U. S. Geol. Survey, 1921, pp. 205—224.

<sup>33</sup> G. E. Bailey. „Bull.“ 24, California State Min. Bur., 1902, p. 126.

<sup>34</sup> G. D. Harris. „Bull.“ 7, Geol. Survey Louisiana, 1908.

A. F. Lucas. The possible existence of deep-seated oil deposits on the Gulf Coast. „Bull.“ 139, Am. Inst. Min. Eng., 1918, pp. 1119—1134.

G. S. Rogers. Intrusive origin of the Gulf Coast Salt Domes. „Econ. Geol.“ 13, 1918, pp. 447—485.

E. R. De Golyer. The theory of volcanic origin of the salt domes. „Bull.“ 137, Am. Inst. Min. Eng., 1918, pp. 987—1000.

<sup>35</sup> A. F. Lucas. „Trans. Am. Inst. Min. Eng.“ 57, 1917, p. 1034.

<sup>36</sup> F. E. Vaughn. The five islands, Louisiana. „Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.“ 9, 1925, pp. 756—797.

<sup>37</sup> O. B. Hopkins. „Bull.“ 616, U. S. Geol. Survey, 1917, p. 28.

<sup>38</sup> Burton Hartley. „Econ. Geol.“ 12, 1917, pp. 581—588.

<sup>39</sup> F. F. Hahn. „Econ. Geol.“ 7, 1912, pp. 120—135.

<sup>40</sup> E. De Golyer. Origin of North American salt domes. „Bull. Am. Assoc. Petroleum Geologists“ 9, 1925, pp. 831—874.

D. C. Barton. The Salt Domes of south Texas. Idem, pp. 536—589.

M. I. Goldmann. Petrography of salt dome cap rock. Idem, pp. 42—78.

<sup>41</sup> J. A. Browncker. Ohio Geol. Survey“ 8, 1906.

<sup>42</sup> R. Erhardt. Die Kali-Industrie. 1907.

Beyschlag. Everding, Erdmann, Loewe und Paxmann. Deutschlands Kalibergbau. 1907.

Резюме: F. W. Clarke. „Geochemistry“. „Bull.“ 770, U. S. Geol. Survey, 1924, pp. 221—228.

H. E. Boeke and W. Eitel. Grundlagen der physikalischen chemischen petrographie. Berlin 1923, pp. 453—510.

<sup>43</sup> H. Everding. Deutschlands Kalibergbau. 1907, p. 36.

<sup>44</sup> Van't Hoff. Die ozeanischen Salz-Ablagerungen, 1905, 1909.

H. Precht and E. Cohen. Die Bildungsverhältnisse ozeanischer Salz-Ablagerungen. Leipzig 1912.

<sup>45</sup> A. V. Kaleczinsky. „Ref. Ann. Phys.“ (4), 7, 1902.

<sup>46</sup> Boeke and Eitel. Grundlagen d. phys.-chem. Petr. 1923, p. 492.

E. Jänecke. Entstehung d. deutsch. Kali salzlagerstätten, 1915.

E. Jänecke. „Zeit. Anorg.-Chemie“ 100 (1917). 102 (1918), 103 (1918).

<sup>47</sup> W. C. Phalen. Potash salts „Mineral Resources“, U. S. Geol. Survey, annual publication, 1910—1925 (с библиографией).

W. C. Phalen. Occurrence of potash salts in the bitters of the eastern United States; „Bull.“ 530, U. S. Geol. Survey, 1911.

H. S. Gale. The search for potash in the United States; Idem, также в „Bull.“ 580. Idem, 1914, pp. 265—317.

A. R. Schultz and Whitmann Cross. Potash-bearing rocks of the Leucite Hills, Wyo., „Bull.“ 512, IDEM, 1912.

B. S. Butler and H. S. Gale. Alunite. „Bull.“ 511, Idem, 1912.

<sup>48</sup> A. S. Gale. Potash deposits in Alsace. „Bull.“ 715, U. S. Geol. Survey, 1921, pp. 16—56.

<sup>49</sup> H. S. Gale. Potash deposits in Spain. Idem, pp. 1—16.

<sup>50</sup> W. B. Lang. Potash investigations in 1924. „Bull.“ 785, Idem, 1926 pp. 29—43.

## Глава IV

# МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ОБРАЗОВАННЫЕ ПРОЦЕССАМИ ВЫВЕТРИВАНИЯ И РАЗЛОЖЕНИЯ ПОРОД У ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ<sup>1</sup>

### Общее положение

Осадочные отложения, поднятые на поверхность, потоки и покровы вулканических лав, обнаженные эрозией массивные кристаллические породы, — все это, находясь в поверхностной зоне земной коры, подвергается целому ряду изменений, носящих общее название «выветривание». Участвующими силами являются вода, воздух, перемены температуры и растительная и животная жизнь. Вода играет первенствующую роль; в ее отсутствии разложение может быть лишь весьма незначительным. Не менее важная роль принадлежит кислороду воздуха; и действительно, часто употребляется термин «выветривание», когда говорят об «окислении». Растворенная в воде  $\text{CO}_2$  (углекислота) разлагает минералы и ускоряет процесс растворения. Изменения и колебания температуры обусловливают преимущественно разрыхление пород; замерзая по трещинам пород, вода расширяется и создает силу, достаточную для того, чтобы разломать и сдвинуть с места даже тяжелые массивы породы. Растения выделяют  $\text{CO}_2$  и разрыхляют почву своими корнями, а жизнь бактерий изменяет ее состав. Животные роют землю и вызывают в ней химические изменения.

Различие между метаморфизмом и выветриванием заключается в том, что конечным следствием последнего является уничтожение пород, как чего-то целого; происходящие при выветривании химические процессы гораздо полнее и интенсивнее тех, которые протекают на глубине. Выветривание уничтожает текстуру пород и разделяет их вещественные химические соединения совершенно иначе, чем другие процессы. Металлы, которые в первоначальной породе были тесными природными спутниками, в процессе выветривания расстаются и ищут себе новых спутников. Следствием этого процесса обычно бывают разделения больших масс различных видов минералов. В полосе выветривания обыкновенные силикаты и карбонаты железа, магния и кальция бывают неустойчивыми. Верхний тонкий покров продуктов выветривания мы называем почвой; в этом покрове разложение и химические изменения дошли до конечного предела; почва перемешана с продуктами флоры и фауны; ее состав и происходящие в ней реакции представляют больший интерес для химиков-почвоведов, чем для лиц, изучающих рудные месторождения.

Выветривание может проникать на различные глубины; в некоторых пустынных местностях, областях, недавно вышедших из состояния оледенения, или местностях, покрытых свежими излияниями лав, выветривание почти полностью отсутствует, и единствено что можно наблюдать — это разложение. В областях с богатой растительностью и обильно выпадающими осадками выветривание может распространяться до глубины 30 и даже 60 м, по трещинам, присущим в легко проницаемых и растворимых породах, подобных известнякам; окисление может проникать даже и на еще большую глубину; в некоторых месторождениях влияние выветривания наблюдается на глубине нескольких сот метров, а в исключительных случаях даже и 2 000 м. Однако, как правило, выветривание не распространяется глубже 15 м, и его действие особенно сильно выражается в зоне, лежащей выше уровня грунтовых вод.

Разрыхление и разложение действуют совместно, но первое может проникнуть глубже, чем второе. Верхние слои, обычно окрашенные железом в красный или бурый цвет, постепенно переходят в более светло-окрашенную, более или менее размягченную и разрыхленную породу. На некоторых участках, в особенности на поверхности пластов известняка, наблюдается резкий переход в неизменившуюся породу. Этот переход так резок, что красную глинистую почву нередко принимают за иную формацию, залегающую поверх известковой породы.

Разрыхление сопровождается перемещением материала эрозионной деятельностью, а разложению сопутствует унесение материала путем растворения; и то и другое значительно сокращает объем породы. С другой стороны, гидратация и особого вида абсорбция, которою обладают почвы, стремится увеличить объем, но в общем выветривание сокращает объем. Согласно G. P. Merrill, граниты области Columbia теряют вследствие выветривания до 13,5% своего объема; по подсчету T. L. Watson, потеря гранитов Georgia колеблется в пределах от 7 до 72%. Наиболее значительная потеря объема является следствием усадки остаточных глин, получившихся из известняка; эта потеря нередко достигает 96%. Whitney уже давно пришел к заключению, что в Wisconsin из пласта известняка или глинистого сланца мощностью от 35 до 40 м получается слой остаточной глины мощностью всего в 1 м.

Разложение бывает полным лишь в легко растворимых породах; Саттер и Bell установили, что даже в тонкозернистых почвах весьма значительное число зерен первоначальных минералов остается неизмененным. При прочих одинаковых условиях выветривание бывает наиболее полным в странах с тропическим и влажным климатом. В США наиболее сильное выветривание наблюдается в области Appalachian, несколько южнее покрытого льдами пояса, и в этой-то области и залегает большинство рудных месторождений, образовавшихся процессами выветривания. В присущем в дождевой воде воздухе как кислород, так и  $\text{CO}_2$  чрезвычайно концентрированы. В почвах  $\text{CO}_2$  и кислород абсорбируются; почва и различного рода глины содержат на каждые 100 г от 14 до 40 см<sup>3</sup> газа, от 14 до 34%  $\text{CO}_2$ , со значительно меньшим количеством кислорода, чем в воздухе; в некоторых почвах кислород даже как будто вовсе отсутствует<sup>2</sup>. Количество  $\text{CO}_2$  увеличивается разложением растений. По мере приближения к горизонту грунтовых вод содержание кислорода быстро падает, что доказано измерениями, произведенными B. Lapsius<sup>3</sup>, в буровых скважинах; ниже этого горизонта, вероятно, кислорода остается очень мало.

Естественно, что процессы выветривания ускоряются присутствием серной кислоты, выделяемой при разложении пирита, или сольфатарными источниками. W. Maxwell<sup>4</sup> установлено, насколько важную роль играет эта кислота в развитии почв на склонах вулканов.

Характерные для выветривания процессы — окисление, гидратация и растворение. В поверхностных водах обычно преобладают углекислый кальций и магний со значительным количеством щелочных карбонатов и относительно большим количеством растворимого  $\text{SiO}_2$ ; как карбонаты, так и  $\text{SiO}_2$  являются продуктами разложения силикатов. При особых условиях, как, например, в областях вулканической деятельности или в богатых солями осадках, поверхностные воды будут иметь в значительной степени иной состав: преимущественно это будут сернокислые растворы. Почвенные воды, кроме того, содержат еще небольшие количества железа и марганца, преимущественно в виде бикарбонатов, также фосфорной кислоты и хлористого натрия.

В зоне выветривания распространены остаточные, почти нерастворимые минералы, — такие, как кварц, водные алюмосиликаты, по составу более или менее приближающиеся к каолиниту, окислы железа (лимонит, гематит) и двуокись марганца. Все эти компоненты образуют красную или бурую глинистую почву.

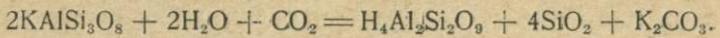
При всех поверхностных реакциях развиваются коллоидные вещества, подобные алюмосиликатам и водным окислам железа, которые, до перехода в кристаллическое состояние, представляют собою характерные абсорбенты многих солей, например, коллоиды марганца прекрасно абсорбируют калий и барий. Зону выветривания справедливо называют царством коллоидов.

## РАЗЛОЖЕНИЕ МИНЕРАЛОВ

Присутствующие в породах силикаты скорее разлагаются водою, чем растворяются, так как получающийся раствор обычно не содержит элементы в той же пропорции, в которой они присутствуют в первоначальном минерале. Вследствие гидролиза раствор в большинстве случаев дает щелочную реакцию<sup>5</sup>.

Согласно старой теории, породообразующие силикаты по выветриванию образуют растворимые углекислые соединения щелочей, кальция и магния, которые уносятся вместе со значительным количеством  $\text{SiO}_2$ . Алюмосиликаты остаются в виде гидроокиси вместе с большей частью железа и магния, но последние два металла могут быть частично выведены в виде растворимых солей. В процессах выветривания значительным фактором является относительная нерастворимость  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

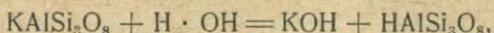
Железо-магниевые минералы растворяются первыми, так что обычно поверхностные воды содержат углекислые кальций и магний в большем количестве, чем прочие соли. Затем следуют натриево-известковые полевые шпаты, щелочные же полевые шпаты более стойки. Кварц разлагается лишь в незначительной степени. Разложение ортоклаза обычно выражают следующим уравнением:



Окончательным продуктом является каолин или подобные ему коллоидальные вещества. Мусковит и серйцит не образуются посредством процесса выветривания, хотя коллоидальный алюмосиликат может погло-

тить калий и образовать аморфные соединения, по составу приближающиеся к белым слюдам.

В согласии с более современной теорией, преобладающим фактором выветривания силикатов является гидролиз, а следовательно и концентрация водородного иона. Таким образом, для ортоклаза формула будет следующая:



причем KOH соединяется с CO<sub>2</sub>, а каолин образуется из нестойкого силиката HAIS<sub>3</sub>O<sub>8</sub>. Действие CO<sub>2</sub> объясняется в весьма значительной степени ее соединением с гидролизированными основаниями, а не непосредственным действием в качестве растворителя. Schwartz Walcker<sup>6</sup> установили, что минерал каолинит может образоваться только при определенной концентрации водородного иона. Старые работники, между прочим Stremme, считали, что коллоидальные осадки из смешанных растворов кремнекислоты и алюминиевых солей являются скорее смесями, чем определенными соединениями. Наиболее благоприятным условием для образования каолина будет понижение кислотности воды, насыщенной CO<sub>2</sub>, при атмосферном давлении (pH 3,8 при 20° и 4,2 при 70°). К тем же результатам приводят гидролиз и воздействие водородных ионов двууглекислой кислоты (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> = H + HCO<sub>3</sub>). Существующие в зоне выветривания соляные растворы могут ускорять разложение, а также и различного рода явления адсорбции; имеет место также и различного рода обмен основаниями (стр. 52).

В почве присутствует значительное количество коллоидного материала как из органических, так и из минеральных источников<sup>7</sup>. Предполагается, что коллоидальный материал получается от разрушения самого мелкого материала почвы под действием воды и CO<sub>2</sub>. Средний состав этого извлеченного коллоида почвы будет приблизительно следующий:

#### Состав среднего коллоида почвы

SiO <sub>2</sub> . . . . .	43,13	Na <sub>2</sub> O . . . . .	0,37
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	27,07	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,28
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	10,40	SiO <sub>3</sub> . . . . .	0,11
TiO <sub>2</sub> . . . . .	0,64	Cl . . . . .	0,03
MnO . . . . .	0,11	H <sub>2</sub> O . . . . .	10,40
CaO . . . . .	1,02	Органическое вещество . . . . .	3,40
MgO . . . . .	1,63	N . . . . .	0,26
K <sub>2</sub> O . . . . .	1,42		

Состав этого коллоида почвы резко отличен от химического состава самой почвы. Содержание SiO<sub>2</sub> ниже, а Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> выше. TiO<sub>2</sub> и P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, повидимому, концентрированы. По составу он не приближается ни к одному минералу. Обычно почвы содержат от 6 до 25% коллоидного материала, между тем как некоторые из наиболее пластичных глин содержат его в количестве 60% и даже выше. Подвергнутые исследованию пробы были взяты на глубине не выше 36" от поверхности.

Цеолиты, без сомнения, не стойки в зоне выветривания. Мусковит и серицит медленно поддаются выветриванию; Cameron и Bell<sup>8</sup> поместили 2 г перетертого в порошок мусковита в 1 л чистой воды и продержали его в парафиновых цилиндрах в продолжении 14 месяцев; в растворе они получили 10,4 части K на миллион. При подобных же условиях, но в присутствии в воде CO<sub>2</sub> они получили 18,3 части на миллион. То же

количество ортоклаза в чистой воде дало раствор с 1,7 части К на миллион; при насыщении  $\text{CO}_2$  было получено 2,5 части на миллион. Из этого видно, что мусковит отдает содержащийся в нем калий легче, чем ортоклаз. При тех же условиях альбит дал 1,0 и 1,1 части натрия на миллион. Ранее опыты производились A. Daubrée, R. Müller, A. S. Cushman и F. Henrich<sup>9</sup>; результаты были приблизительно те же.

Магнетит растворяется с трудом, но в конечном счете из него получаются гематит и лимонит. Пирит легко образует лимонит и серную кислоту. Апатит, видимо, растворяется довольно легко, в особенности с водой, насыщенной окисью углерода. Cameron и Bell<sup>10</sup> обработали перетертым в порошок хлористый апатит (в суспензии в воде) в течение 7 дней при температуре 25° С, пропуская через жидкость струю  $\text{CO}_2$ . В растворе оказалось 0,0378 г  $\text{CaO}$ , 0,0096 г  $\text{P}_2\text{O}_5$  и 0,0026 г соляной кислоты на литр раствора. В почвах и глинах фосфаты разлагаются или гидролизуются, причем образуются растворимые фосфаты, но просачивающаяся вода содержит их лишь в самом незначительном количестве. Установлено<sup>11</sup>, что суспензированный в воде гумус может адсорбировать кальций и значительное количество фосфорной кислоты из сернокислого кальция.

Реакции железных фосфатов в общем сходны с реакциями кальциевых солей. Lachowicz<sup>12</sup> установил, что присутствующее в почве органическое вещество действует в качестве растворителя фосфорнокислого железа. Cameron и Bell убедились, что  $\text{CO}_2$  чрезвычайно способствует растворению фосфорнокислого железа; 5 г фосфорнокислого железа, которое встırхивается в течение 5 дней со 100 кубиками  $\text{H}_2\text{O}$ , и другие 5 г со 100 кубиками насыщенных растворов  $\text{CO}_2$  и  $\text{CaSO}_4$  дают один 74,171, а другой 118 мг фосфорной кислоты.

Циркон, пироп, гранат, турмалин, хромит и подобные им минералы почти нерастворимы.

Кварц точно так же проявляет большую стойкость и почти нерастворим в зоне выветривания, исключая тех случаев, когда он подвергается действию более крепкого раствора щелочных карбонатов. C. W. Hayes<sup>13</sup>, M. L. Fuller<sup>14</sup> и C. H. Smyth<sup>15</sup> наблюдали значительное разъедание кварцевых галек в конгломератах, но какого рода реакция имела здесь место, в точности неизвестно. Кремнистые соединения и мелкозернистый кварц несколько более растворимы<sup>16</sup>. Теория генезиса железных руд Верхнего Озера (Lake Superior), поддерживаемая Van Hise и Leith, основана на предполагаемой растворимости такого материала. Раньше полагали, что кварц может растворяться некоторыми органическими кислотами, но в настоящее время это считается сомнительным.

## ПРИМЕРЫ ХИМИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ПРИ ВЫВЕТРИВАНИИ

Ниже приводятся анализы<sup>17</sup>, дающие представление об общем характере разложения, являющегося следствием выветривания. Многочисленные данные читатель найдет в геохимии Кларка<sup>18</sup>.

Merill считает, что, переходя в остаточную почву, кристаллическая кремнистая порода теряет около 50% своих первоначальных компонентов вследствие выщелачивания метеорными водами.

В анализах видны заметное увеличение содержания глинозема, значительное увеличение содержания воды и потеря кремнезема, извести,

окиси магния, натрия и калия. Потеря калия обычно меньше потери натрия. В целях сравнения предполагают, что количество глинозема остается постоянным, что, без сомнения, приближается к истине.

Действие выветривания не всегда постоянно, но вообще анализы иллюстрируют общее направление процесса.

	Слюдистый гнейс			Диорит		
	a	b	c	d	e	f
$\text{SiO}_2$	60,69	45,31	52,45	46,75	42,44	37,31
$\text{Al}_2\text{O}_3$	16,89	26,55	0,00	17,61	25,51	0,00
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	9,06	12,18	14,35	16,79	19,20	21,03
$\text{FeO}$	{ 1,06	0,40	74,70	5,12	0,21	97,17
$\text{MgO}$		4,44	Следы	100,00	9,46	0,37
$\text{CaO}$		2,82	0,22	95,03	2,56	0,56
$\text{Na}_2\text{O}$		4,25	1,10	83,52	0,55	84,87
$\text{K}_2\text{O}$		0,62	13,75	Увеличен	0,92	10,92
Прокаливание		0,25	0,47		0,25	Увеличен
$\text{P}_2\text{O}_5$					0,29	19,87
	100,08	99,98	—	100,01	99,99	—

a -слюдистый гнейс, Albermarle, Virginia;

b — остаточная почва от той же породы, G. P. Merrill, „Bull. geol. Soc. Am.“, 8, 1897, p. 189;

c — процентное отношение потери каждого компонента, предполагая, что  $\text{Al}_2\text{O}_3$  остается постоянным;

d —диорит, Albermarle, Virginia. G. P. Merrill, „Rocks, Rock weathering and soils“, New-York, 1916, p. 224;

e —то же —не разложившийся;

f —процентное отношение потери каждого компонента, предполагая, что  $\text{Al}_2\text{O}_3$  остается постоянным.

## ГЛИНЫ<sup>19</sup>

**Определение.** Общее определение глины следующее: землистое вещество, состоящее из смеси водного алюмосиликата с остаточными обломками минералов и коллоидальным веществом. Глины обычно становятся пластичными при смачивании водой и твердеют при обжиге до температуры красного каления (Ries).

**Переотложенные глины.** Переотложенные глины рассматривались выше (стр. 4). Их можно подразделить на морские глины, глины затопляемых в половодье равнин, ледниковые глины и эоловые глины.

**Остаточные глины.** Остаточные глины имеются во всем мире там, где разрушение пород протекало в течение продолжительного периода времени, где продукты этого разрушения уносились такими силами, как эрозия или движение ледников.

В США такие глины встречаются преимущественно в южной части области Appalachian. Наилучшие глины образуются из кислых зернистых пород, подобных граниту или гнейсу, в особенности же тех из них, которые содержат много полевого шпата и мало железо-магниевых силикатов, но даже и эти глины требуют отмывания для очищения их от кварца и лимонита. На различных глубинах (не свыше 30 м) эти

глины переходят в неизмененные породы. Высококачественная остаточная глина иногда получается и из пегматитовых даек. Продолжительное растворение осадочных пород, например известняка, также дает остаточную глину, но она содержит так много примесей, что редко употребляется для каких-либо целей кроме изготовления кирпича. Некоторые из осадочных глин, происшедших из гранитных пород, не обладают пластичностью. Считается, что в местностях, покрытых болотами и торфом, создаются благоприятные условия для развития каолина. Каолинит и близкие к нему глинистые минералы часто развиваются во время окисления рудных месторождений, преимущественно благодаря воздействию на минералы содержащейся в нисходящих растворах свободной серной кислоты.

**Глина гидротермального происхождения.** При некоторых условиях глина может образоваться под действием на содержащиеся в породах минералы восходящих горячих или теплых вод. Считают, однако, что ниже поверхности образуются скорее серицит или белая слюда, чем каолин.

**Применение и свойства.** Обыкновенные разновидности остаточных глин употребляются для производства кирпичей, а более чистые сорта для изготовления оgneупорных кирпичей и лучших сортов керамических изделий. Эти чистые глины, сохраняющие по обжиге белый цвет, носят названия каолина, комовой глины, бумагобельной глины или фарфоровой глины; они используются также в качестве наполнителей в писчебумажном и красочном производстве, также для приготовления замазки и карандашей. В 1925 г. в США было добыто около 480'000 т таких глин, продававшихся по 7—8 долл. за тонну; 373 000 т фарфоровой глины было получено из-за границы, преимущественно из Англии. Совершенно очевидно, что глиняная промышленность быстрорастет. Большинство местных фарфоровых глин — остаточные по пегматиту и граниту; они добываются в Georgia и в обеих Carolinas. Состав таких глин до и после отмучивания можно видеть из следующих анализов:

**Анализы сырого и отмученного каолина из Webster County,  
Южная Каролина \***

	Каолин		Каолинит
	Сырой	Отмученный	
SiO <sub>2</sub> . . . . .	62,40	45,78	46,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	26,51	36,46	39,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	1,14	0,28	—
FeO . . . . .	—	1,08	—
CaO . . . . .	0,57	0,50	—
MgO . . . . .	0,01	0,04	—
Щелочи . . . . .	0,98	0,25	—
H <sub>2</sub> O . . . . .	8,80	13,40	14
Влага . . . . .	0,25	2,05	—
Всего . . . . .	100,66	99,84	100
Глинист. веществ	66,14	93,24	—

\* Ries „Economic geology“, 1925, p. 178.

Глины, употребляемые в бумажном производстве, добываются среди меловых отложений Южной Каролины и Георгии. Пластичные каолины или комовые глины добываются из третичных отложений Флориды в Западном Теннесси.

Наиболее важным свойством глины является ее пластичность, благодаря которой ей можно придавать любую форму, которую она сохраняет и по высыхании. Не все остаточные глины пластичны; не всегда пластичен даже чистый минерал-каолинит. Пластичность глин обусловливается присутствием коллоидов<sup>20</sup>.

Согласно Ries сопротивление высушенных на воздухе глин колеблется между 15 и 400 фунт., или даже больше, на кв. дюйм. Важным фактором является усадка при просушивании и обжиге. Общая усадка должна быть около 8 или 9 %. Плавкость варьирует в зависимости от присутствующих примесей. В низких сортах глины зачаточное оплавление может иметь место при температуре около 1 000° С; что же касается огнеупорных глин, содержащих лишь незначительное количество флюсующихся примесей, то они могут оплавляться лишь при 1 300 или 1 400° С. Точка плавления каолина — около 1 800° С.

**Минералы глин<sup>21</sup>.** Термин «каолин» нередко употребляют произвольно; по существу он применим только к белой остаточной глине, представляющей собой продукт выветривания или разложения пород. Распознавание минералов в глинах не легко вследствие того, что их частицы очень мелки, двойное лучепреломление низкое, и в них присутствуют аморфные коллоидные соединения. Различаются следующие виды:

1. Каолинит ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ); моноклинный; присутствует в большинстве глин, разлагается  $\text{HCl}$ , частично разлагается  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .
2. Галлоизит ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ); коллоидальная форма каолинита разлагается  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .
3. Бейделлит ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ); орторомбический, слоистый, нерастворим в  $\text{HCl}$ .
4. Монмориллонит ( $(\text{MgCa})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ); орторомбический, слоистый, нерастворим в  $\text{HCl}$ .
5. Леверриерит ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ); кристаллический, слоистый, нерастворим в  $\text{HCl}$ .
6. Аллофанит ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ); коллоидный, разлагается  $\text{HCl}$ .
7. Пирофиллит ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ); кристаллический, редко встречается в глинах.

Весьма вероятно, что имеется еще и другая коллоидная форма каолина с формулой, похожей на каолинит, не разлагаемая  $\text{HCl}$ .

Водные окиси алюминия и их коллоидная форма, боксит, присутствуют в латеритовых почвах, образовавшихся в тропических условиях. Каолинит обычно присутствует в глинах, хотя его и не всегда легко определить. Большинство глин также без сомнения содержат коллоидный алюмосиликат, о чем свидетельствует состав почвенного раствора. Бейделлит и близкие к нему минералы, а также аллофанит редко присутствуют в глинах. Они ближе к белым слюдам и представляют продукты разложения этого или других подобных силикатов. Вероятно, существует также и коллоидная форма бейделлита. В глинах могут также содержаться обломки различных породообразующих минералов, из которых наиболее обычен кварц.

**Генезис.** Относительно минералов, составляющих глины, существует богатая литература, но мнения значительно расходятся. Отсутствует уве-

ренность в том, являются ли продукты выветривания ярко выраженными силикатами или смесями взаимно осаждающих коллоидальных кремнезема и глинозема. Вероятно, что и то и другое верно. При определенных условиях образуется кристаллический каолин. При других условиях образуется смесь коллоидов. Опыты служат доказательством присутствия в почве коллоидных веществ. Около 1908 г. возникла оживленная дискуссия между Rösler<sup>22</sup>, Stremme и Barnitzke<sup>23</sup>. Первый считает, что каолин является продуктом гидротермального разложения, вторые же доказывают, что по крайней мере в Meissen (Саксония), где изготавливаются наивысшие сорта фарфора, месторождения образуются безусловно в результате процессов выветривания и на глубине постепенно переходят в неизмененную породу. Повидимому, глина в действительности обычно является продуктом выветривания и образуется в больших количествах в зоне окисления как пород, так и рудных месторождений под действием воды,  $\text{CO}_2$  и серной кислоты. Каолинит и близкие ему минералы могут также образоваться в поверхностной зоне и в меньшем количестве ниже этой зоны, под действием разбавленных термальных вод, но действие на породы термальных вод, содержащих щелочи, обычно имеет своим следствием образование серицита. Доказательство этого видим во всевозможных рудных месторождениях, но наблюдатели нередко смешивают каолин, образуемый супергенными водами, с серицитом, образуемым восходящими щелочными водами<sup>24</sup>. При глубинных процессах оруденения каолинит считается нестойким. G. Hickling<sup>25</sup> установил, что фарфоровые глины Cornwall образуют покров на корродированной поверхности гранита и что они происходят вследствие выветривания серицита гидротермального происхождения.

## ОСТАТОЧНЫЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ РУДЫ (ЛИМОНИТ И ГЕМАТИТ)

**Генезис.** В процессе выветривания лишь незначительная часть железа выводится в растворе; большая его часть остается в породе, изменившись в лимонит ( $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), гетит ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) или в неопределенные коллоидальные смеси различных водных окислов железа; может также присутствовать и гематит. Местами могут остаться основные сульфаты или фосфаты, а также и несколько неопределенные и нестойкие железные силикаты. По имеющимся сведениям в выветрившихся породах присутствует нонtronит ( $\text{H}_2\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_9$ ) — эквивалент каолина. В зоне выветривания железо стремится продвигаться наружу и выделяться в виде масс неправильной или сосковидной формы, отделенных друг от друга глинистым материалом, хотя весьма значительное его количество, конечно, остается в тесной смеси с глиной. То же самое можно сказать и о марганце, часть которого может быть связана с лимонитом, хотя если такой марганец присутствует, он также стремится выделяться сам по себе.

«Центробежное» стремление водной окиси железа можно легко наблюдать во многих окисленных месторождениях, нередко также и по выветриванию гальки. Прекрасный пример представляют валуны андезита в долине реки в Sowa Hill (Калифорния), относящейся к третичной эпохе. Внешняя поверхность этих валунов состоит из глинистого лимонита; ядро представляет мягкий желтоватый каолин.

В процессе концентрации водные окислы железа (стр. 148) были вероятно перенесены в виде коллоидов, которые затем отвердили и пе-

рещли в кристаллическую форму, о чём свидетельствует радиальная структура многих конкреций. Химический характер этих руд мало изучен; по всей вероятности, анализ обнаружит присутствие барита, окисленных цинковых минералов и соединений, содержащих марганец, никель и кобальт. Многие из лимонитов довольно чисты и представляют экономическое значение.

**Классификация.** Один из классов остаточных бурых железных руд образовался в результате разложения месторождений сидерита или пиритовых руд, отложенных термальными водами, или же в результате выветривания землистых карбонатовых — железных руд, сопровождающих отложения углей («black bands»), или пластов глауконита (рис. 36). Такие образования лимонита в некоторых местностях достигают значительных глубин в зависимости от способности насыщенных кислородом вод к проникновению. Окисленные выходы на поверхность пиритовых руд редко используются в качестве железных руд.



Рис. 36. Окисление углекислого железа в лимонит в третичной толще провинции Cass, Texas (по E. F. Burchard).

Второй класс представляет местные скопления лимонита или близких к нему водных окислов в разложившейся породе и остаточной глине близ поверхности. Эти массивы особенно часто встречаются на площадях распространения известняков. Вблизи поверхности сидерит отсутствует или присутствует в самом незначительном количестве, но на некоторой глубине он может содержаться в известняке. При отсутствии кислорода железо переносится с большей легкостью в виде карбоната, и в этом случае может иметь место метасоматическое замещение кальцита сидеритом. Однако существуют редкие месторождения лимонита, которые с глубиной переходят в крупные неправильные замещения сидерита, что дает основание предполагать о медленном протекании процессов растворения и перенесения в нижние слои растворов, осаждающих лимонит.

Наконец, третий класс, остаточные железные руды, представляющие лимонит с гематитом, залегает в виде широких покровов, образовавшихся вследствие постепенного разложения пород, содержащих большее количество железа.

**Бурые гематиты области Appalachian<sup>26</sup>.** В США остаточные железные руды больше всего распространены в области Appalachian, преимущественно в штатах Alabama, Georgia, Virginia и Tennessee. Ежегодная

добыча этих руд постепенно падает. В 1925 г. было добыто около 900 000 т, что, конечно, составляет лишь незначительную часть общей добычи железной руды в США. Эти, так называемые «бурые гематиты» добываются из многочисленных мелких месторождений; содержание в них железа колеблется между 38 и 52% (лимонит — 59,89% Fe); большинство из них содержит относительно большое количество фосфора.

Большинство лимонитовых руд южных районов залегает в породах кембро-силура вдоль «Great Valley» («Большой Долины»), лежащей между выходом докембрийских пород на востоке и палеозойских на западе. Эти руды классифицируются на «долинные», «горные» и руды Oriskany.

«Долинные» руды имеют неправильную форму залегания; они представляют глубокие карманы в отложениях глины остаточной от разложения и растворения кембро-силурских известняков и доломита. Руды разбросаны в глине комами, не столько на смытой эрозией поверхности из-

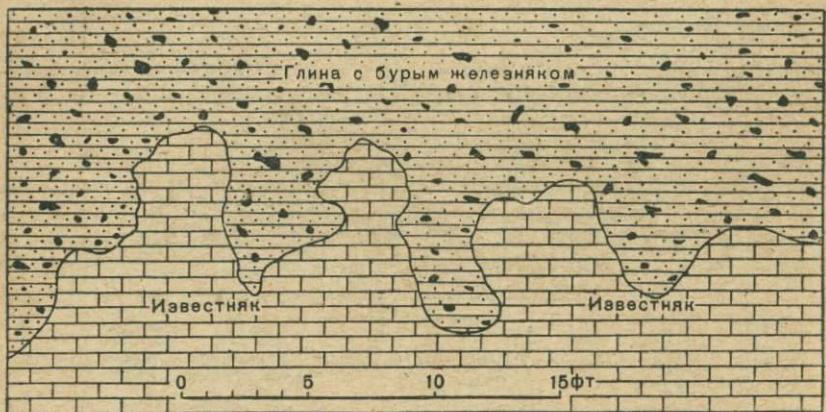


Рис. 37. Структурный разрез залежи «долинных» бурых железняков рудника Rich Hill, Virginia (по E. C. Harder).

вестняка, сколько несколько выше (рис. 37). Эти месторождения быстрорабатываются; лишь немногие из них распространяются на глубину, превышающую 15 м. Руды представляют смесь лимонита, гетита и глины; они содержат от 40 до 56% Fe, от 5 до 20% SiO<sub>2</sub>, от 0,05 до 0,5% P и от 0,3 до 2,0% Mn.

Очевидно, что многие из этих руд сконцентрировались в условиях совершенно различных от современных; большинство из них, вероятно, третичного возраста, что особенно ярко проявляется в месторождениях штата Alabama, расположенных к югу от Birmingham. Возможно, что то же относится и к «горным рудам».

Согласно Harder, «горные руды» более разнообразны по условиям залегания и внешнему виду. Они встречаются небольшими оторванными друг от друга карманами в остаточном материале на поверхности кварцитов нижнего кембрия близ контакта или на контакте с перекрывающими породами, которыми обычно являются известняки. Хотя эти руды преимущественно поверхностные, они иногда разрабатываются на глубине нескольких сот футов. Они содержат от 35 до 50% Fe, от 10 до 30% SiO<sub>2</sub>, от 0,1 до 2% P и от 0,5 до 10% Mn. Основной минерал — лимонит, нередко в форме конкреций.

Условия залегания Harder классифицирует следующим образом:

1. Месторождения в форме карманов в глине, частично представляющие тип замещения известняков, частично же конкреционные, содержащие марганец (рис. 38).
2. Небольшие месторождения замещения в глинистых сланцах по трещинам.

3. Месторождения в кварците или песчанике, небогатые по содержанию Fe; сюда входят: а) брекчевые месторождения, сопровождающиеся замещением; б) жильные месторождения, типы выполнения сбросовых трещин.

В этой области песчаники кембр-силура нередко содержат железо. Некоторые из разновидностей богаты гематитовым цементом и по прости-

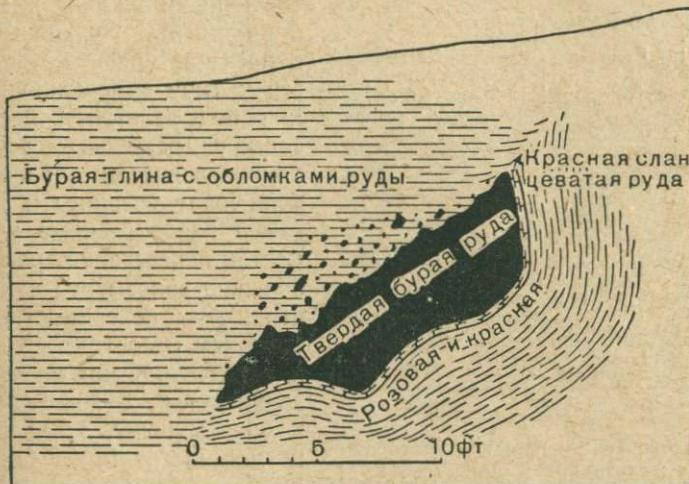


Рис. 38. Структурный разрез залежи „горных“ руд бурого железняка в глинах. Рудник Mary Creen, Virginia (по E. C. Harder).

ранию переходят в пласти кремнистого гематита мощностью в несколько футов, возможно представляющие некоторое экономическое значение.

Руды Oriskany<sup>27</sup> добываются в Виргинии; они образуют неправильные замещения вдоль местных складок или трещиноватых зон по бокам более крупных антиклиналей. Залежи руд приурочены к известковым песчаникам Oriskany, выше которых залегают глинистые сланцы Romney (девон), а ниже — известняки Helderberg (девон). Руда широко замещает песчаники, иногда также известняки и рудные залежи достигают ширины 3—30 м. Наибольшая глубина — 90 м; на этой или меньшей глубине руда постепенно переходит в неизмененные породы. Некоторые считают, что железо принесено из глинистых сланцев Romney, но вернее всего оно содержалось в самом песчанике. Руда состоит из землистых масс и окруженных конкреций волокнистого лимонита, выполненных глиной или песком. По имеющимся сведениям руда из рудника Callie и известняки лежащего бока содержат около 0,2% цинка. Производительность рудника Callie — около 2 700 т в месяц. Возможно, что присутствуют также гематит или тургит, так как для лимонита руда содержит недостаточное количество воды. Среднее содержание железа в руде 43%,  $\text{SiO}_2$  от 10

до 25%, Р от 0,06 до 0,5% и Mn от 0,5 до 4%. Имеются сведения о присутствии следов кобальта и никеля.

Руды Oriskany, как и другие бурые гематиты, для удаления глины подвергаются грубой концентрации в лог-вошерах.

**Железные руды Bilbao (Испания)**<sup>28</sup>. Обширные месторождения Bilbao (в северной Испании) в течение многих лет дают ежегодно по несколько миллионов тонн руды, значительная часть которых вывозится в Англию и Германию.

Смятые в складки меловые породы, разбитые многочисленными сбросами, являются господствующими породами района. С точки зрения горной промышленности наибольшее значение представляют толщи известняков мощностью 250', прорванные третичными интрузиями диабаза и трахита. Первичные руды, относимые большинством геологов к типу замещения известняков под действием восходящих термальных вод, состоят из крупного сидерита и анкерита и выполняют трещины и трещиноватые раздробленные участки в местах пересечения трещин. Наибольшие заносы руд относятся к вторичным поверхностным образованиям и состоят из лимонита и гематита. Одно из таких поверхностных рудных тел имеет 2 мили в длину, 3 300' в ширину и мощность 100'. Содержание железа в этих окисленных рудах от 50 до 57% и они пригодны

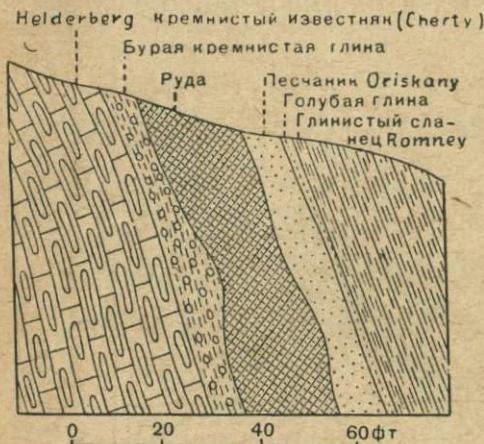


Рис. 39. Геологический профиль месторождения бурых железняков в Орискане. Рудник Callie, Virginia (по E. C. Harder).

для бессемерования. По условиям образования эти руды частично остаточные, частично элювиальные и аллювиальные. В первичном оруденении Van der Veen находит связь с таким же оруденением цинка и ртути в Santander, которое он по возрасту относит к миоцену.

**Остаточные руды о. Куба**<sup>29</sup>. Эксплоатация железных руд уже много лет ведется близ г. Сантьяго на острове Куба; эти руды по типу kontaktово-метаморфические и состоят из гематита с некоторым количеством магнетита при высоком содержании серы. Spencer описывает три новые района, а также и районы, расположенные в восточной части острова. Эти районы следующие: Mayari и Moa в провинции Oriente и San Filipe в Camaguey (рис. 40). Руды встречаются в остаточных покровах выветривания змеевиков и в большинстве случаев залегают на довольно высоких участках плато. Их образование имело место в течение третичной эпохи до поднятия современного плато.

Вблизи поверхности руды представляют землистые темнокрасного цвета массы, иногда сцепментированные с дробовидными кусочками гематита, разбросанными на поверхности; ниже залегают желтоватые руды, довольно резко переходящие в неразложенные мягкие змеевики. В некоторых местах непосредственно на змеевиках залегают кремнистые породы. В районе Mayari мощность рудного покрова достигает в среднем 15', площадью расположения  $10 \times 4$  миль. Если даже исключить

участки бедных руд, запасы здесь очень велики. Добыча руд производится с помощью паровых лопат дражного типа. Судя по анализам, руда довольно однообразна; содержание металлического железа колеблется в пределах 40—50%. Фосфора чрезвычайно мало. Руда очевидно содержит гематит, лимонит, немного магнетита, а также некоторое количество свободной водной окиси алюминия (стр. 127). По исследованиям Kemp руды Moa содержат от 25 до 30% гигроскопического и от 10 до 12% конституционной воды; кремнезема мало, глинозема много. Следует отметить присутствие никеля и хрома; последний металл концентри-



Рис. 40. Карта восточной части о. Куба (по W. L. Cumings и B. L. Miller).

руется во время окисления, но удаляется при плавке; присутствие первого благоприятно отражается на качестве железа.

#### Анализ змеевика и руды из района Mayari о. Куба (по C. K. Leith).

	I	II
SiO <sub>2</sub>	39,80	2,90
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,39	10,24
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,14	72,35
Fe	7,10	50,56
MgO	33,69	—
Cr	0,20	1,66
Ni + Co	0,97	0,84
P	0,001	0,016
S	0,06	0,20
H <sub>2</sub> O +	13,31	10,96
	99,561	99,166

I. Змеевик на глубине 29'.

II. Железная руда на глубине 6'.

Анализы производились фирмой «Spanish-American Co». Пористость руды чрезвычайно высокая, доходящая до 75% объема, но понижается близ поверхности.

Если рассматривать превращение змеевика в руду в относительных

весовых количествах, можно видеть, что содержание глинозема остается почти постоянным. Изменения в составе змеевика по мере его перехода в руду можно проследить по графику (рис. 41), составленному Leith и Mead на основании многочисленных анализов, производившихся через одинаковые промежутки. Диаграмма иллюстрирует быстрое разрушение змеевика выщелачиванием  $\text{SiO}_2$  и  $\text{MgO}$ , сильно заметное относительное увеличение количества железа и глинозема и постепенное уменьшение никеля. При приближении к поверхности из лимонита развивается гематит (с небольшим количеством магнетита), а из каолина — боксит.

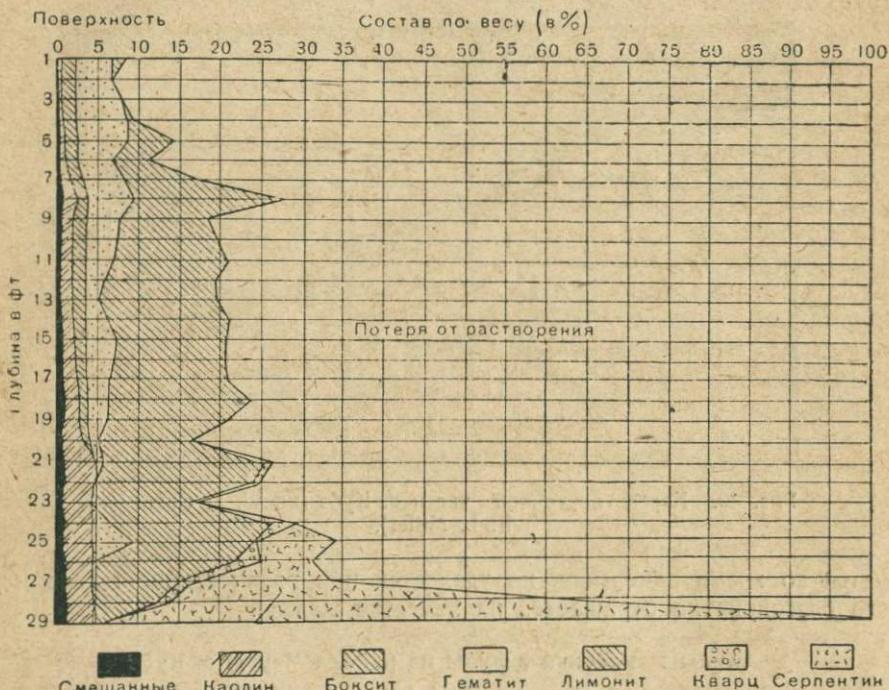


Рис. 41. Диаграмма, иллюстрирующая в весовых единицах минералогические изменения при превращении змеевиков в железные руды в Mayari (о. Куба), в предположении, что количество  $\text{Al}_2\text{O}_3$  остается постоянным (по C. K. Leith и W. J. Mead).

В середине рудного тела количество железа возрастает по отношению к глинозему, вероятно, вследствие вторичного осаждения и окисления закисного железа, растворенного восстановливающим действием растительности. Содержание  $\text{SiO}_2$  все время понижается, а окись магния выводится полностью.

100 фунт. типичного змеевика содержат 1,5 фунт. глинозема и 10 фунт. закисного железа. Когда окись магния и кремнезем выводятся в растворе, а железо окисляется, остается приблизительно 11,75 фунт. лимонита, 3,8 фунт. боксита и каолина и не более 2 фунт. прочих компонентов. Этот остаток в 17,55 фунт. содержит 7,8 фунт., или 44,4%, металлического железа, составляющего железную руду.

**Распределение и стойкость остаточных железных руд.** Остаточные железные руды весьма распространены в странах, обладающих теплым климатом, где разложение непрерывно продолжалось в течение весьма дол-

гого времени. Повидимому, однако, более сильная концентрация имела место лишь из относительно растворимых пород, подобных известняку и серпентину. Многие из латеритов в Индии, Африке и других тропических странах весьма богаты окисью железа и имеют характерные для поверхностных выходов конкреции в форме крупной дроби или гороха.

Не так давно обширные месторождения лимонита, подобные месторождениям Кубы, были открыты на о. Борнео и на Mundana (Филиппинские острова).

В генезисе многих из этих месторождений значительная роль принадлежит растительности.

Под слоем корней и перегнившей растительности почва в тропических странах часто бывает белая или желтоватая, что свидетельствует о закисной форме содержащегося в ней железа, вероятно в виде карбоната. Как только в таких районах начинает гибнуть растительность, как это наблюдалось на возвышенном вулканическом плато Molokai (Гавайские острова)<sup>30</sup>, почва немедленно становится красной и твердой, и появляются характерные шарики окисного железа. Порода, таким образом, хотя бы отчасти, изменяется непосредственно в гематит, не проходя через промежуточную лимонитовую стадию.

Естественные водные окиси железа по теории H. Wöbling<sup>31</sup> чрезвычайно стойки и не могут легко переходить в окисное железо, вероятно, ни под действием воздуха, ни под действием соляных растворов. Только что осадившиеся водные окислы, однако, легко превращаются в окисное железо, и эти коллоиды могут легко выкристаллизовываться. Опыты Wöbling установили, что путем осаждения растворов окисного железа кальцитом или сидеритом при температуре 100° С легко образуется  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , содержащее всего от 1 до 2%  $\text{H}_2\text{O}$ , тогда как в процессе медленного окисления железных солей в присутствии влаги получаются окисные гидраты железа.

Во всяком случае можно с уверенностью сказать, что окись железа, так же как и гидраты, раз уже образовалась, остается весьма стойкой и изменяется лишь с большим трудом.

Бросается в глаза сходство между остаточными рудами Кубы и такими же рудами хребта Mesabi (стр. 241). Подобные же большие площади, занятые породой, выветрившейся под тропическим солнцем и покрытые остаточной окисью железа, без сомнения, дали материал для осадочных месторождений гематита.

## ОСТАТОЧНЫЕ МАРГАНЦЕВЫЕ РУДЫ<sup>32</sup>

Остаточные месторождения марганцевых руд состоят из следующих минералов: пиролюзита ( $\text{MnO}_2$ , 63,2% Mn), псиломелана ( $\text{MnO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , 49—62% Mn), воды (возможно  $\text{MnO}_2 \cdot \text{nMnO} + \text{H}_2\text{O}$  с различным процентным содержанием металла), реже браунита ( $3\text{Mn}_2\text{O}_3 \cdot \text{MnSiO}_3$  (?); 63,6% Mn), мanganита ( $\text{Mn}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , 62,4% Mn) и быть может гаусманнита ( $\text{Mn}_2\text{O}_4$ ; 72,05% Mn).

**Первичные источники.** Почти все годные для эксплоатации месторождения марганца вторичные, т. е. они представляют концентрации марганцевых минералов, рассеянных в породах. Мanganит, пиролюзит, псиломелан и вал всегда, а браунит обычно — вторичные, образовавшиеся под влиянием выветривания даже там, где они присутствуют значительно ниже горизонта грунтовых вод.

Марганец неизменно присутствует в изверженных породах, но в незначительных количествах. Наибольшее количество этого металла (около 0,36%) присутствует в сиените и его порфирах и в базальтах. В кислых породах отношение Fe : Mn меньше, чем в основных.

Первоначальная концентрация в осадочных породах может содержать марганец в виде  $MnO_2$  и карбоната. В некоторых отложениях в морских глубинах встречаются желваки  $MnO_2$ .

Анализы известняков показывают небольшое количество марганца. Во многих кремнистых отложениях и яшмах осадочной свиты марганец характерно присутствует в виде родонита или рохохрозита. Месторождения марганца промышленного значения могут образоваться путем отложения осадков (стр. 61).

В кристаллических сланцах, в особенности тех из них, которые имеют более основной состав, мы видим марганец в виде спессартита (марганцевый гранат), родонита и пиемонтита (марганцевый эпидот).

Наконец, рохохрозит и родонит довольно обычны для рудных месторождений гидротермального и контактово-метаморфического происхождения; значительное количество марганца присутствует в некоторых метаморфических месторождениях спекуляриита и магнетита (Сууна, стр. 141). Псиломелан находят также на поверхности в отложениях горячих источников.

**Генезис.** В большинстве случаев марганец, вероятно, переносится в виде бикарбоната, возможно иногда и в виде сульфата. V. Vincent<sup>33</sup> установил, что в литре воды, насыщенной  $CO_2$ , растворяется 62,5 мг  $MnCO_3$ .

В такой же воде  $Mn_2O_3$  растворяется только в количестве 4,6 мг и  $MnO_2$  в количестве 1,5 мг. Таким образом, наименее растворимой является перекись. Dunnington<sup>34</sup> установил, что сернокислое железо растворяет марганец из углекислых соединений с выделением  $Fe_2(SO_4)_3$  и лимонита; из сложного раствора железо осаждается углекислым кальцием, но марганец осаждается только в присутствии воздуха.

Растворы углекислых соединений марганца более стойки, чем растворы углекислого железа, и, таким образом, может быть осуществлено частичное разделение. G. A. Thiel<sup>35</sup>, изучая условия осаждений марганцевых солей различными породами, установил, что наиболее эффективным веществом является углекислый магний.

Из упомянутых выше материалов мanganит весьма часто выкристаллизовывается в ромбические призмы; пиролузит считают псевдоморфной формой по мanganиту. Псиломелан всегда волокнист и коллоформен<sup>36</sup> и переходит в землистые формы вада. Браунит и гаусманит часто образуют отдельные мелкие восьмиконечные кристаллы. Попытки вывести соответствующий действительной порядок кристаллизации окончились неудачей, что можно видеть из упомянутого выше труда Thiel<sup>37</sup>.

Различные минералы очевидно отложились после окисления двууглекислого раствора и почти наверное они в широкой степени образовались из коллоидальных растворов. Мanganит отчасти образовался из нормальных растворов, но можно наблюдать также чередование коллоформных полос мanganита и псиломелана. В псиломелане наблюдаются включения гаусманита и браунита. Весьма вероятно, что браунит коллоидного происхождения; почти исчерпывающим доказательством этого служат его оригинальный состав и адсорбция бария. Можно заключить,

что остаточные марганцевые руды преимущественно коллоидального происхождения. Золь  $\text{Fe(OH)}_3$  положительный, а золь  $\text{Mn(OH)}_4$  отрицательный<sup>38</sup>.

Смешение золей вызывает осаждение марганца в сложных пропорциях. H. Udluft<sup>39</sup> установил, что чистый золь  $\text{Fe(OH)}_3$  нестойк в обычных водах, содержащих бикарбонаты, но его могут защитить небольшие количества золя марганца или гуминовые коллоиды. Желательно, чтобы в данной области исследования продолжались. В литературе коллоидным процессам остаточных марганцевых руд почти не уделяется внимания. Эти коллоидные осадки отчасти образовались в открытом пространстве, отчасти же гель заменил более ранние структуры пород; этому опять-таки не уделяется внимания в литературе.

**Месторождения марганца в США.** Из вышеупомянутых пород марганец концентрируется путем процессов выветривания, и руды встречаются



Рис. 42. Сводный геологический разрез месторождения марганцевых руд в Batesville, Arkansas.

a—Chere Boone (миссисипский); b—глинистый сланец Cason с залежами марганца (ордовичский); b—известник Fern Vale (ордовичский); d—поверхностная глина с залежами марганца (по E. C. Harder).

в конкрециях, вкрапленных в остаточную глину или же охру, и более или менее близко сопровождаются лимонитами. В течение этого процесса некоторые другие металлы, в особенности никель, кобальт, цинк и барий склонны сопутствовать пиролюзиту и псиломелану. В общем марганцевые месторождения залегают на поверхности или на незначительной глубине; между ними и вышеописанным лимонитом можно провести близкую параллель.

В Калифорнии небольшие месторождения вторичных марганцевых руд залегают в области распространения радиоляриевых кремнистых отложений и яшм францисканской формации (юра?).

В Арканзасе залежи высокосортных остаточных руд эксплуатируются в Batesville<sup>40</sup>, где они залегают как в марганцевом глинистом сланце Cason (ордовикского возраста), так и в глине, образованной из этой формации (рис. 42). Penrose полагает, что марганец был принесен сюда из района развития докембрийских пород, расположенного в юго-западной части штата Миссури. Из более поздних трудов Ulrich, Miser и других известует, что вероятным местным источником всего марганца является

глинистый сланец Cason. Этот сланец отложился в древних континентальных условиях на поверхности суши, благоприятных для концентрации марганца; в незначительном количестве сланец мигрировал в нижележащие известняки Fern Vale, отложившись в виде карбоната. Окончательная концентрация имела место в тот период, когда эта область была пленепленизована в течение меловой и третичной эпох. Руды Batersville

### Почковидные гнезда Mn

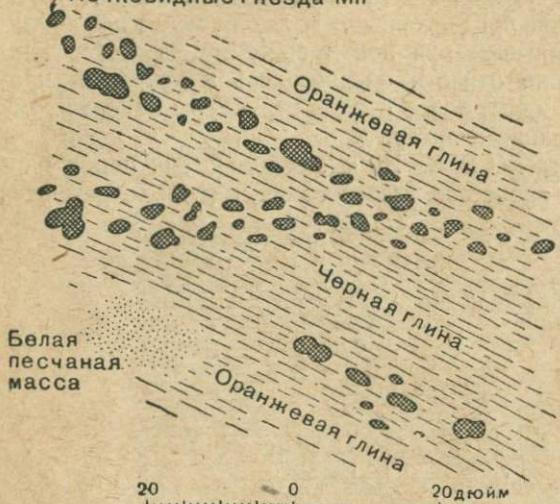


Рис. 43. Зарисовка, иллюстрирующая распределение скоплений марганцевой руды в глине в руднике Crimora, Virginia (по E. C. Harder).

пестрым глинам в бассейне, имеющем форму элипса, расположенным в ладьевидной синклинали кембрийского кварцита, где марганец проникает глины в виде дендритовых форм и кристаллических налетов<sup>41</sup>.

### Анализ высших сортов руды Crimora

(T. L. Watson, Mineral Resources of Virginia, p. 248)

$MnO_2$	81,703	$BaO$	0,829
$MnO$	7,281	$CaO$	0,880
$Fe_2O_3$	0,533	$MgO$	0,630
$CoO$	0,354	$P_2O_5$	0,171
$NiO$	0,096	$(NaK)_2O$	0,467
$ZnO$	0,623	$H_2O$	3,405
$Al_2O_3$	0,896	$SiO_2$	2,132
Всего . . . . .			
$Mn$ (металлический) . . . . .			100,000
			57,297

В области Appalachian марганцевые месторождения залегают в измененной поверхностной зоне многочисленных и разнообразных пород (рис. 44 и 45), но, по мнению Harder, большинство месторождений связано с верхней серией непроницаемого кембрийского кварцита, перекрытого известняком. Penrose держался мнения, что месторождения Mn являются переотложенными из остаточных глин в местных бассейнах. В на-

содержат значительное количество гаусманнита и браунита. Возможно, что некоторые марганцевые месторождения Arkansas и Oklahoma произошли из более поздних жил родохрозита, секущих осадочный комплекс пород.

В области Appalachian небольшие месторождения залегают в гранитах и сланцах района Piedmont, но, главным образом, в палеозойских отложениях кембро-силурского пояса, т.е. в центре площади, занимаемой остаточными железными рудами. В месторождении Crimora (Virginia) (рис. 43) руда залегает в виде масс различной величины, разбросанных по

стоящее время считают<sup>42</sup>, что первоначальным источником металла явились кристаллические породы района Piedmont, из которых марганец вначале концентрировался в определенных свитах пород палеозоя. Окончательная концентрация имела место в меловую и третичную эпохи в течение нескольких периодов пенепленизации.

В среднем Тексасе<sup>43</sup>, в районах Mason, Llano и San Saba окисленная марганцевая руда встречается в качестве продуктов выветривания кристаллических сланцев, содержащих спессартит, пиемонтит и тифроит.

Во многих месторождениях марганец присутствует в качестве карбоната и силиката, а в окисленной зоне металл весьма часто сконцентри-

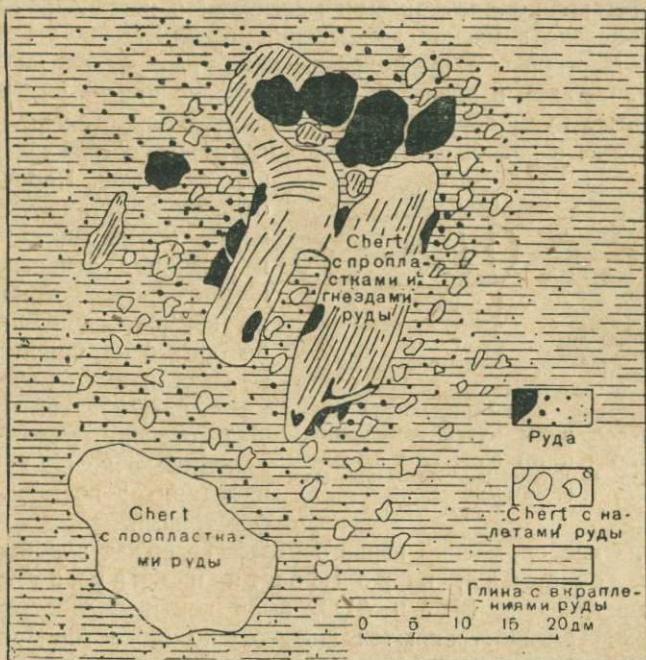


Рис. 44. Зарисовка, иллюстрирующая характер залегания марганцевой брекчииевидной руды в Reynolds Mountain, Virginia (по E. C. Harder).

рован в форме псиломелана и др., в смеси с лимонитом; эти руды нередко содержат золото и серебро, но весьма редко значительное количество меди, свинца или цинка. В Leadville (Colorado)<sup>44</sup> добывается значительное количество таких руд, идущих в качестве флюса при плавке свинца; в случае добычи высокосортных руд их употребляют для изготовления шпигельного железа. Здесь окисленная руда, повидимому, произошла из марганцевосодержащего сидерита.

Во время мировой войны некоторое количество высокосортной руды получалось из окисленных выходов на дневную поверхность марганцевых жил Butte; более крупные скопления такой руды были открыты в жилах района Phillipsburg<sup>45</sup>, залегающих в известняках. За последние годы родохрозит добывается в руднике Emma (Butte).

Большая часть добываемого в САСШ марганца происходит из руд области Верхнего Озера, где марганец встречается в виде окислов в связи

с спекуляритом (стр. 139), а также из цинковых отвалов большого цинкового месторождения Franklin Furnace (New Jersey), где марганец заключается в франклиниите  $[(\text{Fe}, \text{Zn}, \text{Mn})\text{O} \cdot (\text{Fe}, \text{Mn})_2\text{O}_3]$ , ассоциированном с цинкитом ( $\text{ZnO}$ ) в месторождении глубинного типа, вероятно контактово-метаморфического происхождения.

**Бразилия.** Месторождения высококачественного марганца в Minas Geraes (Бразилия) описаны J. C. Branner и O. A. Derby<sup>46</sup>. Они представляют преимущественно остаточные руды, происшедшие от выветривания линз в кристаллических сланцах, содержащих родохрозит, тифроит и спессартит.

Руды залегают конкреционными массивами и жилоподобными скоплениями псиломелана в мягкой выветрелой породе.

**Индия.** Марганцевые руды чрезвычайно распространены в Индии; условия их залегания и происхождения подробно описаны L. L. Fermor<sup>47</sup>.

Эти богатые руды образовались в значительной степени одновременным замещением и разложением Архейских пород, содержащих марганцевые силикаты. Породы являются отчасти кристаллическими сланцами, содержащими спессартит и родонит, отчасти, вероятно, неметаморфизованными особнями изверженными породами, из которых одна, например, состоит из спессартита (спандит) и ортоклаза с 3,70% апатита. В меньшей степени руды содержатся в яшмовых кварцитах, а также в латерите; последний — чисто остаточный.

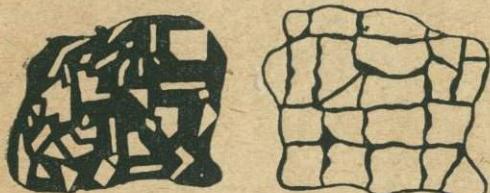


Рис. 45. Зарисовка, иллюстрирующая развитие брекчииевой руды путем замещения. Белый цвет — роговик (chert) и песчаник; черный — марганцевая руда.  $\frac{1}{5}$  натуральной величины (по T. L. Watson).

Многие из месторождений первого класса содержат значительные скопления псиломелана, пиролюзита и браунита; в течение процесса выветривания  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  были почти полностью выведены. Месторождения распространяются значительно ниже горизонта грунтовых вод и Fermor полагает, что окисление можно отнести к очень древней эпохе, быть может, архейской. В некоторых отношениях эти концентрации поверхностными водами напоминают железные месторождения Верхнего Озера.

**Вест-Индия**<sup>48</sup>. На о. Куба и в Центральной Америке имеется много остаточных марганцевых месторождений. На о. Куба они представляют замещения в известняках и кремнистых породах, может быть, даже гидротермальные.

**Западная Африка**<sup>49</sup>. На Золотом Побережье (Gold Coast) открыты крупные и богатые месторождения высокосортных марганцевых руд. Они происходят из метаморфизованных осадочных пород, содержащих спессартит и родонит, подобных породам Индии.

**Продукция и использование.** В нормальное время добыча в США марганцевых руд с содержанием свыше 35% Mn невелика. В военное время добыча сильно активизировалась, но все же недостаточна, чтобы удовлетворить требование. Чрезвычайно большое количество марганца вывозится из СССР, с Gold Coast, из Бразилии и Индии.

Для производства шпигельного железа (сплав с железом, содержащим менее 20% Mn) можно использовать низкие сорта марганцево-железной

руды, но для всех других целей руда должна содержать не менее 46% Mn и не свыше 6% Fe, 8%  $\text{SiO}_2$  и менее 1,5% P. Высшие сорта марганцевых руд широко используются в производстве железо-марганцевых сплавов, употребляемых в железноделательной промышленности, преимущественно для производства твердых сталей<sup>50</sup>. Чистые двуокисные марганцевые руды также находят себе широкое применение в химической промышленности, использующей их для получения хлора и для изготовления сухих электрических батарей. От таких руд требуется содержание не менее 65% Mn и отсутствие Cu, Ni и Co.

В 1925 г. в САСШ было добыто 98 324 т руды с содержанием 35% Mn, на общую сумму 1 858 000 долл. В том же году ввезено 615 000 длинных т руды того же качества. Руды с содержанием от 10 до 35% Mn было добыто 267 000 т и руды с содержанием от 5 до 10% Mn 1 153 000 т.

## ОСТАТОЧНЫЙ БАРИТ

В остаточных поверхностных образованиях штатов Virginia и Georgia и в провинции Washington штата Missouri довольно часто встречается барит в виде остаточного материала и желваковых конкреций. По словам T. L. Watson, кембро-силиурйские известняки Virginia обычно содержат довольно значительное количество бария; во многих районах Георгии песчаник Weisner (того же возраста) также содержит сернокислый барий. В штате Missouri барит концентрируется в разрушенных поверхностных образованиях из жил, залегающих в ордовических известняках Gasconada. Значительное количество добываемого в США барита эксплуатируется из остаточных глин (стр. 166).

## ОСТАТОЧНЫЕ ЦИНКОВЫЕ РУДЫ

В области Appalachian, в западной Virginia и восточном Tennessee кембро-силиурйские известняки местами содержат сульфиды свинца и цинка, в брекчированных и раздавленных зонах. В таких местах глубо-



Рис. 46. Открытые разработки цинковых руд Bertha, Virginia, где видны соотношения остаточных руд к „трубам“ (chimney) известняка и остаточной глине (по T. L. Watson).

кий остаточный почвенный покров часто содержит каолин и смитсонит (водный силикат и карбонат цинка) с некоторым количеством церуссита и галенита. Эти руды залегают в непосредственной близости с известняком под слоем глины (рис. 46), а не разбросаны в ней подобно лимониту и пиролюзиту<sup>51</sup>.

## ОСТАТОЧНЫЕ ОХРЫ<sup>52</sup>

Остаточные охры представляют землистый темнокрасный, желтый или бурый рассыпчатый материал, обычно состоящий преимущественно из лимонита и гематита с большей или меньшей примесью глины; они обычно используются в качестве красителей и являются коллоидальными осадками. Различным сортам охры присвоены наименования «красной индийской», «сиенны», «умбры» (последние два относятся к более темному желтовато-буруму и бурому цветам). Минеральные красители не все являются естественными продуктами; для их изготовления используются также обожженный пирит, сидерит, плотные и глинистые сланцы<sup>53</sup>. Для этой же цели используются и клиントонские железные руды штата Нью-Йорк.

В южных штатах месторождения остаточной железной руды содержат материал, который можно отнести к классу охр и использовать в качестве последних. Особенный интерес представляют месторождения Cartersville<sup>54</sup> в Германии. Эти охры залегают только в Вейснеровском кварците (кембро-силур), в нижней части остаточной зоны, непосредственно вверху незатронутой изменением породы, а также в трещиноватых нарушенных зонах в самом кварците. Кварцит содержит около 90%  $\text{SiO}_2$ ; 1,5%  $\text{FeS}_2$ ; 0,5%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , а также необычайно большое количество сернокислого бария (4,46% по анализам Watson). Пересчет компонентов охры дает 66% лимонита, 25% глины и 9% кварца; возможно, что присутствует небольшое количество гематита.

Относительно происхождения охры мнения Hayes и Watson сходятся, считая, что она образовалась в результате метасоматического замещения цемента и кварцевых зерен кварцита лимонитом. Процесс начинается с проникновения в зерна дендритового лимонита. Такое непосредственное образование охры кажется мало правдоподобным, вероятнее, что была промежуточная стадия сидерита. Замещение кварца углекислым железом — явление обычное; мы его видим, например, в свинцовых месторождениях Сoeur d'Alene (Idaho).

Ежегодная продукция естественных красителей в США выражается в 57 000 т. Добыча ведется преимущественно открытыми разработками; материал дробится, промывается в лог-вощерах и отстаивается в чанах.

## ОСТАТОЧНЫЕ ФОСФАТЫ

Многие осадочные породы, как уже подробно говорилось на стр. 165, содержат большое количество фосфорнокислого кальция, часто в оолитовой или конкреционной форме. Под действием поверхностных вод обычно имеет место обогащение путем растворения углекислого кальция, в том случае, разумеется, если циркуляция грунтовых вод имеет место в отложении фосфатов. Таким путем произошло обогащение многих известных месторождений фосфоритов, как, например, во Флориде, Южной Каролине и Теннесси.

## МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВОДНЫХ СИЛИКАТОВ НИКЕЛЯ

Первоначальным источником никеля, кобальта и хрома являются перidotитовые и пироксеновые породы и происходящие из них серпентины, хотя следы этих металлов часто встречаются в анализах других основных

пород. Первоначальное состояние никеля в породах не всегда известно; вероятно, он присутствует как в виде силиката, так и в виде сульфида; последний присутствует в виде микроскопических зерен, а первый — в виде примеси в железо-магниевых силикатах. Из серпентинов и перидотитов никель иногда концентрируется в промышленно-значительных количествах с помощью процесса выветривания, и образующиеся таким образом руды всегда представляют собою зеленые водные силикаты никеля. Содержащийся в основных породах хромит в зоне выветривания весьма редко образует окисленные минералы. Силикаты никеля весьма разнообразны по составу и обычно имеют коллоидное строение. Наиболее известные из них — это гентит  $H_4Ni_2Mg_2(SiO_4)_3 \cdot 4H_2O$ ; конарит  $H_4Ni_2Si_8O_{10}$  и гарниерит  $(Mg, Ni)SiO_3 + nH_2O$ . Судя по анализу, произведенному A. Liversidge, гарниерит содержит 38,35%  $SiO_2$ ; 32,52%  $NiO$ ; 10,61%  $MgO$ ; 0,55%  $Al_2O_3$  и  $Fe_2O_3$ ; 11,53%  $H_2O$  (при красном калении) и 6,44%  $H_2O$  (при  $100^\circ C$ ).

Месторождения силикатовых никелевых руд — поверхностные, концентрирующим посредником являются окисляющие действия поверхностных вод. Руды редко распространяются ниже горизонта грунтовых вод и в некоторых случаях залегают в остаточных глинах полностью выветрившейся породы. Силикатово-никелевые руды часто сопровождаются кобальтом в виде отдельных масс асболана, являющегося довольно неопределенного вида раствором водных окислов марганца и кобальта.

В этих месторождениях сульфиды отсутствуют, медь присутствует редко. Сопровождающими минералами являются кварц, халцедон, опал и различные коллоидальные водные силикаты магния, иногда также небольшое количество магнезита. Такого рода никелевые руды встречаются не редко, но лишь в Новой Кaledонии они имеют промышленную концентрацию.

В литературе имеется не одно описание никелевого рудника в Riddles (Южный Орегон) <sup>55</sup>. Материнской породой является перидотит с содержанием 0,10%  $NiO$ . Выделившийся из породы оливин содержал 0,26%  $NiO$ , и мнения всех геологов сходятся на том, что никелевые руды образовались из этого силиката. Кремнезем и никеле-магниевые силикаты отлагаются в тончайших трещинах отдельностей, а между последними породы нацело окислены и превращены в лимонит и глины с хромитом.

В мире существуют две крупные никеленосные области; одна из них — Новая Кaledония <sup>56</sup>. Остров занимает площадь длиною в 250 миль, а ширину 30 миль; на одной трети этой площади распространены перидотиты. Низкие долины и склоны покрыты глубоким покровом разрушенных и разложившихся пород («пестрые глины»), которые в сущности представляют железную руду с содержанием 18%  $SiO_2$ , 69% окиси железа, 0,45%  $Al_2O_3$ , 1,64% окиси никеля и 10% воды.

Залежи гарниерита находятся на высоте от 400 до 2 500', нередко на довольно крутых склонах, или в седлах хребтов и складок. Под «пестрыми глинами» на глубине от 20 до 75' залегают никелевые руды, которые нередко по трещинам спускаются в серпентины; их сопровождают халцедон и опал. Здесь имеется несколько небольших залежей; самая большая из них содержала 600 000 т руды. Руды эксплуатируются открытыми работами, тщательно классифицируются и сортируются. Glasser различает в месторождении жилоподобные, брекчевые импренции и землистые массы. В последних имеется много темнобурой «шоколадной руды», в которой присутствие зеленого силиката незаметно на-

глаз. Глинистая руда содержит в среднем 23% воды, от 5 до 7% окиси никеля, от 10 до 12% окиси железа, 25% окиси магния, 40% окиси кремния (известь отсутствует), 1,1% окиси хрома, 0,12% кобальта и 1,5% окиси алюминия. Большая часть руд экспортируется. Некоторая часть руды просушивается на солнце, бриккетируется и плавится на штейн с содержанием 45% Ni; в качестве флюсов пользуются известняком и гипсом. В настоящее время там же получают и металлический никель.

Месторождения Новой Каледонии были открыты в 1864 г. геологом Garnier. Работы в руднике были начаты 10 лет спустя; добыча обходилась так дешево и качество руды столь высоко, что все другие месторождения никеля стали считаться нерентабельными. В 1906 г. добыча достигла 144 000 метрических т. За последнее время вследствие конкуренции рудников Sudbury (см. вып. III) добыча значительно пала. В 1925 г. было добыто около 80 000 т руды; около 4 500 т никелевого штейна было отправлено во Францию. В течение многих лет вывозилось и небольшое количество кобальтовой руды (черный, землистый асболан), но в настоящее время эта руда не может конкурировать с рудами из Cobalt (Ontario). В Новой Каледонии добывается также значительное количество хромита (стр. 125).

## БОКСИТЫ<sup>57</sup>

**Введение.** Глина, представляющая собою более или менее чистые виды каолина, является наиболее распространенным продуктом разрушения пород; несмотря на то, что каолин содержит до 39,8%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , использование каолина в качестве источника металлического алюминия пока еще не признается возможным. Мировые запасы корунда также недостаточно велики, чтобы его можно было использовать для этой цели. Важной алюминиевой рудой раньше считался криолит ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6\text{I}_7$ ), минерал, получаемый из пегматитовых массивов Гренландии. Он используется и в наше время, хотя в небольших количествах, в электролитном процессе извлечения алюминия и для других целей.

Однако во многих местностях в зоне выветривания распространены водные окиси алюминия, из которых наиболее известной алюминиевой рудой является боксит. Существует три вида водной окиси алюминия: диаспор ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), содержащий 85%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , гиббсит, или гидрагиллит ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), с содержанием 65,4%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и боксит ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), содержащий  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в количестве 74%.

Однако то, что боксит представляет самостоятельный вид минерала, сильно оспаривается, и многие считают его отвердевшим и частично выкристаллизовавшимся гидрогелем неопределенного состава. Некоторые из бокситов Франции и Георгии довольно часто соответствуют гиббситу. Боксит образует компактные землистые, также часто пизолитовые массы, отдельные конкреции которых достигают в диаметре несколько сантиметров. Окраска его серая, цвета кипяченого молока, желтоватая или бурая; он обычно содержит в качестве примесей кремнезем и окись железа. Местами бокситы содержат кристаллический гиббсит в виде корочек или жилок; диаспор встречается реже, что вполне естественно, если учесть, что он образуется при гораздо более высокой температуре по сравнению с остаточными месторождениями. Бокситы всегда содержат титан (в среднем 4%  $\text{TiO}_2$ ) и некоторое количество ванадия, не отли-

чаясь от всех остаточных и осадочных глин. Некоторые утверждают, что боксит содержит остаточный рутил, другие же вовсе не обнаруживают в нем присутствия титанового минерала. Вернее всего двоюкись титана присутствует в виде коллоида или метаколлоида. При поверхностном обычном процессе выветривания пород водяная окись алюминия не образуется вовсе или образуется в ничтожном количестве. По словам Cameron Bell<sup>58</sup>, при исследовании нескольких сот проб почв, взятых во всевозможных местностях США, водная окись алюминия была обнаружена лишь в одной пробе, взятой в Южной Калифорнии. Из этого можно заключить, что боксит редко образуется в умеренном поясе.

В тропических странах, наоборот, глубокая остаточная почва содержит водную окись алюминия. Этой окиси было присвоено наименование латерита (позднее «brick») и определяют ее по-разному. Можно сказать, что латерит по существу является смесью водных окисей железа и алюминия с большим или меньшим количеством свободного кремнезема; существуют всевозможные переходные стадии до обыкновенной, железистой глины. Латерит может происходить из любой изверженной или осадочной породы, но все же наиболее благоприятными для его образования породами являются серпентин и известняк. Железная руда из Mayagi (Куба, стр. 114) представляет пример латерита, особенно богатого железом. Многие из так называемых латеритов по существу являются не остаточными, а переотложеными. Латериты иногда содержат боксит в количестве достаточном, чтобы представлять промышленное значение, но далеко не всегда; они имеются в различных странах и посвященная им литература весьма обширна<sup>59</sup>.

Можно возразить, что многие из эксплуатируемых месторождений боксита расположены в умеренном поясе, например, в штате Георгия, Арканзас, во Франции, Венгрии и пр., но это объясняется тем, что подобные месторождения в настоящий момент находятся не в стадии развития, а образовались еще в третичную эпоху, когда почти во всем умеренном поясе господствовал климат, сходный с современным климатом о. Куба.

**Генезис.** Весьма много говорится о десилификации глин в местностях, расположенных близ тропиков. Причиной этого предположительно является действие азотной кислоты, которая, как думают, получается из дождевой воды во время тропических гроз. T. H. Holland<sup>60</sup> допускает возможность действия бактерий, и G. A. Thiel<sup>61</sup> сообщает о произведенных им опытах, до известной степени подтверждающих это предположение.

Глина разлагается серной кислотой и водной окисью натрия или углекислым натрием; водной окиси алюминия в некоторых местах можно приписать такое происхождение. W. Maxwell<sup>62</sup> доказал, что такое происхождение имеют почвы некоторых вулканов на Гавайских островах. Несмотря на это, серная кислота бесспорно не всегда производит действие, и доказательством служат диаспор и гидрагиллит, редко встречающиеся в окисленных зонах месторождений, где на сернистые породы воздействуют растворы, содержащие серную кислоту. Боксит в окисленных зонах также редко встречается. В окисленной зоне серная кислота превращает серцицит в каолин, которому нередко сопутствует большее или меньшее количество алюнита ( $K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 4SO_3 + 6H_2O$ ).

Однако все эти соображения еще недостаточны для объяснения образования латеритных водных окисей алюминия. В настоящее время пришли к выводу, что образование этих окисей вызывается продолжительным

воздействием обычновенных почвенных вод при особых условиях влажности и температуры<sup>63</sup>. W. J. Mead<sup>64</sup> установил, что в месторождениях Арканзаса имеется полный постепенный переход от первоначального сиенита (рис. 47), что пизолитовая структура развивается *in situ* и что остаточные сиенитовые валуны окружены бокситовым материалом. В боксите пизолитовой структуры иногда можно различить текстуру сиенита. Можно наблюдать выщелачивание боксита, так как верхний слой обычно содержит больше кремния, чем нижняя часть месторождения. J. Moggot Campbell полагает, что боксит образуется только в зоне перколяции близ изменяющегося горизонта грунтовых вод и что он никогда не образуется значительно ниже горизонта грунтовых вод.

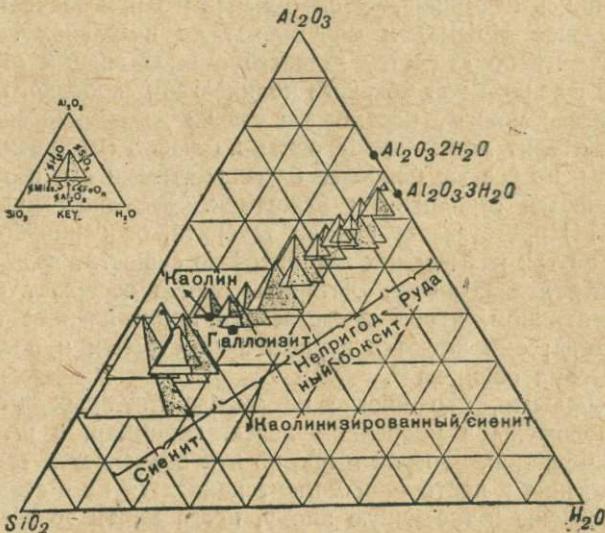


Рис. 47. Диаграмма, выражающая переход от сиенита к бокситу изменением главнейших химических компонентов. Каждый треугольник представляет анализ отдельного образца (по W. J. Mead).

Происхождение некоторых бокситов, залегающих в форме жилоподобных скоплений в известняках во Франции<sup>65</sup> и Венгрии<sup>66</sup>, объясняется как результат действия на известняки восходящих вод, содержащих сернокислый алюминий. Такое объяснение вполне допустимо.

Многочисленные примеры образования осадочных бокситов в меловых и третичных отложениях южных штатов, вероятно, являются примерами переотложения в связи с процессами эрозии первоначальных латеритов, содержащих бокситы, и переноса материала из отложений, возможно даже залегавших близ морского берега.

**Условия залегания.** Месторождения бокситов, имеющих экономическое значение, принадлежат различным генетическим типам. В США они сосредоточены в Арканзасе и в Южных штатах Appalachian.

В штате Arkansas<sup>67</sup> поверхностные отложения боксита залегают в районе Pulaski и Salina, занимая площади размером до 20 акров. Залежи лишь в редких случаях достигают глубины, превышающей 10', и приурочены к поверхности нефелиновых сиенитов или каолинизированных разновидностей тех же пород; в южной части сохранились следы

гранитной структуры, между тем как верхняя явно пизолитовая. В некоторых местах нефелин-сиенит и боксит перекрываются третичными песками и глинами.

Другие значительные залежи, описания которых читатель найдет у Hayes<sup>68</sup> и Watson<sup>69</sup>, расположены во многих местностях Георгии и Алабамы. Из них наиболее известные разбросаны между Jacksonville (Alabama) и Cartersville (Georgia) вдоль пояса протяжением приблизительно 60 миль; наиболее типичная местность — Rock Run. Бокситы залегают карманами и неправильными массами или изогнутыми пластами различных окрасок, с глиной и лимонитом, среди покровных остаточных глин, облекающих Клох-массив доломита (кембрий). Часть руды пизолитовой текстуры; добыча ведется открытыми разработками, местами достигающими глубины 50' и более. Иногда сопровождающими минералами служат гибсит ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) и галлоизит, по составу сходный с каолином, но с более значительным содержанием воды.

Следует отметить, что месторождение залегает на высотной горизонтали 900', совпадающей с высотой вероятно эоценового пенеплена или близ нее. Факт этот показывает, что скопление бокситовых руд имело место при топографических и климатических условиях, отличных от современных.

Не так давно в южных штатах открыты залежи бокситов, значительно отличающиеся от только что описанных<sup>70</sup>; они расположены близ контакта горизонтально залегающих песков и глин формаций Tuscaloosa (нижний мел) и Claiborne (третичные). Руда залегает или в виде пластов, лежащих непосредственно на меловой глине, или в форме гнезд, разбросанных по последней. По анализам можно проследить целый ряд переходов до глины. Встречаются пласти боксита мощностью до 3 м. Боксит глинистый, плотный или пизолитовый. Объяснение генезиса является спорным.

**Использование и продукция.** За 1925 г. в США было добыто 316 000 длинных т боксита, причем большая его часть поступила из Арканзаса. За тот же год было ввезено 354 000 т преимущественно из Британской и Голландской Гвиан. Во Франции добыча растет; в 1925 г. она выразилась в 400 000 метрических т. Пригодные для промышленности бокситовые руды должны содержать от 52 до 65%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Наивысшие сорта содержат 1% Fe и от 3 до 5%  $\text{SiO}_2$ . Содержание  $\text{SiO}_2$  и Fe должно быть менее 15%. Руды, содержащие свыше 4%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в настоящее время не используются. Добыча ведется открытыми разработками, причем часто приходится удалять мощные наносы; руду промывают для удаления глины и просушивают. Для выплавки окиси алюминия руды должны быть с высоким содержанием  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и низким содержанием  $\text{SiO}_2$ . В настоящее время в США ежегодно производится до 65 000 коротких т металлического алюминия; точные данные отсутствуют. Применение алюминия и его сплавов непрерывно растет.

Крупные алюминиевые заводы расположены в Niagara Falls и в Tennessee. Из боксита же выделяют искусственный корунд (алунд), для чего используются электрические печи. Для набивки подов печей широко используется противокоррозивный бокситовый кирпич<sup>71</sup>. Из боксита же получают алюминиевые соли, в частности квасцы. Добавление боксита способствует быстрому схватыванию цемента.

Состав боксита из одной и той же местности бывает весьма различен. Много анализов читатель найдет в труде G. P. Merrill, «Non-metallic

## Анализы бокситов

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	Аналитик
Баух Франции (пизолитовый) . . . .	4,8	3,2	55,4	24,8	10,8	Deville
Jacksonville (Alabama)	21,08	2,52	48,92	2,14	23,41	Hillebrand
Floyd (Georgia) . . .	0,80	3,52	52,21	13,50	27,72	Nichols
Pulaski (Arkansas) . .	2,00	3,50	62,05	1,66	30,31	
Wilkinson (Georgia) .	9,38	2,76	57,58	0,96	29,12	E. Everhart

minerals», изд. 1910 г., стр. 91. Сводная таблица анализов руды Георгии, составленная T. L. Watson<sup>72</sup> дает: SiO<sub>2</sub> 4,274; TiO<sub>2</sub> 3,791; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 58,622; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1,507 и H<sub>2</sub>O 31,435; всего 99,629. Соответствующей формулой будет: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 3H<sub>2</sub>O.

«Диаспоровые» глины<sup>73</sup>. За последние годы в штате Missouri добываются бокситовые глины с необычайно высоким содержанием Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Залегая в палеозойских породах, линзовидные тела достигают в диаметре приблизительно 250' при глубине до 100'. Вмещающими породами являются кремнистые глины; содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в самих бокситовых глинах от 50 до 75%. Относительно этих интересных месторождений точных геологических данных почти не имеется.

<sup>1</sup> N. S. Shaler. The origin and nature of soils. Twelfth Ann. Rept. U. S. Geol. Survey, pt. 1, 1891.

G. P. Merrill. Rocks, rock-weathering and soils. 1906.

F. W. Clarke. Geochemistry. Bull. 770, U. S. Geol. Survey, 1924, pp. 479—505.

F. K. Cameron and J. M. Bell. The mineral constituents of the soil solution. Bull. 30, Bureau of Soils, Washington, D. C. 1905.

T. L. Lyon, E. O. Fippin and H. O. Buckman. Soils, New-York, 1916, p. 764.

E. Ramans, Bodenkunde. Berlin 1911; также „Centralblatt f. Min.“, 1921, p. 233.

<sup>2</sup> Cameron and Bell. Op. cit., p. 26.

Цитируемый F. W. Clarke, в его „Geochemistry“. Bull. 770, U. S. Geol. Survey 1924, p. 477.

<sup>3</sup> W. Maxwell. Lavas and soils of the Hawaiian Islands, Honolulu. 1898.

<sup>5</sup> F. W. Clarke. Bull. 167, U. S. Geol. Survey, 1900, p. 156..

<sup>6</sup> „Zeitschr. Anorg. Chemie“ 145, 1925, pp. 304—310.

<sup>7</sup> Milton Whitney. The colloid chemistry of the soil in R. H. Rogue, The Theory and Application of Colloidal Behavior. New-York 1924. 2, pp. 466—487.

M. S. Anderson и др., U. S. Dept. Agric., „Prof. Paper, Bull.“ 1122, 1922.

P. L. Gill и др., Idem „Bull.“ 1193, 1923.

<sup>8</sup> Op. cit., p. 33.

<sup>9</sup> A. Daubrée. Études synthétiques de géologie expérimentale.

R. Müller. Jahrb. K. k. geol. Reichsanstalt 27, 1887.

A. S. Cushman. „Bull.“ 92, Bureau Chemistry, U. S. Dept. Agr. 1905.

R. Henrich. Ueber die Einwirkung von Kohlensäurehaltigen Wasser auf Gesteine. Zeitschr. Prakt. Geol. 1910, pp. 85—94.

<sup>10</sup> Bull. 41, Bureau of Soils, U. S. Dept. Agr., 1907.

<sup>11</sup> Patten and Wagaman. Absorption by soils. „Bull.“ 52, Bureau of Soils, U. S. Dept. Agr., 1908.

<sup>12</sup> Gesteins und Bodenkunde, 1877, p. 329.

<sup>13</sup> „Bull. Geol. Soc. Am.“ 8, 1897, p. 213.

<sup>14</sup> „Jour. Geology“ 10, 1902, p. 815.

<sup>15</sup> „Am. Jour. Sci.“ 4th ser., 19, 1905, p. 277.

<sup>16</sup> G. Lunge und C. Millberg. „Zeitschr. Angew. Chemie“ 1897, p. 393.

<sup>17</sup> G. P. Merrill. „Bull. Geol. Soc. Am.“ 8, 1897, p. 160.

- 18 "Bull." 770, U. S. Geol. Survey, 1934, pp. 479—496; также C. K. Leitz and W. J. Mead. Metamorphic geology. New-York 1915, pp. 3—24.  
 19 Литература о глинах чрезвычайно обширна. Подробные сведения читатель найдет у H. Ries, "Clays, occurrence, properties, and uses", 1908.  
 H. Ries. A review of the theories of origin of white residual kaolins. „Trans. Am. Ceramic Soc.“ 13, 1911.  
 I. E. Sproat. Refining and utilization of Georgia kaolins. „Bull.“ 128, U. S. Bureau of Mines, 1916.  
 H. O. Buckman. The chemical and physical processes involved in the formation of residual clay. „Trans. Am. Ceramic Soc.“ 13, 1911.  
 J. H. Watkins. White-burning clays of the southern Appalachian states. „Trans. Am. Inst. Min. Eng.“ 51, 1916, pp. 481—501.  
 Полную библиографию более старых трудов, составленную Н. Rösler, читатель найдет в „Neues Jahrb. Beil. Bd.“ 15, 1902, p. 231.  
 C. Doeiter. Handbuch der Mineralchemie. 2, pt. 2, 1917, pp. 30—145, (со статьей Stremme).  
 H. Ries, W. S. Bayley и др. High-grade clay of eastern United States. „Bull.“ 708, U. S. Geol. Survey, 1922.  
 R. E. Somers. Idem, pp. 292—304.  
 20 H. E. Ashley. The colloid matter of clay and its measurements. „Bull.“ 388, U. S. Geol. Survey, 1909, p. 65.  
 21 C. R. Ross and E. V. Shannon. „Jour. Amer. Ceramic Soc.“ 9, 1926, pp. 77—96.  
 E. S. Larsen and E. T. Wherry. Beidellite, a new mineral name. „Jour. Acad. Sci. Wash.“ 1925, pp. 465—468.  
 22 H. Rösler, „Zeitschr. Prakt. Geol.“ 1908, p. 251; Stremme. Idem p. 1923.  
 23 „Zeitschr. Prakt. Geol.“ 1909, pp. 457—472.  
 24 W. Lindgren. The origin of kaolin. „Econ. Geol.“ 10, 1915, pp. 89—93.  
 25 „Trans., Inst. Min. Eng.“ (London) 36, 1908—1909, p. 10.  
 26 C. W. Hayes and E. C. Eckel. Iron ores of the Cartersville district, Georgia. „Bull. 213“, U. S. Geol. Survey, 1902, pp. 233—242.  
 E. C. Eckel. Limonite deposits of eastern New York, etc. „Bull.“ 260, U. S. Geol. Survey, 1904, pp. 335—342.  
 R. J. Holden в „Mineral Resources of Virginia“, 1908.  
 E. C. Harder. The iron ores of the Appalachian region in Virginia. „Bull.“ 380, U. S. Geol. Survey, 1908, pp. 215—254.  
 E. C. Harder and E. F. Burchard. „Mineral Resources“, U. S. Geol. Survey в частности, часть 2-я, глава о железе, 1908.  
 E. F. Burchard and E. C. Eckel. Birmingham district. „Bull.“ 400, U. S. Geol. Survey, 1910, pp. 145—167.  
 27 C. M. Weld. The Oriskany iron ores of Virginia. „Econ. Geol.“ 10, 1915, pp. 399—421.  
 28 John. „Zeitschr. Prakt. Geol.“ 19, 1911, pp. 208—212.  
 P. Grosch. „Geol. Rundschau“ 5, 1914—15, pp. 392—618.  
 R. W. Van der Veen. „Econ. Geol.“ 17, 1922, pp. 602—618.  
 29 A. C. Spencer. Three deposits of iron ore in Cuba. „Bull.“ 340, U. S. Geol. Survey, 1907, pp. 318—329.  
 C. M. Weld. The residual iron ores of Cuba. „Trans. Am. Inst. Min. Eng.“ 40, 1909, pp. 299—312.  
 J. F. Kemp. The iron resources of the world. Int. Geol. Congress, Stockholm, 1910, pp. 793—795; „Trans. Am. Inst. Min. Eng.“ 51, 1916, pp. 3—30.  
 См. также семь трудов по этому же вопросу: J. S. Cox, Jr., C. K. Leith, W. J. Mead, A. C. Spencer, C. W. Hayes, W. L. Cumings, B. L. Miller, D. E. Woodbridge, and J. E. Little, в „Trans. Am. Inst. Min. Eng.“ 42, 1911, pp. 73—152, также C. K. Leith and W. J. Mead, idem, 53, 1916, pp. 75—78.  
 30 W. Lindgren. The water resources of Molokai. „Watersupply Paper“ 77, U. S. Geol. Survey, 1903, p. 19.  
 31 H. Wöbling. Bildung der oxydischen Eisenerzlager. „Stahl und Eisen“ 1909, p. 1248; также „Zeitschr. Prakt. Geol.“ 17, 1909, p. 495.  
 32 R. A. F. Penrose, Jr., Manganese, its uses, ores and déposits. „Ann. Rept. Arkansas Geol. Survey“ 1, 1890.  
 Geo. A. Thiel. The manganese minerals, their identification and paragenesis. „Econ. Geol.“ 19, 1924, pp. 107—145.

- C. Doeiter. Mineralchemie, 3, pt. 2, pp. 827—965, со статьями Koechlin и Leitmayer.
- E. C. Harder. Manganese deposits of the United States. „Bull.“ 427, U. S. Geol. Survey, 1910, с библиографией.
- E. C. Harder. Manganese ore of Russia, India, Brazil and Chile. „Trans., Am. Inst. Min. Eng.“ 56, 1916, pp. 31—76.
- E. C. Harder and D. F. Hewett. Recent studies of domestic manganese deposits. Idem, 63, 1920, pp. 3—50.
- E. C. Harder, D. F. Hewett and J. W. Furness. „Mineral Resources“, U. S. Geol. Survey and Bureau of Mines, Annual publication.
- 33 „Comtes Rendus“ 162, 1916, pp. 259—269.
- 34 „Am. Jour. Sci.“ (3) 36, 1888, p. 177.
- 35 „Am. Jour. Sci.“ (5) 7, 1924, p. 457.
- 36 Считают, что голландит и романекит являются отдельными формами псиоломелана.
- 37 „Econ. Geol.“ 19, 1924, pp. 107—145.
- 38 F. Behrend. „Zeitschr. Prakt. Geol.“ 32, 1924, p. 81; p. 102.
- 39 „Kolloid. Zeitschr.“ 34, 1924, pp. 233—237.
- 40 H. D. Miser. „Bull.“ 734, U. S. Geol. Survey, 1922.
- 41 E. C. Harder. „Bull.“ 427, U. S. Geol. Survey, 1910, p. 60.
- 42 Stose, Miser and Katz. „Bulls.“ 17 и 23, Va. Geol. Survey, 1919, 1922.
- 43 Sidney Paige. „Bull.“ 450, U. S. Geol. Survey, 1911.
- 44 S. F. Emmons and J. D. Irving. „Bull.“ 320, U. S. Geol. Survey, 1907, p. 26.
- 45 J. T. Pardee. „Bull.“ 725, U. S. Geol. Survey, 1922, pp. 141—244.
- 46 Обзор литературы, составленный Е. С. Хардер. „Bull.“ 427, U. S. Geol. Survey, 1910, p. 183.
- 47 L. L. Fermer. The manganese ore deposits of India. „Mem. Geol. Survey India“ 37, 1909.
- 48 E. F. Burchard. Manganese ore deposits in Cuba. „Trans., Am. Inst. Min. Eng.“ 63, 1920, pp. 51—104.
- 49 A. E. Kitson and R. N. Junner. „Trans. Am. Inst. Min. Engs. Cleveland meeting“, April, 1927.
- 50 „Mineral Resources“, U. S. Geol. Survey, pt. 1, 1925 и в позднейших выпусках.
- 51 T. L. Watson. Lead and zinc deposits of Virginia. „Bull.“ 1, Virginia Geol. Survey, 1905.
- T. L. Watson. Lead and zinc deposits of the Virginia-Tennessee region. „Trans. Am. Inst. Min. Eng.“ 36, 1906, pp. 681—737.
- 52 E. F. Burchard and J. M. Hill. „Mineral Resources“, U. S. Geol. Survey, annual publication, „Mineral Paints“.
- G. P. Merrill. Non-metallic minerals. 1910, pp. 104—111.
- 53 B. L. Miller. The mineral pigments of Pennsylvania. Rept. 4. Topographic and Geologic Survey Commission of Pennsylvania, Harrisburg, 1911.
- F. T. Agthe and J. L. Dynan. Paint-ore deposits near Lehigh Gap, Pennsylvania. „Bull.“ 430, U. S. Geol. Survey, 1909, pp. 440—454.
- 54 C. W. Hayes. Iron ores in the Cartersville district, Georgia. „Trans. Am. Inst. Min. Eng.“ 30, 1901, pp. 403—419.
- T. L. Watson. The ochre deposits of Georgia. „Bull.“ 13, Georgia Geol. Survey, 1906.
- 55 Diller and Clarke. „Bull.“ 60, U. S. Geol. Survey, 1890, 21.
- G. F. Kay. „Bull.“ 315, U. S. Geol. Survey, 1907, p. 120.
- 56 E. Classer. Rapport sur les richesses minérales de la Nouvelle Calédonie. „Ann. des Mines“ (10), 5, 1904, pp. 29—154, 503—701.
- G. M. Colvocoresses. „Eng. and Min. Jour.“, Sept. 21, and 28, 1907.
- W. G. Miller. Nickel deposits of the world, перепечатано из отчета Royal Ontario Nickel Commission, Toronto, 1917, pp. 234—264.
- M. Piroutet. Étude Stratigraphique sur la Nouvelle Caledonie, Protat Frères, Macon. „BULL. Soc. géol. de la France“ Ser. 4, 3, 1917, pp. 155—177.
- 57 C. W. Hayes. Bauxite, its occurrence, geology, etc., „Sixteenth Ann. Rept. U. S. Geol. Survey“, pt. 3, 1895, pp. 547—597.
- T. L. Watson. „Bull.“ 11, Georgia Geol. Survey, 1904 (библиография).
- F. W. Clarke. Geochemistry. „Bull.“ 770, U. S. Geol. Survey, 1924, pp. 496—510.
- W. C. Phalen. Издание „Mineral Resources“, U. S. Geol. Survey.

- J. W. Richards. Издание „Mineral Industry“.  
58 „Bull.“ 30, Bureau of Soils, U. S. Dept. of Agr., 1905, p. 28.  
59 A. Streng. Zeitschr. Deutsch. Geol. Gesell.“ 39, 1887, p. 621 (Германия).  
A. Bauer. „Neues Jahrb., Festband“ 1907, p. 33 and 1898, pt. 2, p. 192 (острова  
Сейшельские).  
R. D. Oldham and T. H. Holland. „Records Geol. Survey India“ 32, pt. 2,  
1905, pp. 175—184.  
L. L. Fermor. The manganese deposits of India. „Mem. Geol. Survey India“  
37, 1909, pp. 370—380.  
J. B. Harrison. Laterite in British Guiana. „Geol. Mag.“ 47, 1910, p. 440.  
C. S. Fox. „Mem. Geol. Survey India“ 49, pt. 2, 1923.  
G. C. Du Bois. „Min. Pet. Mitt.“ 22, 1903, p. 1. (Суринам).  
A. Lacroix. Nouv. Arch. Mus. Hist. Nat. (Paris), 5th ser., 15, 1913, p. 255;  
пересмотрено L. L. Fermor „Geol. Mag.“ 1915, pp. 28, 77, 123 (французская  
Гвиана).  
J. M. Van Bemmelen. „Zeitschr. Anorg. Chemie“ 66, 1910, p. 322 (общий  
обзор).  
J. Morrow. Cambell, Laterite, its origin, structure, etc., „Mining Magazine“  
(London), Aug.-Nov., 1917 (тропическая Африка).  
60 T. H. Holland. „Geol. Mag.“ 1903, p. 59.  
61 „Econ. Geol.“ 22, 1927, pp. 480—493.  
62 W. Maxwell. Lavas, and soils of the Hawaiian Islands, 1898.  
63 R. Schwarz. Ueber das Problem der Kaolin bildung, Thon industrie  
Zeitung, 1924.  
64 „Econ. Geol.“ 10, 1915, pp. 28—54.  
См. также Leith and Mead. Metamorphic geology. New-York, 1915, pp. 25—38.  
65 F. Laur. „Trans. Am. Inst. Min. Eng.“ 24, 1894, p. 234.  
66 O. Pauls. „Zeitschr. Prakt. Geol.“ 21, 1913, pp. 521—572.  
67 C. W. Hayes. Twenty-first Ann. Rept. U. S. Geol. Survey“, pt. 3, 1901, pp.  
435—472.  
J. C. Branner. „Jour. Geol.“ 5, 1907, pp. 263—289.  
W. J. Mead. Occurrence and origin of the bauxite deposits of Arkansas. „Econ.  
Geol.“ 10, 1915, pp. 28—54.  
68 C. W. Hayes. The geological relations of the southern Appalachian bauxite  
deposits „Trans. Am. Inst. Min. Eng.“ 24, 1895, pp. 243—254.  
69 T. L. Watson. Op. cit.  
W. A. Nelson. Appalachian bauxite deposits „Bull. Geol. Soc. Am.“ 34,  
1923, pp. 525—532.  
70 O. Veach. „Bull.“ 18, Georgia Geol. Survey, 1909, pp. 430—447.  
R. F. Morse. The bauxite deposits of Mississippi „Bull.“ 19, Miss. Geol.  
Survey, 1923.  
R. F. Burchard. Bauxite in N. E. Mississippi „Bull.“ 750, U. S. Geol.  
Survey, 1925.  
R. E. Rettger. The bauxite deposits of S. E. Alabama. „Econ. Geol.“ 20, 1925,  
pp. 671—686.  
W. B. Jones. Bauxite in Alabama. Idem, 21, 1926, pp. 792—802.  
71 Выпуск „Mineral Resources, U. S. Geol. Survey, and Bureau of Mines.  
72 „Bull.“ 11, Georgia Geol. Survey, 1904, pp. 45—46.  
73 D. C. Wyson. Diaspore Clay of Arkansas and Missouri. „Jour. Am. Ceramic  
Soc.“ 6, 1923, pp. 501—509.

## Глава V

# МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГЕМАТИТОВЫХ РУД РАЙОНОВ ВЕРХНЕГО ОЗЕРА

**Общий характер. Распределение.** Железные руды, добываемые в районе Верхнего Озера, в Minnesota, Michigan и Wisconsin составляют от 80 до 90% всей добычи в США; в 1925 г. производительность этого района выразилась в 51 000 000 длинных т. В 1927 г. мировая добыча железных руд составляла 130 000 000 метрических т. Руда представлена преимущественно гематитом с небольшим количеством лимонита и магнетита и залегает в виде массивов, линз или плоских залежей в докембрийских осадочных породах алгонского и архейского возраста. Месторождения концентрировались окисляющим и кремнерастворяющим действием метеорных вод на первоначальные осадочные породы, называемые «железными формациями» и содержащие в большом количестве карбонатное и кремнекислое железо. В настоящем своем виде они представляют собою продукты докембрийского выветривания; вероятно вследствие чрезвычайной сухости климата это выветривание проникло на столь большую глубину, как нигде. В настоящее время эти водные процессы рудообразования продолжаются лишь в незначительной степени близ поверхности.

Большинство сведений относительно этих месторождений связано с трудами C. R. Van Hise и C. K. Leith и многих других. Эти труды собраны в монографиях издания United States Geological Survey<sup>1</sup>.

На американском континенте главнейшие месторождения этого типа гематитовых руд сосредоточены в семи районах США и в трех-четырех районах Канады.

Они носят местное название кряжей (ranges) (рис. 48):

1. Mesabi, Vermilion и Cuyuna, в северной части штата Minnesota.
2. Penokee-Cogebic, Marquette, Iron River и Menomince, преимущественно в северной части штата Michigan.
3. Baraboo в южной части Wisconsin.
4. Michipicoten, Gunflint Lake и другие, менее значительные, в Канаде.

**Геология.** Ниже приводится стратиграфическая схема докембрийских пород района Верхнего Озера и Канады с принятymi названиями и подразделениями.



Рис. 48. Геологическая карта области Верхнего Озера. Составлена по отчетам геологических комитетов США, штатов Мичиган, Висконсин, Миннесота, Канады и Онтарио.

Масштаб 1 дм = 83 милям (по С. К. Leith).

- 1—гранит; (A)—архейский; (H)—гуронийский; 2—зеленокаменные: (A)—архейские; (H)—гуронские; архейские и альгонкские; 3—железорудные—гуронские; 4—медиорудные—кьюинзиенские; альгонкские; 5—кембрийские и послекембрийские; 6—железорудные неподразделенные кроме гранита; доверхнегуронские.

## США

Кембрийский период. Потсдамский песчаник

### Альгонский период

1) Кьюинэвиэн — сложенная песчаниками, основными эфузиями и интрузиями

#### 2) Гуронская серия

а) Верхний гурон, сложенный кварцитами, породами «железной формации» и сланцами

б) Средний гурон — кварциты «железная формация» и плотные сланцы

в) Нижний гурон — кварциты, конгломераты, доломиты, плотные сланцы и интрузивные породы

### Архейский период

1) Лаврентьевская серия — граниты и гнейсы

#### 2) Куонтинская серия

а) «Железная формация» и другие осадочные породы

в) Потоки основных лав и других эфузивов, частично метаморфизованных

Линии между формациями означают несогласия.

Из всех этих формаций месторождения гематита залегают только в верхнем и среднем гуроне и в куонтинской серии.

Архейский или основоположный комплекс пород состоит из гнейса и гранита с целой серией зеленокаменных пород (базальты, габбро, амфиболиты), большинство которых представляет собою поверхностные лавовые образования. Эти лавы в настоящее время относят к самым древним отложениям. Характер нижележащих пород, являющихся фундаментом для лавовых потоков, неизвестен. На куонтинских лавах залегают осадочные породы «железной формации». Гнейсы и граниты отчасти интрудируют и куонтинскую серию пород.

В районах Vermilion и Michipicoten продуктивная свита принадлежит к куонтинской серии пород.

Выше архейской системы несогласно залегает альгонская, в свою очередь перекрываемая кембрийской. В своем полном развитии альгонская система состоит из четырех частей, разделенных друг от друга несогласиями. Три нижние разделы объединяются под названием «гурона», а верхнему присвоено наименование «кьюинэвиэн». Главнейшие железорудные формации сконцентрированы в гуроне, но развиты не во всех районах одинаково.

В районе Marquette присутствуют все три раздела гурона. Нижняя серия Marquette сложена из кварца, доломита и плотного сланца; мак-

## Канада

### Палеозойские отложения

1) Кьюинэвиэнская серия. Основные лавовые потоки интрузии

2) Анимикская серия

Свита анимики

» кобальт

» white water

3) Алгоманский гранит. Интрузии

4) Темискамингская серия (Свита sudbury)

5) Лаврентьевские граниты и гнейсы. Интрузии

6) Логанская серия

а) Гренвильская свита (известняки и сланцы), свита Дор (серые вакки, конгломераты)

б) Куонтинская серия — лавовые потоки и другие эфузивы метаморфизованы

симальная мощность 3 000'. Средняя серия Marquette мощностью 3 000' сложена кварцитами, плотными сланцами и железоносной свитой Na-gaunee.

Верхняя серия Marquette сложена кварцитами, сланцем, плотным сланцем и обломками основных эфузивных пород, причем каждый член серии сопровождается железоносными свитами.

В районах Crystal Falls и Menominee наблюдаются такие же подразделения.

В районе Penokee-Gogebic присутствуют породы как верхнего, так и нижнего гурона, но средний гурон как будто отсутствует. Нижняя серия состоит из кварцитов, кремнистосланцевых известняков и доломитов; в верхнюю часть входят кварцитовые плотные сланцы и мощная «железная формация» Ironwood общей мощностью около 13 000'.

В районе Mesabi нижнегуронская серия сложена конгломератами, серыми вакками и сланцами, поставленными вертикально, и интрудированными гранитами, особенно развитыми в районе хребта Giants, по южному склону которого с востока на запад на протяжении 100 миль простирается полоса железных месторождений указанной серии.

Верхнегуронская серия состоит в нижней части из кварцитов, выше «железной формации Бивабик», и покрывающей толщи сланцев. Общая мощность серии свыше 2 000'. Вся серия падает под уклон от 5 до 20° и рассечена сбросами. В восточном участке района распространение этой серии прервано интрузиями кьюинэвиэнских гранитов, сильно метаморфизовавших близлежащие осадочные породы этой серии.

На серии гуронских пород залегает менее метаморфизованная серия пород кьюинэвиэн, сложенная песчаниками, конгломератами, изверженными излившимися основными породами.

Общая мощность свыше 35 000'. Месторождения железной руды здесь отсутствуют.

Западный конец Верхнего Озера состоит из синклинально залегающих кьюинэвиэнских пород, с падением оси синклинали к востоку. Нижележащая серия (верхний гурон) менее участвует в этой синклинальной структуре.

Таким образом, в районе Верхнего Озера установлено 6 серий (начиная сверху): кьюинэвиэн, верхнего, среднего и нижнего гурона, лаврентьевская и киуонтинская.

Кроме последних двух, все они отделяются друг от друга несогласиями. Их покрывает весьма резким несогласием кембрийский Потсдамский песчаник<sup>2</sup>.

**«Железные формации».** Полагают, что железные руды района Верхнего Озера произошли вследствие концентрации железа, выщелачивавшегося метеорными водами из тощих «железных формаций», содержащих железо в количестве около 25%.

Руды представляют собою продукты обогащения химически отложенных осадков, например, сидерита и водных силикатов железа, в большинстве случаев чередующихся с пластами нормальных кластических осадков, например, плотного сланца и кварцита.

Мощность «железных формаций» варьирует от нескольких футов до 1 000'. Согласно Leith они представляют собою осадочные свиты, состоящие преимущественно из кремнистых осадков или кварца и окиси железа, скопившихся в виде пропластков или пластов или же беспорядочных смешений. Там, где развиты пропластки со слоями кварца, окрашен-

ными в красный цвет, и где порода кристаллическая — это джеспилиты (*jasper*); там, где порода недостаточно кристаллична, в форме ли пропластков или беспорядочных смешений — она известна под названием «*chert*» — железисто-кремнистой породы.

Содержание  $\text{SiO}_2$  в этих породах варьирует в пределах 32—80%, а окиси железа от 31 до 66%. Другими, второстепенными по количеству, образованиями «железной формации» являются: 1) обычные глинистые плотные сланцы со всевозможными переходами через железистые плотные сланцы к железистым кремнистым породам — *cherts*; 2) «красильные породы» (*Paint rocks*) — окисленные плотные сланцы — эквиваленты последним; 3) кремнисто-сланцевый железный карбонат (*cherty iron carbonate*) (сидерит) и водный силикат железа (*гриналит*); 4) сами железные руды.

В настоящее время «железные формации» почти полностью состоят из окиси железа и кремнезёма со второстепенными количествами карбонатов и глинозема.

Spurr установил, что в районе Mesabi некоторые породы содержат в виде вкраплений в кремнистых образованиях *chert* и карбонатах железа многочисленные круглые зерна зеленого хлористого вещества, которое первоначально называли глауконитом. Leith установил, что в этих зернах калий отсутствует и присвоил минералу наименование гриналита. Состав его приблизительно следующий: от 30 до 38%  $\text{SiO}_2$ , от 8 до 34%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , от 25 до 47%  $\text{FeO}$  и от 7 до 9%  $\text{H}_2\text{O}$  (стр. 50, вып. II). Гриналитовые породы содержат этот минерал в количестве от 50 до 80%; он растворяется в кислотах. В восточной части района тот же самый минерал встречается и среди некоторых сидеритовых пород.

Региональный метаморфизм (согласно Grout и Broderick), или контактный метаморфизм, вызванный кьюинэвиэнскими интрузиями гранитов и габбро (согласно Van Hise и Leith), местами превратили сидерит и гриналитовые породы в магнетит-амфиболовые сланцы, а мягкий гематит в спекулярит; это особенно наблюдается в кряжах Marquette и восточном Mesabi.

**Железные руды.** Гематитовые руды произошли из железисто-кремнистой породы *chert* путем процессов концентрации железа и постепенно переходят в нее с глубиной и по простианию. Руды содержат достаточное количество магнетита для производства измерений магнитных аномалий, ими вызываемых. Твердые синеватые спекуляритовые руды хребта Marquette содержат магнетита больше, чем другие разности, и сопровождаются контактово-метаморфическими джаспероидами и магнетит-амфиболовыми (*grünerite*) породами. В других хребтах, например Mesabi, Ponokee и Baraboo руды более мягкие, синеватого, красного или бурого цвета, частично гидрированы. В 1909 г. средний состав руд Верхнего Озера был следующий в %:

Влага (потеря при 100° С)	11,28
Анализ сухой руды:	
Железо	58,45
Фосфор	0,091
Кремнезем	7,67
Глинозем	2,23
Марганец	0,71
Оксис кальция	0,54
магния	0,55
Сера	0,06
Потеря в прокаливании	4,12

Это соответствует следующему составу:

Гематит (частично гидротизирован)	86,45
Кварц . . . . .	4,89
Каолин . . . . .	5,25
Хлорит . . . . .	1,01
Доломит . . . . .	0,81
Апатит . . . . .	0,48
Прочие . . . . .	1,11
	100,00

В 1925 г. средний анализ естественной (не просушенной) руды был следующий в %:

Железо . . . . .	51,74
Фосфор . . . . .	0,099
Кремнезем . . . . .	8,42
Марганец . . . . .	0,82
Влага . . . . .	10,58

Некоторые партии руды содержат не свыше 40% Fe. Часть руды из кряжа Cuyna содержит до 17% Mn. Содержание серы варьирует между 0,003 и 1,87%, но в среднем оно невелико. Среднее содержание фосфора 0,07%. Помимо кварца и кремнистых образований (chert), аксессорными и более или менее редкими минералами в руде являются апатит, вавелит, адуляр, кальцит, доломит, сидерит, пирит, марказит, халькопирит, турмалин, оттрелит, хлорит, гранат, слюда, родохрозит, барит, гипс, аноцит, гетит и тургит.

В кряже Mesabi запасы руды исчисляются в 1 385 000 000 т; во всем районе Верхнего Озера — 1 475 000 000 т. За период от 1854 до 1916 г. район Верхнего Озера дал в общей сложности 1 300 млн. длинных т руды; наибольшую производительность показали последние четыре десятилетия.

В районе Michipicoten (Канада) добываются карбонатовые руды.

**Форма рудных тел.** Руда образует неправильной формы, часто очень крупные, но обычно явно слоистые массивы, включенные в «железную формуацию».

Форма залегания обычно обусловливается присутствием непроницаемых подстилающих формацию пород, например глинистых даек, разрушенных амфиболитовых пород или складчатых осадочных пород, подобно плотному сланцу, которые давали направление циркуляции поверхностных вод. Руды обычно залегают в форме «пологих корыт» (pitching trough), создавшихся под влиянием одного из этих факторов или их совокупности.

В некоторых из кряжей, как, например, Gogebic, Marquette и Iron River, отложения сильно смяты в складки и нередко имеют крутое падение.

Некоторые из рудных тел прослежены на глубину 1 500—2 000'. В настоящее время в районе Gogebic доброкачественная руда добывается в руднике Newport с горизонта 2 000'. В районе Mesabi породы имеют пологое падение. Изменения и концентрация захватили очень значительную площадь и лишь немногие из рудников работают глубже 200'. В этом кряже неглубокие залежи разрабатываются в широчайшем масштабе с помощью эскаваторов. Производительность этого района выразилась в 1917 г. в 41 127 323 длинных т, а в 1925 г. в 35 000 000 т и значительно превышает остальные районы.

Кряж Marquette. В кряже Marquette рудники расположены близ

Negaunce и Republic к югу и юго-западу от Marquette. Главная «железная формация» относится к среднему гурону; осадочные породы интрудированы основными изверженными породами, обусловившими метаморфизм первых. Проявляется сильная складчатость и рудные отложения приурочены к обширной синклинали. По стратиграфическому положению рудные слои относятся к самой нижней части формации Negaunee, где подстилающими породами являются плотные сланцы, смятые в многочисленные складки, с образованием пологих отдельных синклинальных бассейнов, в которых дайки основных пород прокладывали пути концентрирующим водам. Частично рудные слои залегают также на контакте «железной формации», с основными интрузиями, например, в «пологих корытах»

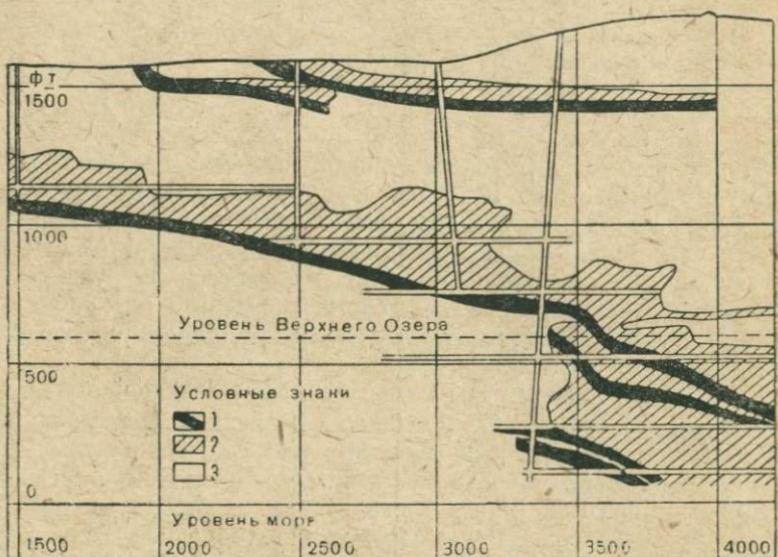


Рис. 49. Разрез по простиранию рудника Montreal, (хребет Gogebic, штат Мичиган), иллюстрирующий расположение окисленной руды в зависимости от даек.

1—дайки; 2—гематитовая руда; 3—железная формация.

между массивами изверженных пород и ответвляющимися от них дайками. Поверхность изверженных пород подвергалась сильному изменению; они выщелочены и превратились в глинистые массивы, называемые «мыльным камнем» или «paint rock».

**Кряж Menominee.** Железо-рудный район простирается от западной части штата Michigan в штат Wisconsin; главнейшие рудники расположены в Iron Mountain, Norway и Crystal Falls. «Железная формация» преимущественно находится в верхнем гуроне; она носит название формации Vulcan. Она покрывается плотными сланцами верхнего гурона и подстилается доломитами нижнего гурона. Структура этого кряжа характерна сложной складчатостью, причем руды различных участков залегают в отдельных местных бассейнах. Месторождения руд сложены мягким красным гематитом, местами значительно гидрированным, и, заключаясь между толщами сланца, приурочены обычно к пологим синклиналям.

**Кряж Penokee-Gogebic.** Этот кряж находится в северной части штата

Michigan и в штате Wisconsin; главнейшие рудники расположены в Higley, Ironwood и Bessemer. Руда залегает в формации Ironwood (верхний гурон), поверх которой лежит плотный сланец, а внизу кварцит и черный плотный сланец. Падение крутное и отложения отчасти метаморфизованы габбро кьюинэвийэн. Большая часть формации Ironwood представляет собою кремнистый сланец, богатый железом. Руды сконцентрированы в крупные неправильной формы тела в углах между кварцитом или черным плотным сланцем лежачего бока и изверженными дайками (рис. 49 и 50); эти породы образуют непроницаемое «корыто», в которое стекают метеорные воды. Большинство месторождений достигает глубины 1 000', некоторые — 2 200'. Встречается как мягкая, частично гидрированная руда, так и твердая сланцевая.

**Кряж Сиупа.** Район Сиупа расположен близ Brainerd, миль 70 к юго-западу от рудников Mesabi<sup>8</sup>; он тянется в северном направлении на 65 миль по простиранию пород.

Руда здесь представляет частично гидрированный гематит, местами сопровождаемый необычайно большим количеством окиси марганца (до 18% Mn). Руды залегают в толще железисто-кремнистых пород джаспероидов, переходящих на глубине в железисто-кремнисто-карбонатовые породы (Cherty), с некоторым количеством амфиболя. Вмещающими породами являются различного рода плотные сланцы, смятые в крупные складки, подробности которых трудно проследить вследствие покрывающего их ледникового наноса. Рудные тела вытянуты по простиранию складок; некоторые из них залегают на небольшой глубине, другие прослежены до глубины 300'. Содержание фосфора колеблется в пределах 0,1—0,5%.

Вследствие присутствия в рудах небольшого количества магнетита руды Сиупа были открыты с помощью магнитометрических исследований. В 1925 г. отсюда было отправлено 741 000 т железо-марганцевой руды со средним содержанием 7,8% Mn.

**Кряж Mesabi.** В северной части штата Minnesota кряж Mesabi тянется с востока на запад на расстояние 75—100 миль по южному склону высокого хребта, называемого хребтом Гигантов (Giants Rang). Наиболее значительные рудники расположены в округах Biwabic, Evelith, Vir-

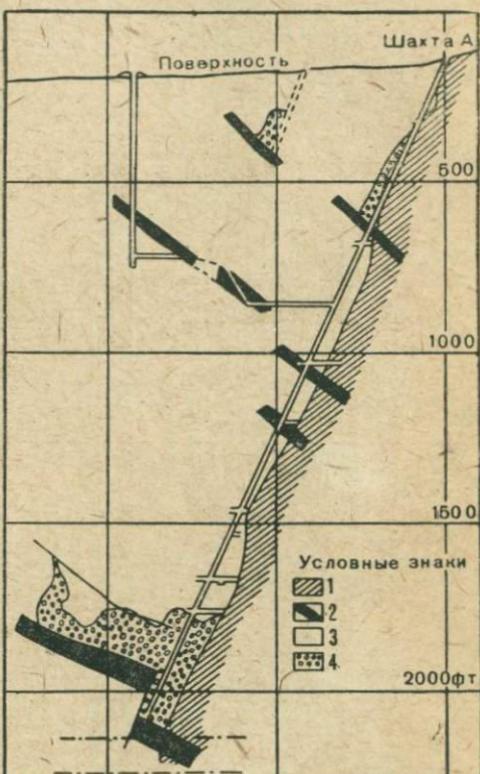


Рис. 50. Вертикальный разрез рудника Newport (хребет Gogebic, штат Мичиган), иллюстрирующий положение рудных тел по отношению к дайкам (по данным Н. Р. Smyth). 1 — кварцит лежачего бока; 2 — дайки; 3 — железная формация (слева лежачего бока); 4 — гематитовая руда.



Рис. 51. Сводный разрез, показывающий отношение железной формации к вмещающим породам в толще хребта Mesabi (штат Minnesota) (по J. F. Wolff).

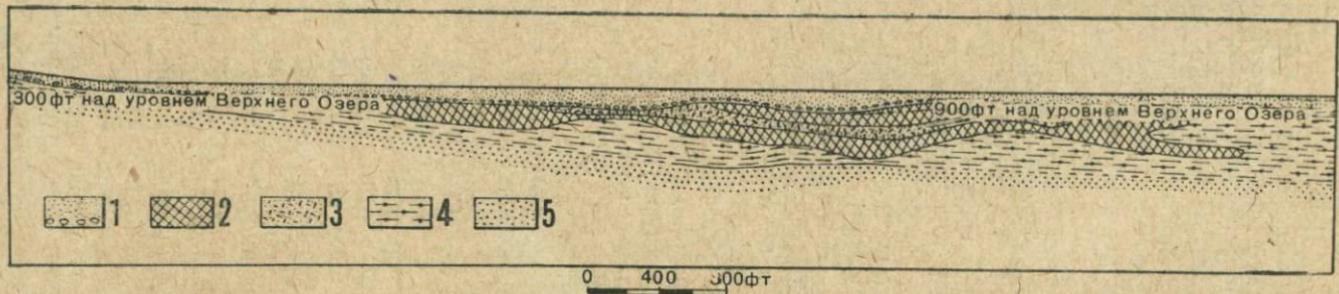


Рис. 52. Разрез с севера на юг через железную формацию хребта Mesabi, штат Minnesota (по O. B. Warren и C. K. Leith).  
1—наос; 2—руда; 3—разложившийся таукоит; 4—таукоит; 5—кварцит.

**A Трешина натяжения в железной формации по оси антиклинали**



**B**

**Образование руды из изменением таكونита по трещине в плоскости напластования**



**C**

**Сильно подвинувшийся переход таكونита в руду**



**D**

**Современное положение среднего рудного тела**



Рис. 53. Иллюстрация формы развития оседания рудных масс в краевых зонах рудных залежей хребта Mesabi (по J. F. Wolff).

ginia и Hibbing. Здесь гуронские породы залегают в сравнении с другими районами относительно полого — 8—10° в направлении к юго-востоку. Так что выходы железной формации прослеживаются на поверхности в виде пояса северо-восточного и юго-западного направления (рис. 51).

Месторождения руд относятся к «железной формации» верхнего гуриона. Под ней залегает покегамский кварцит, а перекрывает ее толща виргинского плотного сланца (хлоритово-глиноzemистая осадочная порода), за исключением западного конца кряжа, где развиты амфибол-магнетитовые породы, «железная формация» состоят почти полностью из железистой кремнистой породы (chert), представленной многослойным комплексом.

Железные руды занимают обширные площади в поясе выходов «формаций Biwabic», но не спускаются до сколько-нибудь значительной глубины; лишь немногие из рудников достигают глубины, превышающей 200' (рис. 52).

Месторождения чаще всего расположены в синклинальных поперечных складках. Руды имеют пластовый характер и по краевым зонам рудных тел довольно резко переходят во вмещающие железосодержащие кремнистые породы, из которых она и происходит путем выщелачивания из последних кремнезема. Это соотношение резко выражено оседанием рудных пластов в краевых зонах рудных массивов, как это показано на рис. 53. Железная формация носит местное название takonite.

Дождевая вода, падающая на поверхность срезанных выходов пластовых пород, просачивается в породы и движение ее в зоне циркуляции, контролируемое синклинально залегающими водонепроницаемыми сланцами и трещинами, имеет преимущественно южное направление.

Вторичная концентрация железных руд, протекающая в поверхностных условиях, повидимому, имела место с той отдаленной эпохи после кьюинэвиэнского образования складок, когда отложения «железной формации» впервые обнажились.

Эта концентрация происходила как выше, так и ниже современного горизонта грунтовых вод, находящегося на глубине, примерно, 75'.

Из анализов видно, что современные поверхностные воды, содержащие около 20 частей  $\text{SiO}_2$  на миллион, медленно растворяют, но почти не выводят железа. Залежи руд, видимо, отсутствуют на участках, перекрытых виргинскими плотными сланцами, вследствие, вероятно, того, что под покровом водонепроницаемых пород имеет место застой грунтовых вод. В восточной части района амфибол-магнетитовые породы в весьма незначительной степени подверглись окислению и изменению в силу, вероятно, своей большой природной стойкости. В течение процессов развития и образования рудных тел эрозия непрерывно смывала «железную формуацию» и это срезание рудных и вмещающих пород сопровождалось медленной миграцией железа по направлению вниз и в бока. Весьма большое количество рудного материала срезано движением ледников.

По составу руда представляет собою мягкий и пористый гематит бурой, красной или синеватой окраски, содержащий от 55 до 58% Fe, с незначительным количеством магнетита, тургита и гетита. Минералогический состав руды (1909 г.) следующий в процентах:

Гематит . . . . .	61,81
Лимонит . . . . .	25,95
Кварц . . . . .	4,10
Каолин . . . . .	5,30
Двуокись марганца . . . . .	1,30
Прочее . . . . .	1,54

Содержание серы незначительно, содержание фосфора колеблется в пределах 0,03—0,07%. Руды содержат значительно большее количество P, чем железисто-кремнистые породы (chert); в гриналитовых и сидеритовых разностях пород фосфор почти отсутствует. Марганец присутствует в количестве до 2%.

**Кряж Vermilion.** К северо-востоку от Mesabi близ границы с Канадой проходит кряж Vermilion; главнейшие рудники расположены близ

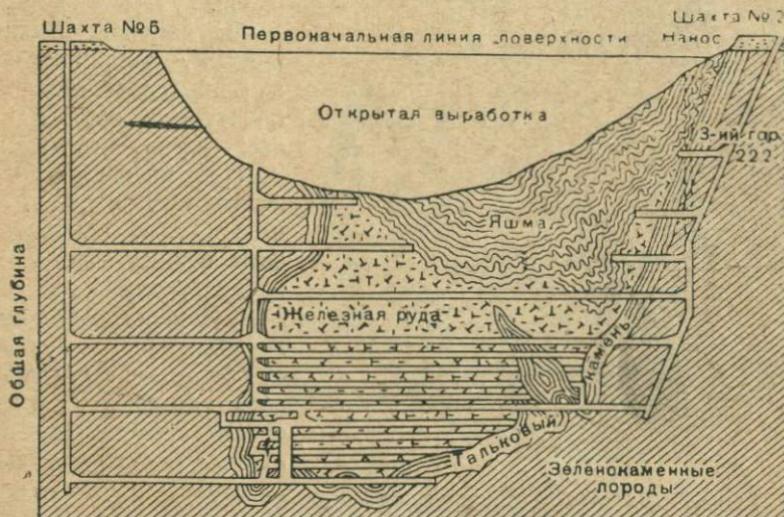


Рис. 54. Вертикальный разрез через рудник Chandler, хребет Vermillion, штат Minnesota (по J. M. Clements).

городов Ely и Tower. Вмещающие породы представляют собой преимущественно киунтинские зелено-каменные породы, смятые в форме синклинального бассейна или корыта, выполненного «железной формацией», носящей местное название Soudan. Железорудные скопления находятся в тесной связи с железистыми джаспероидами, имея своим лежачим боком зелено-каменные породы (рис. 54). Руда представляет собою плотный или твердый синеватый или красный гематит, содержащий небольшое количество халькопирита, что является характерным для данного района.

**Генезис железных руд Верхнего Озера.** Van Hise, Leith и др. установили, что железисто-кремнистые породы (chert), джаспероиды, джаспилиты, амфиболит-магнезитовые сланцы и железные руды, слагающие «железную формацию», являются продуктами вторичных изменений железисто-кремнистых пород (cherts), карбонатов железа или гриналита. Встречающиеся в этой формации небольшие количества силикатов и карбонатов железа являются избегнувшими изменения остатками на участках, более защищенных другими породами.

Можно наблюдать различные стадии этого превращения и в окончательных продуктах. Замечательно хорошо сохранились структуры и текстуры первоначальной породы. Считают, что руды и железисто-кремнистые cherts и джаспилиты, с одной стороны, и амфиболовые сланцы с другой — представляют собою изменения одного и того же первоначального типа. Источником руд, как правило, не являются железисто-кремнистые породы в их настоящем виде, и развитие рудных тел тесно связано с наличием первичных низкопроцентных по содержанию железа сидеритов и гриналитовых пород. Более того, некоторые полагают, что наиболее крупные железные месторождения и связанные с ними джаспероиды развивались совместно и одновременно из тех же первичных минералов.

В районах Marquette, Gogebic, Vermillion и Crystal Falls преобладало карбонатное железо, а в Mesabi — гриналиты (рис. 55).

По мнению геологов, исследовавших район Верхнего Озера, концентрация была осуществлена водами, поступающими более или менее непосредственно с поверхности, в особенности в тех местах, где такие воды сливаются в один бассейн циркуляции вследствие присутствия непроницаемых нижезалегающих формаций, например плотных сланцев или «мыльного камня», наличия струк-

Рис. 55. Железистый „chert“ с зернами гриналита,

частично замещенными окисью железа (черный цвет). Увеличение в 40-х (по C. K. Leith).

турных особенностей в виде «пологих юрты» или «железной формации».

Изменение «железных формаций», выразившееся в концентрации железных руд и развитии железисто-кремнистых пород (cherts) диаспилитов и амфиболовых сланцев, имело место в течение различных геологических периодов при различных условиях.

Поскольку изменение протекало непрерывно под действием поверхностных вод, без вмешательства орогенических и интрузивных процессов, поскольку могли образоваться мягкие руды и железисто-кремнистые породы.

Если эти продукты подвергались глубинному изменению, они теряли свою воду и превращались в твердые, красные и синеватые спекуляритовые руды и ярко окрашенные джаспероиды.

Поскольку это изменение первоначальной железной формации могло протекать в сфере влияния крупных интрузивных массивов, сопровождаемое влиянием термальных вод, где кислород присутствовал лишь в незначительном количестве, или же при других подобных же влияниях, обусловливаемых глубоким погружением или орогеническими движениями,



могли образоваться железистые силикаты и магнетит, что ярко проявляется в развитии гронеритовых сланцев.

Значительная концентрация руд произошла еще в докембрийскую эпоху, о чем свидетельствует присутствие обломков руды в кембрийских конгломератах. Большинство месторождений образовалось в промежуточный период между кьюинэвэнским отложением и кембрийским. К концу докембрийского периода руды уже были приблизительно в том виде, как мы их видим теперь, хотя концентрация до некоторой степени продолжается и поныне. Во время мелового периода район хребта Mesabi во всяком случае был покрыт морем.

Что касается железисто-кремнистых пород cherty и карбонатов железа, Van Hise полагает, что они произошли преимущественно из более древних основных эффузивных пород района Верхнего Озера. Железо было выщелочено грунтовыми водами и унесено в море в виде карбоната, частично также в виде сернокислого раствора и современем отложилось в виде лимонита, из которого путем восстановления органическими веществами образовалось закисное углекислое железо.

C. K. Leith<sup>4</sup> держится несколько иного мнения о генезисе руд: он говорит следующее. Железо было вынесено на поверхность изверженными породами и было унесено в океан горячими магматическими водами или позже поверхностными водами в процессе поверхностного выветривания. Железорудные минералы затем отложились в качестве химического осадка в согласии с последовательностью отложения осадочных пород, а позже в процессе выветривания были местами обогащены под влиянием рудно-носных растворов, просачивавшихся с поверхности.

«Начинает также выявляться, что железные, медные, никелевые и серебряные руды районов Верхнего Озера и озера Гурон относятся к одной и той же металлогенетической провинции, в которой характер и распределение различных руд отчетливо контролируются изверженными породами. В том виде, в каком «железная формация» впервые отложилась, она состояла преимущественно из углекислого и кремникислого железа (гриналита) с некоторым количеством окиси железа в мелких кремнистых прослойках, позже образующих железисто-кремнистые породы cherts. Когда эта порода подверглась выветриванию, соединения железа, т. е. сидерит и гриналит, окислились в гематит и лимонит, преимущественно *in situ*, хотя часть их была одновременно перенесена и переотложена. Продуктом этого процесса явились железисто-кремнистый chert и джаспероиды с содержанием несколько менее 30% Fe. Концентрация железа до 50% и выше осуществлялась преимущественно путем выщелачивания из кремнистых cherts и джаспероидов кремнезема. Инфильтрация железа протекала в меньшем и более непостоянном масштабе.

Выщелачивание кремнезема создает пористость рудной свиты, сопровождаемую оседанием и уплотнением, приводящим в конечном счете к обогащению рудной свиты железом до промышленных концентраций в виде руды.

До рудных промышленных концентраций изменилась лишь небольшая часть железных формаций (менее 2%).

**Итоги.** Литература по железным рудам Верхнего Озера богата; относительно их существует много различных мнений. Одно время T. B. Brooks и R. Pumpelly считали их обезвоженными болотными рудами; эту же точку зрения не так давно высказал Weidmann в своих описаниях руд Baraboo (Wisconsin), где руда переходит в доломиты и где поверхностные породы отсутствуют. Нельзя сказать, чтобы приводимые Weidman доводы были безосновательны.

Gruner<sup>5</sup>, Grout<sup>6</sup> и Broderic<sup>7</sup> рассматривают «железную формацию» как химические осадки, получившие железо из материковых зон глубокого

выветривания. Влиянию интрузивной деятельности они уделяют меньше внимания. Их точка зрения казалось бы также хорошо обоснована. Железная формация Biwabik была основательно изучена Wolff, Grout и Broderic (рис. 56). Gruner установил, что в частях формаций, оставшихся незатронутыми выветриванием, глубокое бурение обнаруживает присутствие большого количества магнетита и, что, таким образом, этот минерал встречается не только в районе восточного Mesabi. Этот же автор полагает, что первоначальными железными минералами были сидерит и гриналит, быть может также и гематит. Позднее, вследствие регионального метаморфизма, развилось большое количество магнетита, значительнейшая часть которого затем окислилась в гематит. Оксидом, из которого и получились почти все богатые «синие руды» (blue ores), был именно магнетит, о чем свидетельствует обилие гематита, псевдоморф-

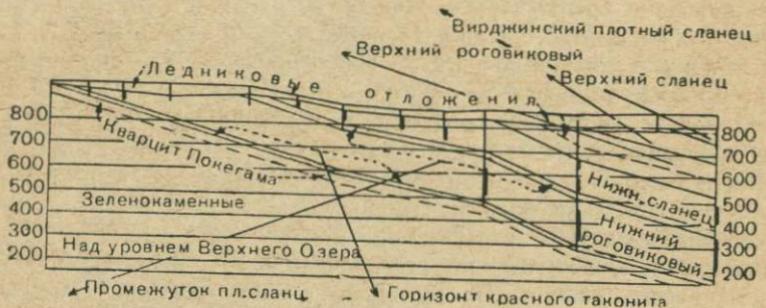


Рис. 56. Разрез центральной части хребта Mesabi, показывающий подразделения формации Biwabik и обилие магнетита.

Жирные черные штрихи, прочерченные параллельно буровым скважинам, показывают содержание от 27 до 30% магнетита (по J. W. Gruner)

ного по магнетиту. Амфибол также встречается по всему кряжу, а не только в восточном Mesabi.

В настоящее время в формации Biwabik обнаружены структуры водорослей и микроорганизмов. Gruner произвел опыты с целью выяснить действие на железные минералы коллоидальных растворов гумуса и установил, что они способны растворять значительное количество металла. Защитное действие гумуса на коллоидальные растворы препятствовало осаждению железа даже в присутствии электролитов. Вероятно, что большое количество железа содержится в коллоидальных растворах. Осаждение как железа, так и кремнистых пород (cherts) по мнению Grouth было в значительной степени вызвано присутствием низших форм органической жизни: продуктами явились гриналит, сидерит и гематит. Процессы обогащения руд путем растворения и выщелачивания кремнистых пород (cherts) поверхностными водами продолжают оцениваться в роли главнейших, хотя и несколько трудно согласиться с их природой.

Казалось бы, что объяснение следует искать в замещении кремнистых пород гематитом или магнетитом. В своей современной форме гематитовые руды развились преимущественно до кембрия, доказательством чего служит присутствие обломков руды в кембрийском конгломерате.

Исследование железного кряжа Michipicoten (Ontario), Collins и Quirke<sup>8</sup> видимо выявляет совершенно иной генезис руд.

Collins считает эти круто падающие пласты сидерита, пирита и мел-

козернистого кремнезема замещением термальными растворами пластов основных кьюонтинских лав. Руда состояла преимущественно из сидерита и анкерита. Эксплоатация велась в течение длинного ряда лет, но в настоящее время рудники бездействуют.

Единственным моментом, когда могли иметь место активные процессы поверхностного окисления до гематита нисходящими видами, являются периоды сухого климата с низким положением уровня грунтовых вод; возможно, что такие условия господствовали в периоды, предшествовавшие отложению потсдамского песчаника.

L. L. Fermor описывает такое же необычайно глубокое окисление до кембрийского возраста в индийских марганцевых месторождениях<sup>9</sup>. Следует упомянуть, что в ту же эпоху образовались гематитовые месторождения в районе Hartville (восточный Wyoming)<sup>10</sup> и в некоторых местностях западной Аризоны<sup>11</sup>.

Гематитовые линзы Hartville залегают по контакту сланцев и известняков, причем последние являются лежачим боком месторождения.

Они прослежены на глубину 900'. Ball говорит, что это месторождение древнее формации Guernsey, т. е. наиболее древней из присутствующих палеозойских пород; он считает, что железо было выщелочено растворами, спускающимися из верхних зон сланца, и отложилось в нижних путем замещения.

Следует заметить о содержании фосфора в рудах Верхнего Озера. Для осадочных месторождений, в образовании которых играла роль органическая жизнь, содержание его чрезвычайно низко. Еще интереснее отметить, что в первичных гриналитовых породах Mesabi фосфор почти вовсе отсутствует.

«Несмотря на то, что над генезисом гематитов Верхнего Озера очень много работали, вопросы их происхождения по настоящее время остаются в известной степени загадкой». Это были заключительные слова главы о гематитах Верхнего Озера в старых изданиях настоящего труда, пусть они и останутся таковыми.

<sup>1</sup> R. D. Irving and C. R. Van Hise. (Район Penokee) „Mon.“ 19, U. S. Geol. Survey, 1892. C. R. Van Hise and W. S. Bayley (Район Marquette) „Mon.“ 28, 1897. J. M. Clements and H. L. Smyth (район Crystal Falls) „Mon.“ 36, 1899. C. K. Leith (Район Mesabi) „Mon.“ 43, 1903. J. M. Clements (Район Vermilion) „Mon.“ 45, 1903. W. S. Bayley. (Район Menominee) „Mon.“ 46, 1904.

C. R. Van Hise and C. K. Leith. The geology of the Lake Superior region. „Mon.“ 52, Idem, 1911.

G. R. Van Hise. Iron ore deposits of the Lake Superior region. „Twenty—First Ann. Rept. U. S. Geol. Survey“, pt. 3, 1901, pp. 305—434.

S. Weidmann. The Baraboo iron-bearing district, Wisconsin. „Bull.“ 13, Wisconsin Geol. and Nat. Hist. Survey, 1904.

C. K. Leith. A summary of Lake Superior geology. „Trans. Am. Inst. Min. Eng.“ 36, 1906, pp. 101—153.

C. K. Leith. The geology of the Cuyuna iron range, Minnesota. „Econ. Geol.“ 2, 1907, p. 145; The iron ores of Canada. Idem 3, 1908, pp. 276—291.

E. C. Harder and A. W. Johnston. Notes on the geology of the Cuyuna district. „Bull.“ 660, U. S. Geol. Survey, 1917, pp. 1—26.

J. F. Wolff. (Хребет Mesabi). „Eng. Anl. Min. Jour.“, July 17. Aug. 7, 1914; „Trans. Am. Inst. Min. Eng.“ 56, 1917, pp. 142—169.

E. F. Burchard, E. C. Harder, H. W. Davis. „Mineral Resources“, U. S. Geol. Survey, выпуск 1908.

E. C. Harder and A. W. Johnston. (Cuyuna) „Bull.“ 15, Minnesota Geol. Survey, 1918.

- J. W. Gruner. The origin of sedimentary iron formations (Mesabi). „Econ. Geol.“ 17, 1922, pp. 407—460.
- W. H. Collins, G. T. Quirke, and E. Thomson. Michipicoten iron ranges. „Mem.“ 147, Canada Geol. Survey, 1926.
- <sup>2</sup> Несколько иное мнение высказывают R. C. Allen и L. P. Barret, „Jour. Geol.“ 23, 1915, pp. 689—729; они считают, что средний гурон следует связывать со свитой Animikie (северное побережье).
- <sup>3</sup> E. Newton. Manganiferous iron ores of the Cuyuna district, Minn. „Bull.“ 5, Univ. Minn., 1918, pp. 126.
- E. C. Harder and A. W. Johnston. The geology of eastcentral Minnesota. „Bull.“ 15, Minn. Geol. Survey, 1919.
- G. A. Thiel. „Econ. Geol.“ 19, 1925, pp. 132—145.
- Carl Zapffe. „Trans. Am. Inst. Min. Met. Eng.“ 71, 1925, pp. 372—385.
- <sup>4</sup> C. K. Leith. Iron ores of Canada. „Econ. Geol.“ 3, 1908, pp. 276—291.
- <sup>5</sup> J. W. Gruner. The origin of sedimentary iron formations. „Econ. Geol.“ 17, 1922, pp. 407—460; также Paragenesis of the martite ore-bodies and magnetites of the Mesabi range, Idem, pp. 1—14.
- <sup>6</sup> F. F. Grout. The nature and origin of the Biwabik iron-bearing formation. Idem 14, 1919, pp. 452—464.
- <sup>7</sup> T. M. Broderick. Detail stratigraphy of the Biwabik iron-bearing formation. Idem 14, 1919, pp. 441—451; также — Economic geology and stratigraphy of the gunflint iron district. Idem 15, 1920, pp. 422—452. F. F. Grout and T. M. Broderick. Organic structures in the Biwabik iron-bearing formation. „Am. Jour. Sci.“, 4 th ser., 48, 1919, p. 199.
- <sup>8</sup> W. H. Collins, T. T. Quirke and Ellis Thomson. Michipicoten iron ranges. „Mem.“ 146, Canada Geol. Survey, 1926.
- <sup>9</sup> „Mem. Geol. Survey India“ 37, 1909.
- <sup>10</sup> S. H. BALL. „Bull.“ 315, U. S. Geol. Survey, 1907, pp. 190—205.
- <sup>11</sup> H. Bancroft. „Bull.“ 451, U. S. Geol. Survey, 1911.

## Глава VI

# МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ОБРАЗОВАВШИЕСЯ ПУТЕМ КОНЦЕНТРАЦИИ ВЕЩЕСТВ, СОДЕРЖАЩИХСЯ В ОКРУЖАЮЩИХ ПОРОДАХ, ДЕЙСТВИЕМ ЦИРКУЛИРУЮЩИХ ВОД

## ОБЩЕЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Вода, просачивающаяся в почву и способствующая выветриванию пород, становится насыщенной небольшими количествами углекислых солей кальция, натрия, магния, калия, железа и прочих металлов, а также растворимой окиси кремния. Громадное большинство этой воды после кратковременного прохождения через зону окисления возвращается на поверхность в виде ключей и родников, и поверхностным стоком уносится в море. Небольшая часть этой воды глубже просачивается в землю и присоединяется к деятельности циркуляции, спускаясь по более мелким трещинам, с тем, чтобы по более крупным трещинам и другим протокам, вновь подняться к поверхности, или же становиться частью стоячих или почти стоячих грунтовых вод на более глубоких горизонтах, где количество ее постепенно уменьшается. По сравнению с глубиной проникновения грунтовых вод глубина окисления или разрушения пород в общем незначительна, и часть растворенного вещества, просачивающегося глубже вниз, также незначительна по сравнению с громадным количеством залагающих внизу пород. Поэтому нельзя ожидать, чтобы материал, приносимый из зоны выветривания, мог бы произвести очень значительные изменения в составе этих пород.

Тем не менее растворенные соли переносятся вниз из выветренной зоны и могут образовать в открытых пустотах отложения или же более или менее сложные замещения. В открытых пустотах окись кремния отлагается в качестве халцедона, опала или кварца; карбонат кальция может выполнять трещины или замещать силикаты, а известняк заменяется карбонатным железом. В изверженных породах могут развиваться хлорит, каолин и серцицит. Однако все эти изменения сопровождаются возобновленным растворением, и вопрос о том, ограничивается ли растворение лишь уравновешиванием отложения, является спорным. С другой стороны, воды, возвращаясь на поверхность после продолжительной циркуляции в большей или меньшей степени насыщенными растворенными солями, отлагают эти слои вследствие понижения температуры или вследствие реакции с другими поверхностными водами иного состава. Нако-

нец, значительное количество вод как из зоны активной циркуляции, так и из зоны относительно стоячих вод поглощается при гидратации, и этот простой процесс может иметь своим следствием образование рудных месторождений.

Месторождения, образующиеся в результате деятельности подземных вод метеорного происхождения, можно подразделить на следующие классы: 1) образующиеся из веществ, присутствующих в большом количестве в окружающих породах, например, магнезит, серпентин, сера (путем восстановления гипса), и некоторые виды гематита; и 2) образующиеся путем отложения более редких веществ, растворенных водой, из окружающих пород или пород, залегающих на большей глубине. В качестве примера второго класса можно упомянуть месторождения ванадия и меди в «Red Beds» (красноцветной толщи) западных штатов.

Нет никакого сомнения в том, что воды атмосферного происхождения способны растворять многие содержащиеся в породах более редкие металлы, переносить их на значительные расстояния и концентрировать в благоприятных для отложения участках; но эта способность, весьма вероятно, недостаточна для образования значительных месторождений редких металлов, если этому не способствует высокая температура, господствующая на значительной глубине от поверхности.

## СЕРА<sup>1</sup>

**Формы и условия залегания.** Самородная сера может образоваться в процессе протекания различных реакций. Окисление пирита иногда имеет своим следствием образование налетов серы, покрывающих пустоты, когда-то занятые ныне растворенными кристаллами. В кратерах вулканов, где по трещинам поднимаются серные газы, часто находят серу. Здесь ее присутствие является результатом реакции, имеющей место между двуокисью серы и сероводородом:  $H_2S + 2SO_2 = H_2SO_4 + 2S$ , или, что вероятнее, неполного окисления сероводорода,  $2H_2S + O_2 = 2H_2O + 2S$ , или же реакции  $3SO_2 + 2H_2O = 2H_2SO_4 + S$ . Обширное месторождение этого типа разрабатывается в руднике Abosanobogi, Hokkaido (Япония); оно представляет собою глинистые отложения на дне озера, являющегося старым кратером вулкана. Значительное количество этой серы Япония экспортирует в США. В Мексике, в кратере Попокатепетля имеется подобного же рода месторождение, которое в настоящее время предполагают использовать. В вулканах, расположенных в Чилийских и Аргентинских Андах, также встречаются месторождения этого типа.

Гораздо чаще серу находят близ активных или угасших горячих ключей в туфах или других соседних пористых породах, подобных вулканическим туфам. Образование этой серы очевидно является следствием неполного окисления сероводорода ( $H_2S$ ) кислородом или действия бактерий. Такие месторождения наблюдаются во многих местах Западных штатов, например в Cuprite, Esmeralda County, Nevada<sup>2</sup>; в руднике Rabbit Hole в Humboldt County, Nevada; в Sulphur Bank, California; в руднике Cove Creek, Beaver County, Utah<sup>3</sup>; и в Cody и Thermopolis, в Wyoming<sup>4</sup>.

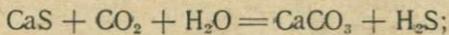
Из этих месторождений последние три эксплуатируются. В Wyoming сера местами замещает известняк, залегающий под travertinom или туфом. Все эти месторождения образуются близ поверхности и хотя не-

которые из них довольно продуктивны, они в общем не играют большой роли в мировой добыче.

Большая часть самородной серы не связана с вулканическими процессами или горячими источниками, а добывается из осадочных пород, находящихся в тесной ассоциации с гипсами и известняками. Вместе с серой находят кальцит, арагонит, барит, целестин, опал, реже кварц, вместе с газообразными и твердыми углеводородами. Эта ассоциация постоянна и характерна и повторяется почти во всех месторождениях гипса, хотя сера и не всегда присутствует в количествах, определяющих ее экономическое значение.

В качестве иллюстрации интересно познакомиться с буровым журналом (разведка производилась в Луизиане) из бюллетеней State Survey и отметить, сколь часто гипс сопровождается серой. Сера встречается в виде землистых или смолистых массивов и образует чечевицеобразные пласти, жилки и конкреции в мергеле, известняке и гипсе.

**Происхождение месторождений серы в гипсе.** Полагают, что сера образуется из гипса путем восстановливающего действия органических веществ через посредство сернистого кальция и сероводорода. В середине прошлого столетия Bischof впервые принялся за изучение этого вопроса<sup>5</sup>, он предполагает следующие реакции:



Сера, очевидно, часто образуется на глубине многих тысяч футов, а на такой глубине присутствие большого количества кислорода казалось бы невероятным. Выделяемый гипсом сероводород может воздействовать на углекислый кальций, вследствие чего образуются вторичный гипс и сера<sup>6</sup>. В настоящее время химики сомневаются, чтобы при обычной температуре сернокислый кальций мог восстанавливаться углеродом или каким-либо его соединением. Поэтому возможно, что сера происходит не из сернокислого кальция, а из вод, богатых  $\text{H}_2\text{S}$ , который в гипсовых пластах вступает в реакцию с кальцитом; однако это еще не объясняет того, что сера всегда связана с гипсом. Если точка зрения E. S. Bastin<sup>7</sup>, считающего, что анаэробные бактерии существуют в подземных водах, будет окончательно доказана, тогда придется согласиться, что такие бактерии могли вызвать восстановление гипса, как это и объяснено ниже.

Предметом широкой дискуссии являются месторождения Сицилии. A. von Lasaulx<sup>8</sup> считает, что они образовались в пресноводных озерах, в которые вливаются источники, содержащие  $\text{H}_2\text{S}$ . G. Spezia<sup>9</sup> выражает ту же самую точку зрения, предполагая, однако, что горячие источники отложили серу на дне морского бассейна, чем и объясняет присутствие целестина, образовавшегося под тем же воздействием.

Baldacci<sup>10</sup> считал, что отложение серы имело место в частично испарившемся морском бассейне, в котором или вблизи которого многочисленные грязевые вулканы, подобно сопкам Апшеронского полуострова (Каспий), выбросили большое количество углеводородов, вызвавших восстановление гипса до сернистого кальция.

Мысль о том, что Сицилийские месторождения серы чисто осадочного происхождения, не так давно была высказана O. Stutzer. Ярко выраженная слоистость пластов серы со встречающимся иногда косым напласто-

ванием, нахождение залегания в известняке, отсутствие серы в залегающем сверху гипсе и, наконец, присутствие пропластков глины, которые препятствовали бы свободной циркуляции воды, — все это используется Stutzer в качестве доказательства правоты его точки зрения (рис. 57). По его мнению, отложения осадочной серы могут образоваться в любом не имеющем протока бассейне, в котором присутствует сероводород. Этот газ может получиться от разложения организмов или путем восстановления растворенного сернокислого кальция углеродом или же углеводородом. Окисление сероводорода имеет место под влиянием кислорода воздуха или же при помощи бактерий. При разложении организмов многие



Рис. 57. Полосчатая серосодержащая порода из Сицилии

Половина натуральной величины. Черный цвет — сера; белый — кальцит; крапленый — известняк (по O. Stutzer).

ждение серы не может считаться доказанным; с другой стороны и действием бактерий нельзя объяснить существование прекрасно выкристаллизовавшегося целестина, барита и пр., которые мы встречаем в Сицилийских месторождениях серы. Присутствие эпигенетической серы во всех больших массивах гипса стольично, что ее происхождение путем непосредственного восстановления вряд ли может подвергаться сомнению. Казалось бы, что условия, господствующие в Черном море, должны быть благоприятны для отложений серы, однако глубокая разведка этого бассейна не обнаружила серы<sup>12</sup>.

**Примеры:** В странах, расположенных по берегам Средиземного моря, миоценовые и плиоценовые отложения чрезвычайно богаты серой, сопровождаемые отложениями гипса. Широко известные месторождения находятся в Сицилии. В течение многих лет они почти монопольно снабжали серой мировой рынок.

Осадочные породы Сицилии, представляющие собой частично морские, частично континентальные отложения, состоят из глин, покрытых диатомовыми и радиоляриевыми сланцами. Серосодержащие гипсонас-

бактерии восстанавливают сульфаты, вследствие чего образуется сероводород. Другие низшие виды организмов, так называемые серные бактерии, окисляют  $H_2S$  и концентрируют серу в своих клетках в виде мельчайших частиц. Окисление серы поддерживает жизнь организма, а образующаяся серная кислота превращается в сульфаты под действием карбонатов, поглощающиеся бактериями и необходимые для их жизнедеятельности. Серную бактерию находят в серных источниках и в илах морей и озер, в которых присутствует сероводород. Штуцер также упоминает о том, что воды во внутренних бассейнах, подобно Черному морю, содержат сероводород в количествах, все более увеличивающихся с глубиной. Выводы Штуцера подтверждает W. F. Hunt, подробно описывающий действие бактерий.

Как бы ни были интересны эти точки зрения, осадочное происхо-

ные отложения покрывают в свою очередь сланцы и занимают площадь почти в 800 км<sup>2</sup> и имеют мощность в среднем 300'; преобладающими породами являются гипс, известняк, соль, глина и песчаник. Сера залегает в 3 или 4 пластах, образующих ответвления по голубовато-серому известняку. Целестин встречается в количествах, представляющих промышленное значение, и вместе с серой, гипсом, кальцитом и, реже, баритом образует прекрасные кристаллы, покрывающие стенки пустот. Сырые сицилийские руды содержат от 8 до 25% серы.

Как уже сказано выше, сера обычно встречается в третичных породах и отложениях карбона, по побережью Louisiana и Texas<sup>13</sup>. В 1865 г. в Calcasieu на 230 миль к западу от Нового Орлеана (Louisiana) было открыто необычайно большое месторождение на глубине 443' под толщей третичных и меловых глин, песков и известняков. Бурение обна-

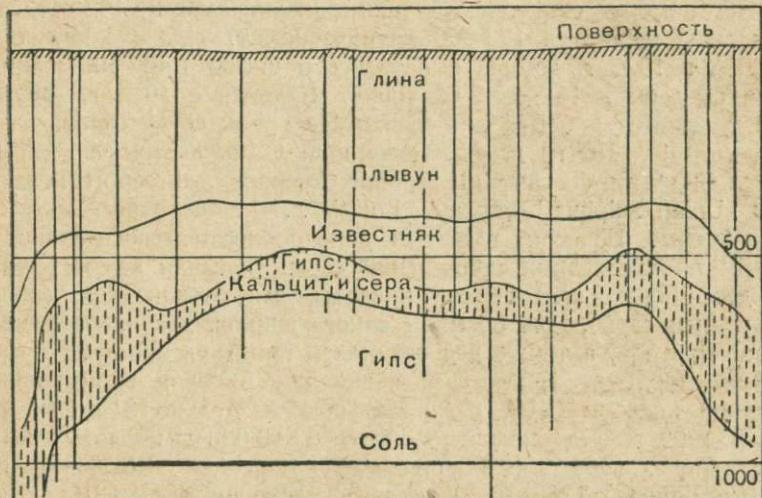


Рис. 58. Структурный разрез серосодержащей толщи района Calcasieu, Louisiana (по Kirby Thomas).

ружило массив почти чистой серы мощностью в 100', под которым залегает мощный пласт серосодержащего гипса (рис. 58). В ширину месторождение занимает площадь диаметром в 1/2 мили. В настоящее время стало совершенно ясным, что эти месторождения образовались в верхней части одного из больших соляных куполов побережья Gulf (см. рис. 34, также стр. 93). Эксплоатация этого месторождения в течение продолжительного периода времени задерживалась благодаря тем трудностям, которые представляет закладка шахты в плавунах. Позже, однако, это затруднение было преодолено в связи с изобретением процесса Frasch. В скважины диаметром 12" накачивается перегретая вода до залижи серы и последняя начинает расплавляться; сжатым горячим воздухом, одновременно накачиваемым в скважину, расплавленная масса серы аэрируется, т. е. образует как бы жидкую пульпу, что и способствует её поднятию на поверхность. В 1924 г. месторождение Calcasieu истощилось, дав рынку до 10 млн. т серы.

В настоящее время фирмы «Freeport Texas Company» и «Texas Gulf Company» ведут эксплоатацию трех пластов серы этого же типа близ устья реки Brazos<sup>14</sup>. Здесь пласти серы залегают под толщей гравия,

песка и глины мощностью в 760'; ниже, на глубину 150' залегают серо-содержащий известняк, гипс и доломит, содержащий от 10 до 50% серы. Под ним в свою очередь залегают гипс, известняк, песчаник и каменная соль. В общем этот вид месторождения весьма похож на те, которые мы видим в Луизиане.

**Продукция.** Ранее Сицилийские месторождения, производившие в общем около 450 тыс. метрических т в год, снабжали серой почти весь мир. Появившийся в 1901 г. процесс Frasch произвел полный переворот в условиях производства, и продукция США сразу повысилась до 200 000 длинных т; импорт соответственно снизился. В Mineral Resources мы найдем статью, представляющую собой интересное изложение условий рынка, явившихся как следствие изменения этих условий и той борьбы, которую пришлось выдержать итальянскому правительству, пытавшемуся притти на помощь сицилийским промышленникам. В 1926 г. добыча серы Сицилии равнялась 173 000 метрических т.

В США в 1925 г. добыча выразилась в цифре 1 409 000 длинных т. Цена на серу была 16 долл. за тонну. Начиная с 1916 г. серу почти перестали ввозить в США, а в настоящее время США снабжают серой почти весь мир. Почти все добываемое в США количество серы производится фирмами «Texas Gulf Sulphur Company», «Freeport Texas Company» и «Union Sulphur Company», Louisiana.

**Применение.** Не стоит вдаваться в подробности относительно многочисленных промышленных применений серы; большая ее часть используется для производства серной кислоты, для отбеливания (образованием двуокиси серы), для обсыпки виноградников, для изготовления пороха, спичек и пр., а также для резиновой промышленности.

**Серная кислота.** Перед самым началом мировой войны производство серной кислоты США равнялось приблизительно  $3\frac{1}{2}$  млн. коротких т. В 1905 г. было получено около 6 850 000 т кислоты ( $50^{\circ}$  Be). Из продукции за 1906 г. 40% произведено Испанией (Rio Tinto), 6% из канадского пирита, 13% из пиритовых месторождений США, 22% из отходящих газов пиритной плавки; таким образом, только 19% падает на самородную серу<sup>15</sup>. В настоящее время использование серы увеличивается.

Многие страны, в частности, Испания, Норвегия, Португалия, Франция, США, Италия и Германия (в том порядке, как они здесь перечислены), добывают ежегодно свыше 200 000 т пирита.

В США пиритовые руды добываются: 1) из месторождений пирита, в горах Appalachian от Alabama до Vermont; 2) из Калифорнийских месторождений пирита; 3) из месторождений пирротина в Виргинии, Теннесси и Мэйне; 4) из марказита, являющегося побочным продуктом угольных копей в штатах Illinois, Ohio, Indiana и Pennsylvania и 5) марказита, являющегося побочным продуктом цинковосвинцовых рудников в штатах Wisconsin и Illinois.

Продукция пирита в США в 1925 г. (включая сюда марказит и пирротин) равнялась 170 000 длинных т, из которых большая часть была добыта в Виргинии и Калифорнии. Пирит ввозился также из Quebec (Ontario) и из области Rio Tinto, в Испанию. На добыче и ввозе пирита весьма неблагоприятно отразился современный рост добычи серы. В 1926 г. добыча пирита в Испании равнялась 2 392 000 т.

«Пиритовые месторождения» принадлежат различным типам (см. вып. III); но помимо небольших количеств, доставляемых из месторождений, упо-

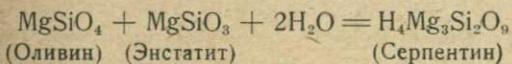
мянных в пп. 4 и 5, все они связаны с медно-колчеданными месторождениями высокотемпературной или средней зоны. Многие из месторождений рудного пояса Appalachian относятся к палеозойскому возрасту и в большей или меньшей степени динамометаморфизованы. Можно упомянуть месторождения пирротина в Ducktown, Tennessee в «Great Gos-san lead», Virginia; далее, пиритовые месторождения Louisa County, Virginia, образующие удлиненные линзы в кембрийском серицитовом сланце и в северном направлении переходящие в свинцово-цинковые месторождения. Другие месторождения докембрийского возраста находятся в St. Lawrence County, New-York. Серные руды содержат от 30 до 50% серы. Присутствие свинца, цинка, сурьмы и мышьяка весьма нежелательно. Отходы сернокислотной промышленности нередко используются в качестве медных и железных руд.

## МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

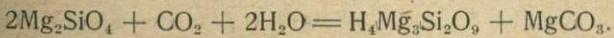
Магнезиальные силикатовые породы легко поддаются метаморфизму и дают многочисленные ценные продукты, среди которых упомянем серпентин, магнезит, морскую пенку, тальк, тальковый камень и асбест. Все они являются продуктами гидратации, часто под действием атмосферных вод перidotитов, пироксенитов или габбро близ поверхности или же на большой глубине при совместном влиянии давления. К последнему классу отчасти относятся тальк, тальковый камень и асбест.

### СЕРПЕНТИН-ЗМЕЕВИК<sup>18</sup>

Серпентины образуются путем простой гидратации пород, состоящих из энстатита и оливина, согласно следующему уравнению:



Он может также произойти из одного оливина с выведением некоторого количества магния в качестве карбоната:



Последнее уравнение, вероятно, представляет обычный процесс серпентинизации на незначительной глубине от поверхности. При окислительных условиях серпентин не стоец, хотя, конечно, изменение протекает весьма медленно и эрозия может протекать гораздо быстрее, чем разрушение.

Однако серпентин может образоваться в широком масштабе на большой глубине, т. е. там, где нельзя предполагать присутствие значительных количеств CO<sub>2</sub> по той причине, что такого рода изменение будет иметь своим следствием смешение серпентина с карбонатами, между тем как крупные массивы серпентина редко содержат примесь последних. В глубоких каньонах Сьерра Невады в Калифорнии можно ясно наблюдать, что в этом хребте серпентины не поверхностные, а залегают на глубине нескольких тысяч метров. Каким именно образом происходит такая сильная гидратация, пока еще не выяснено. Некоторые полагают, что она могла быть вызвана поднимающимися к поверхности термальными водами в постинтрузивную стадию.

Сerpентин обычно богат железом, так как первоначальные породы по своей чистоте неполностью соответствуют вышеприведенному уравнению; железо присутствует как в качестве силикатов, так и магнетита, а также и в хромите, представляющем собой характерный аксессорный минерал. Порода, не слишком разбитая трещинами, находит себе широкое применение в качестве строительного и декоративного камня. Для последней цели особенно ценятся маслянистые, зеленые, просвечивающие разновидности, образующиеся в кристаллическом известняке путем серпентинизации содержащегося в нем пироксена.

## МАГНЕЗИТ<sup>17</sup>

**Происхождение.** Магнезит ( $MgCO_3$ ) встречается в двух модификациях: 1) в виде криптокристаллического (часто называемого аморфным) землистого, твердого и компактного минерала, который, вероятно, является отвердевшим коллоидальным осадком. В конкреционной форме имеет раковистый излом, напоминающий излом неглазированного фарфора. Эта его форма является продуктом изменения серпентина или близких к нему магнезиальных пород, что можно видеть из уравнения  $H_4Mg_2Si_2O_9 + 3CO_2 = 3MgCO_3 + 2H_2O + 2SiO_2$ ; 2) в виде кристаллического минерала, изоморфного по кальциту и обычно идиоморфно-зернистого. В этой форме он обычно является замещением доломита, осуществленным магнезиальными растворами, связанными с интрузиями<sup>18</sup>. Иногда присутствует бруцит  $[Mg(OH)_2]$ .

**Месторождения.** Аморфный магнезит нередко встречается в полосе развития серпентинов в трещинах или зонах раздробления или же в неправильной формы массивах вместе с большим или меньшим количеством серпентина и некоторым количеством опала и халцедона. Он часто бывает довольно чист; содержит лишь незначительные примеси железа, глинозема и извести и несколько процентов свободного кремнезема. Ряд мелких месторождений магнезита находится в прибрежных хребтах Калифорнии. Ввиду отдаленности рынка восточных штатов до последнего времени продукция здесь была невелика. Подобного же рода, но обширные месторождения эксплуатируются на побережье Евбœа (Греция)<sup>19</sup>; ежегодная добыча составляет здесь 134 000 т. Месторождения имеются также в Salem, близ Мадраса в Индии и в Трансваале и во многих других странах, где большое распространение имеют серпентиноидные породы. Магнезит не всегда сопровождает серпентин, однако можно думать, что некоторое отношение к его генезису имеют восходящие источники (обычные для Калифорнии), содержащие значительное количество  $CO_2$ .

Обширнейшие в мире месторождения магнезита находятся в Veitsch, Штирия<sup>20</sup> (Австрия), где в 1914 г. было добыто открытыми разработками около 300 000 метрических т. Кристаллический магнезит этих месторождений представляет собою замещение доломита, обусловленное влиянием интрузии порфира и других кислых и основных пород. Хотя австрийский магнезит достаточно чист и доброкачественен, он все же содержит несколько процентов железа, что делает его особенно пригодным для производства подовых набивок печей и изготовления огнеупорного кирпича. В 1916 г. близ Chewelah (штат Washington) было открыто обширное месторождение магнезита, обещающее удовлетворять потребность США. Подобно месторождениям Штирии оно представляет собою замещение доломита (карбон) близ гранита. Местами руда содержит небольшое ко-

личество кремнезема, извести и железа. Несколько лет назад месторождения, весьма подобные вышеописанным, были найдены в Grenville (Quebec); в настоящее время они уже эксплуатируются. Здесь магнезит содержит несколько процентов извести и очень мало железа (рис. 59). Обширные месторождения магнезита найдены в Манчжурии<sup>22</sup> в докембрийских сланцах. Генезис их еще не выяснен.

**Продукция и использование.** В 1925 г. продукция сырого магнезита в США составляла 120 660 т по цене 10—14 долл. за тонну. В том же году было ввезено 487 000 сырого и 68 400 т обожженного магнезита. В США также было добыто значительное количество доломита, идущего преимущественно в качестве огнеупора.  $\text{CO}_2$  выделяется из магнезита при температуре 550° С, поэтому для производства этого газа этот минерал предпочтительнее кальциту. Оставшийся после обжига материал используется в производстве различных магниевых солей, а также в писчебумажной и сахарной промышленности. Большое его количество вместе с хлористым магнием используется для так называемого цемента Сорэлья, употребляющегося для настилки полов и пр. Наибольшее значение имеет его применение в качестве основной набивки при процессе Томасса. До последнего времени магнезит для этой цели ввозился из Штирии. От магнезита, идущего на изготовление кирпича, требуется содержание нескольких процентов  $\text{FeO}$  и небольшого процента  $\text{CaO}$ ; содержание  $\text{CaO}$  не должно превышать 8%<sup>23</sup>.

Магнезит служит также в качестве руды для получения металлического магния; вследствие своего низкого уд. веса (1,74) последний в настоящее время употребляется в сплавах с алюминием и другими металлами. Восстановление производится путем обработки в электрической печи изготовленного из магнезита хлористого соединения. Естественно, что наилучшей рудой для этой цели является карналлит ( $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ ) из соляных пластов Stassfurt (стр. 94). В 1925 г. производство металлического магния в США составляет 25 000 англ. фунтов при цене 0,86 долл. за фунт (в чушках).



Рис. 59. Шлиф гренвильского магнезит-доломита: Темный цвет — магнезит; светлый — доломит; черные пятнышки — серпентин. Увеличение в 2× (по E. Wilscn),

#### МОРСКАЯ ПЕНКА<sup>24</sup>

Морская пенка, или сепиолит ( $\text{H}_4\text{Mg}_2\text{Si}_8\text{O}_{10}$ ), содержащий  $\text{SiO}_2$  — 60,8%;  $\text{MgO}$  — 27,1%;  $\text{H}_2\text{O}$  — 12,1%, представляет собой водный сили-

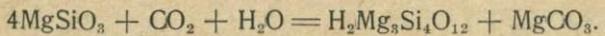
кат окиси магния с вязкой компактной структурой белого или кремового цвета и гладкий наощущ. Он широко применяется, что хорошо известно, для изготовления трубок и мундштуков. В его анализах обычно обнаруживается небольшое количество железа, глинозема и извести. Он, вероятно, произошел из серпентина путем медленной гидратации и в большинстве случаев является коллоидальным осадком. Наиболее известные месторождения находятся в Малой Азии, в Eski-Shehr, где он залегает в виде желвачных масс близ поверхности. Здесь, так же как и в других местах, как, например, в Крыму и Боснии, близ месторождений пенки присутствуют серпентиновые породы, хотя сам материал залегает в четвертичных и третичных отложениях. Несколько иной тип месторождения открыт в Новой Мексике<sup>25</sup> на р. Gila, где пенка образует жилы и мелкие гнезда в палеозойских, облачно-кварцевых известняках. Образование сепиолита здесь очевидно связано с доломитизацией.

## ТАЛЬК И ТАЛЬКОВЫЙ КАМЕНЬ<sup>26</sup>

**Общие условия залегания и происхождение.** Тальк  $[H_2Mg_3(SiO_3)_4]$ , или  $3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$ ; 63,5 SiO<sub>2</sub>; 31,7 MgO; 4,8 H<sub>2</sub>O, представляет собою водный силикат магния и содержит воду в гораздо меньшем количестве, чем серпентин. Это — мягкий, кристаллический, слоистый или компактный минерал белого, серого или светлозеленого цвета и жирный наощущ. Более компактные, а также и менее чистые разновидности обычно называются мыльным камнем; в нем могут встречаться куски хлорита и других железо-магнезиальных минералов, подобных энстатиту и амфиболу.

Тальк часто содержит 1 или 2% железа и алюминия, а также небольшое количество кальция. Согласно анализу Merrill<sup>27</sup> тальковый камень содержит, кроме кремнезема и окиси магния, от 5 до 11% глинозема, от 7 до 13% закисного железа и от 1 до 4% извести; иногда тальковый камень содержит такое большое количество воды, что приходится предполагать значительную примесь серпентина. В тальке часто присутствуют следы никеля и хрома. Искусственное производство талька не удается.

Путем сплавления тальк можно превратить в энстатит ( $MgSiO_3$ ); из этой формулы видно также, что это соединение представляет основу талька. Тальк образует псевдоморфы по многим минералам, например, энстатиту, диопсиду, оливину, актинолиту, роговой обманке, флюориту, эпидоту, мусковиту и кальциту. Весьма нередко он является продуктом гидратации магнезиальных пород: таких, как габбро, пироксенит и перидотит, или кристаллического известняка, содержащего пиromетасоматические минералы, как энстатит, tremolит или актинолит. Все месторождения наиболее чистого талька связаны с такими метаморфизованными известняками или доломитами. Тальк может образоваться из всякого магнезиального амфибала или пироксена, если на последние будут воздействовать H<sub>2</sub>O и C<sub>2</sub>O по следующей формуле:



Если присутствует железо или кальций, то образуются соответствующие карбонаты. Повидимому, растворы, действующие близ контактов интрузивных пород, обладали чрезвычайно сильной способностью произвести это изменение, и наилучшие условия представляются умеренно высокой

температурой. Непосредственное происхождение из доломита под влиянием кремнистых магматических испарений Wilson приписывает некоторым месторождениям в грэнвильском известняке (Онтарио) (рис. 60). Таким образом, тальк является продуктом позднейших стадий пирометасоматизма; окись магния, по крайней мере, преимущественно заимствуется из пород, в которых тальк залегает.

Возможно, что тальк может также образоваться при процессах динамометаморфизма и, быть может, также отчасти под действием глубоких подземных вод, но все наиболее значительные месторождения образо-

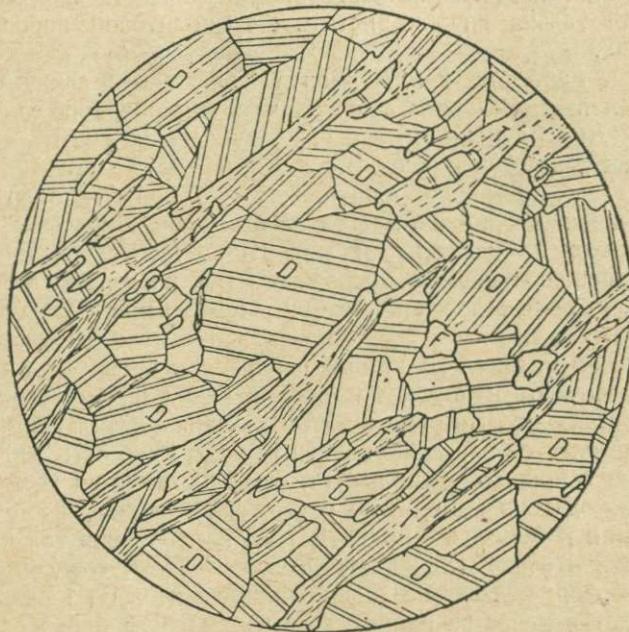


Рис. 60. Зарисовка шлифа тальково-доломитового сланца.  
Т—тальк, D—доломит, Q—кварц, F—полевой шпат. Увеличение в 6,6×  
(по M. E. Wilson).

вались путем вышеописанного процесса. В обычных рудных месторождениях тальк встречается весьма редко.

В своем описании тальковых месторождений в Австрийских Альпах E. Weinschenk<sup>28</sup> высказывает мысль, что минерал развивается путем замещения сланца, состоящего из кварца, хлорита, хлоритоида и графита по контакту с известняком. Он считает, что это превращение следует приписать действию вод, сопровождающих интрузии. Heim<sup>29</sup> с своей стороны полагает, что некоторые тальковые месторождения в Швейцарии образовались из перидотита и серпентинов под влиянием сильных динамометаморфических воздействий.

**Месторождения.** В США месторождения талька имеются на Тихоокеанском побережье, но большинство продукции поступает из месторождений, приуроченных к поясу древних кристаллических пород, образующих ось системы Апалачских гор от Канады до Алабамы.

Тальком богата Северная Каролина. В полосе распространения кем-

брейского мрамора, залегающего по долине Nantahala и Nottely River<sup>30</sup>, имеются линзы длиною до 300' и мощностью до 50'; эксплоатация производится открытыми разработками, а также помощью шахт и штолен.

По продукции талька штаты Нью-Йорка и Вермонт побивают все остальные. В штате Нью-Йорк руда поступает из небольшого округа, расположенного на 12 миль к юго-востоку от Governeur<sup>31</sup>; это месторождение уже много лет разрабатывается открытыми выработками. Один из рудников в Talcville достигает глубины 550'. Руда залегает в сланцевых слоях энстатита-трэмолита, постепенно переходя в окружающий кристаллический известняк. Месторождение представляет собою непрерывный слой талька внутри энстатито-трэмолитовой породы, шириной в среднем 20'.

Тальковые месторождения Вермонта<sup>32</sup> залегают в серицитовом гнейсе или в серпентине. Gillson<sup>33</sup> считает, что они более позднего происхождения нежели серпентин и подобные ему основные интрузии палеозойского возраста, залегающие от Blandford (Mass) до Quebec. Ассоциация минералов везде, примерно, одинаковая. По порядку отложения минералы следующие: актинолит, магнезиальный хлорит, железистый доломит, тальк и, наконец, магнетит и пирротин. Месторождения относятся к типу замещения эманациями основных магм, но вряд ли можно считать доказанным, что вся содержащаяся окись магния имеет своим источником эти эманации.

Большинство талькового камня, производимого в США идет из Virginia. Его добывают в поясе, имеющем в длину почти 30 миль и менее одной мили в ширину. По описанию T. L. Watson<sup>34</sup> тальковый камень залегает в виде пластов или дайкообразных масс, мощность 100 и более футов, согласно с пропластками кварцитовых сланцев, но весьма вероятно, что он происходит из какой-либо изверженной породы.

**Продукция и использование.** В 1925 г. продукция талька США равнялась приблизительно 182 000 т. Большая часть его сбывалась в порошковидной форме. Цена на тальк — приблизительно 12 долл. за тонну.

Тальк идет в качестве наполнителя в бумажном производстве (между прочим обои); также в качестве примеси или замены красителей; на производство теплоизоляторов, смазывающих веществ, порошка для полировки, для туалетных пудр и в качестве поглотителя в производстве нитроглицерина. Компактный тальк, или тальковый камень используется для изготовления огнеупорного кирпича, лабораторных столов, газовых горелок, мелков и пр.<sup>35</sup>.

## АСБЕСТ<sup>36</sup>

**Амфибол-асбест.** То, что в минералогии называется асбестом, есть не что иное, как моноклинный амфибол, разбивающийся в виде пропластков или волокон в нормальных амфиболовых породах, в особенности там, где эти породы подверглись давлению и смещению. Химически он представляет собою метасиликат кальция и магния. Согласно дающемуся Merrill ряду анализов, содержание кремнезема варьирует от 52 до 58%, известия от 12 до 16% и окиси магния от 20 до 30%. Другими компонентами являются глинозем, содержание которого колеблется от 1 до 6%, и закисное железо, обычно в пределах 1—6%, хотя в некоторых случаях и выше. Неизменно присутствует вода, количество которой варьирует от 2 до 5%. Повидимому, вода является непременным компо-

нентом, и минерал в сущности является водной разновидностью tremolита или актинолита. Однако углы угасания характерны для амфиболя (т. е. примерно 18°).

Антофиллит [ромбический  $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{SiO}_3$ ] и крокидолит [моноклинный,  $\text{NaFe}(\text{SiO}_3)_2, \text{FeSiO}_3$ ] — темносиний натриевый амфибол — также дают асbestовидные разновидности. Merrill установил, что очертание волокон полигонально, и что они суживаются в игловидные острия; до диаметра 0,002 или 0,001 мм волокна сохраняют свой однообразный диаметр и полигональные очертания. Цвет амфиболового асbestа обычно белый или зеленовато-белый. Используются только самые лучшие сорта, но даже



Рис. 61. Хризотил (а) и амфибол (б)-асbest (по J. S. Diller).

и последние более хрупки, чем хризотил-асbest. Минерал классифицируется по расположению, занимаемому волокнами в жилах, на поперечный и продольный. Радиальные или искривленные структуры называются mass-fiber.

В США асbest добывается в незначительном количестве. Большинство представляет собою антофиллит.

В Аппалачских горах на их протяжении от Vermont до Alabama имеются многочисленные месторождения. Одна из наиболее известных местностей, где производится разработка — это Habersham County Georgia, где, согласно Hopkins<sup>37</sup>, антофиллитовый асbest образовался путем изменения перidotита. Добыча в США почти полностью идет из штата Georgia; это, преимущественно, разновидность «mass-fiber».

Крокидолит<sup>38</sup>-асbest весьма интенсивно разрабатывается в Griguiland West (Канская колония). Встречается он в виде тонких прослоек

поперечного волокна с пропластками яшмы, плотного сланца и железняка в осадочных свитах. Происхождение его неясно. Если проводить аналогию с глаукофаном, то этот вид асбеста можно считать продуктом метаморфизма, хотя Hall особенно сильно настаивает на полном исключении гипотезы контактового метаморфизма. Бурая окремненная разновидность используется в качестве драгоценного камня под названием «тигрового глаза». Амозит представляет собою подобного же рода амфибол, наименование которому было дано Hall; он содержит больше закисного железа и меньше натрия и окиси магния.

**Серпентин (хризотил)-асбест.** Хризотил-асбест зеленый или желтовато-зеленый легко разделяется на волокна до белого пуха. Волокно короткое, но весьма равномерного диаметра, легко отделяется и очень гибкое. От амфибол-асбеста он отличается тем, что разлагается соляной кислотой. По составу почти идентичен с более чистыми сортами серпентина. Типичные анализы канадского хризотил-асбеста представляют следующее: 42% кремнезема, 42% окиси магния, 14% воды, 1% закисного железа и 1,7% глинозема. Рис. 61 представляет две разновидности асбеста.

Хризотил-асбест располагается в виде жилок в серпентине и перидотите и волокна в них почти всегда поперечные, т. е. шелковистые волокна лежат перпендикулярно плоскостям жилок и толщина их не превышает 6". Чистый, желтовато-зеленый серпентин, встречающийся в контакто-метаморфическом известняке и являющийся продуктом изменения диопсида, иногда содержит хризотил необычайно высокого качества. В настоящее время месторождение такого типа эксплуатируется в Аризоне к северо-востоку от Globe<sup>39</sup>.

Жилы хризотил-асбеста можно встретить почти во всех местностях, сложенных из серпентина, но они редко достаточно велики, чтобы представлять экономическое значение. На их генезис имеется несколько точек зрения. Dresser установил что серпентинизация Канадских месторождений протекала по неправильным трещинам в перидотитах, и прожилки ризотила локализуются в центре серпентинизированных поясов. Pratt и Merrill объясняют происхождение хризотила как выполнение трещин, образовавшихся при сокращении пород (контракционные), но другие авторы, вероятно, более правы, рассматривая их как результат перекристаллизации серпентина, прогрессирующей от центра к периферии. По краям часто наблюдаются признаки замещения.

В заключение следует сказать, что асбестоидные минералы, обычно, образуются под действием вод из более старых магнезиальных минералов при условиях довольно высокой температуры, и нередко, казалось бы, их образование имеет место вскоре после интрузии первоначальных пород.

S. Taber<sup>40</sup> полагает, что все жилы с поперечными волокнами образуются процессами бокового привноса, причем волокна снабжаются пересыщенным раствором у своего основания, и растущие жилы раздвигают вмещающие их стенки. Однако, если принять во внимание, что материал, из которого образуются жилки хризотила, берется из самого серпентина, становится совершенно непонятным почему объем должен увеличиваться.

Начиная с 1895 г. США снабжаются канадскими рудниками. Канадские месторождения<sup>41</sup> концентрируются вокруг Asbestos Hill, в Thetford, в восточных округах Quebec. Как сказано выше, минерал залегает в виде неправильной формы жил в серпентине и перидотите. Эти породы местами сопровождаются несколько поздними габбро и гранитом

и все они представляют собою интрузивы в ордовических породах. Месторождение эксплоатируется преимущественно открытыми разработками. Одна из таких разработок, например, имеет в длину 700', в ширину — 200 и достигает наибольшей глубины 165'. Незначительное количество асбеста получается путем разбивки породы вручную, но большая часть (от 30 до 60%) добываемого материала дробится и грохочется, и волокна отделяются при помощи воздушной сепарации<sup>42</sup>. Выход волокна из обработанной породы от 6 до 10%.

За последние годы приобретают большое значение месторождения в Южной Родезии (район Bulawayo), а также в Трансваале (район Vryburgton). Другими асбестодобывающими районами являются: Урал, Италия и остров Кипр. В США<sup>43</sup> месторождения хризотила, представляющие экономическое значение, имеются в Вермонте близ Casparg, Wyoming и в Аризоне. До настоящего времени продукция этих месторождений не значительна.

**Использование.** «Основными свойствами асбеста, обусловливающими его использование, являются его гибкость и волокнистая структура, но не меньшее значение представляет также его несгораемость и низкая тепло-электропроводность, в тех случаях, когда масса асбеста волокниста и пориста». В США из канадского сырья прядут и ткут огнестойкую ткань. Наивысший сорт сырья дорог. Цены на него колеблются между 275 и 400 долл. за тонну, мелочь расценивается 25—125 долл. за тонну, а смесь серпентина с асбестом — 1 долл. за тонну и даже меньше. Амфиболовый асбест гораздо дешевле; он стоит от 10 до 18 долл. за тонну. Крокидолит легче сплавляется, но более стоек в отношении кислот и морской воды, чем хризотил. В Лондоне цена на асбест, примерно, 10 долл. за тонну.

За 1925 г. канадская продукция составляла 216 907 т; почти все это количество было вывезено в США. За тот же год продукция США выразилась в 93 т хризотил-асбеста из Аризоны, который расценивается по 400 долл. за тонну и 1 165 т амфибол-асбеста, по цене, примерно, 10 долл. за тонну.

## СИЛИКАТЫ АЛЮМИНИЯ

**Пирофиллит**<sup>44</sup>. Пирофиллит представляет собой водный силикат алюминия  $[H_2Al_2(SiO_3)_4]$  содержащий 66,7% кремнезема, 28,3% глинозема и 5,0% воды. По составу и физическим свойствам он походит на тальк, но цена его ниже, чем лучшие сорта последнего. Он добывается в районе Deep River (Северная Каролина), где залегает в мощных пластах среди сланцевых эфузивных пород докембрийского возраста. Полагают, что минерал представляет собою продукт замещения термальными водами кварца и силикатов, и источником глинозема являются окружающие породы.

**Безводные силикаты алюминия.** Андалузит, силлиманит и кианит с составом  $Al_2SiO_5$  (63%  $Al_2O_3$ ) представляют собою продукты высокотемпературного метаморфизма осадочных пород. За последние несколько лет месторождения их начали использоваться в качестве оgneупоров, а также и для производства автомобильных и прочих свечей. Эти минералы редко встречаются крупными массивами, хотя в рассеянном виде они весьма распространены. Крупные месторождения андалузита не так

давно были найдены в докембрийских породах хребта Ingo (Калифорния) <sup>45</sup>.

В настоящее время в США производится в электрических печах искусственный силлиманит, называемый муллитом ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 - 2\text{SiO}_2$ ).

**Алунит.** Об алуните  $[\text{K}(\text{AlOH})_3 \cdot (\text{SO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}]$  уже упоминалось на стр. 97. Он используется для изготовления калиевых и алюминиевых солей и является продуктом гидротермальных растворов или нисходящих поверхностных вод, действующих на алюминиевые и калиевые породы при относительно высокой температуре.

## БАРИТ <sup>46</sup>

**Формы и условия залегания.** Барит (сернокислый барий, известный также под названием «тяжелого шпата») содержит в чистом виде 65,7 BaO и 34,3 SO<sub>3</sub>. Сплавляется при температуре 1580° С. Обычно белого цвета крупнокристаллический, с изогнутыми плоскостями спайности, но встречается также, в особенности в месторождениях восточных штатов, с зернистой, землистой и волокнистой структурами. Многие бариты содержат от доли до нескольких процентов сернокислого стронция. Часто добываемый материал почти совершенно чист, исключая небольших количеств кремнезема, кальцита, гипса, каолина и водных окислов железа.

**Витерит** (углекислый барий) встречается гораздо реже, главным образом, в баритовых жилах вместе с галенитом. В таких жилах он встречается в довольно большом количестве в Англии (Cumberland и Northumberland), в частности, в каменноугольных копях New Brancepath, в виде минерала вторичного по бариту.

Барит не является минералом изверженных пород и не встречается в контактово-метаморфических месторождениях. Однако довольно часто его находят почти во всех типах пород в виде линз и жил. Он также образуется в процессе отложений осадков. В общем, это — минерал водного генезиса.

Все изверженные породы содержат по крайней мере следы окиси бария, но редко в количестве превышающем 0,1%. Этим металлом особенно богаты лейцитовые и анальцимовые породы из провинций Wyoming-Montana; некоторые анализы показывают от 0,5 до 1,2% BaO, который, вероятно, присутствует в фельдшпатидах в качестве силиката. Граниты, риолиты, андезиты и базальты содержат весьма малое количество бария. В более концентрированном виде барий часто присутствует во многих осадках, хотя редко в известняке. Ордовикские известняки Миссури, как утверждает Stell, содержат всего 0,001—0,005% BaO. Dickson <sup>47</sup> вовсе не находит его во многих известняках. В своей «Геохимии» F. W. Clarke не упоминает об его присутствии ни в одном из отдельных или сводных анализов известняка. Некоторые песчаники содержат барит; его также находят в глинистых сланцах вместе с осадочными марганцевыми рудами (стр. 62). Морская вода содержит следы бария и стронция и многие естественные воды, в особенности, соляные рассолы, содержат совсем небольшие количества бария в растворе в качестве хлористого или углекислого соединения. На стр. 41—60, вып. I, упоминается много случаев отложения бария горячими источниками или нормальными метеорными водами.

Барит растворим в воде в пределах 2,7 мм/л при температуре 18° С.

Его растворимость иногда выше в водах, содержащих щелочные карбонаты и хлориды, но в этом случае, вероятно, происходит разложение.

Барит является самым обычным жильным минералом во многих рудных месторождениях, но здесь он почти никогда не представляет экономического значения. Во многих случаях он, вероятно, растворен из пород, по которым проходят поднимающиеся к поверхности растворы. В эксплуатируемых месторождениях барита редко присутствуют другие минералы; эти месторождения залегают в осадочных породах всех возрастов в виде жил или линз, ширина которых 10 и даже 50'. Иногда вместе с баритом присутствует незначительное количество кварца, пирита, флюорита, галенита и сфалерита.

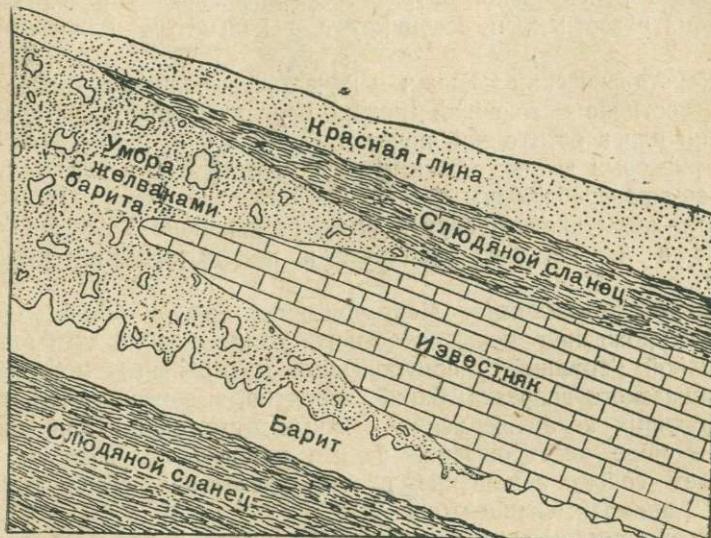


Рис. 62. Рудник Bennett, Virginia. Разрез, иллюстрирующий условия залегания барита в форме остаточного и замещенного месторождения (по J. L. Watson).

Большая часть добываемого в США барита представляет собою остаточный минерал, образующий гнезда в глинах, остающихся после разрушения известняка или других породах, содержащих жилы барита.

**Месторождения в США.** Эксплуатируемые в настоящее время месторождения барита залегают преимущественно в палеозойских известняках в южных Appalachian в Центральных штатах, как-то: Georgia, Missouri, Tennessee, Kentucky и Virginia.

В Missouri барит часто сопровождает месторождения цинка и свинца, но месторождения, имеющие большое экономическое значение, расположены самостоятельно в районе Вашингтон, в юго-восточном Missouri<sup>48</sup>, а также недалеко от больших свинцовых рудников в доломите Bonneterre (кембрий) (стр. 205). Самые известные месторождения находятся в доломитах Potosi, Proctor и Gasconade (ордовические) в качестве выполнений неправильной формы жил и других открытых пустот. Steel дает следующий порядок отложения: сначала отложился легкий налет хальцедона; затем последовали кварц, пирит и марказит, позже галенит и цинковая обманка; позже всех отложился барит. Местами на барите наблюдается

более поздний налет рубиново-красного сфалерита. Добываемый барит заключается в остаточных массах красных глин, покрывающих доломитовые формации.

В Георгии бариты залегают в области Cartersville<sup>49</sup>, они отложились из растворов в трещинах и пустотах кварцита Weisner в тесной ассоциации с желтой охрой, а также и в виде обломков, включенных в остаточные глины. Месторождения барита в Виргинии описаны Т. Л. Watson<sup>50</sup>. Для всей области характерно глубокое выветривание пород. Барит отчасти выполняет трещины, отчасти замещает известняк. Он встречается:

1. В кристаллических кембрийских или докембрийских известняках в виде неправильной формы чечевицевидных жил или карманов, замещающих известняк, и ассоциирует с кальцитом и халькопиритом (рис. 62).

2. В кристаллических сланцах в качестве выполнения трещин.

3. В известняке Shenandoah (кембро-ордовикский) в форме выполнения трещин или в остаточной почве.

4. В триасовых глинистых сланцах и известняках в виде выполнения трещин зоны раздробления.

Большие жилы чистого барита имеются в районе Ketchican<sup>51</sup> и близ Wrangell<sup>52</sup> в Аляске. Они залегают в кристаллических известняках и сланцах.

**Другие месторождения.** Месторождения барита обычны для всех стран. Месторождения исключительного размера и чистоты имеются в центральной Германии<sup>53</sup>, приуроченные к осадочным породам пермского и триасового возраста. Барий, вероятно, выщелачивается из рассолов, залегающих внизу пермских соляных отложений. Одно из самых больших в мире месторождений барита находится в Meggen, где оно представляет собою замещение пласта известняка среди складчатых девонских глинистых сланцев (рис. 20).

**Происхождение.** Барит частично образуется в процессе отложения осадков, но наиболее значительные месторождения являются или остаточными массами, образовавшимися в процессе выветривания пород, содержащих барит, или жилами, отлагающимися восходящими термальными водами. Во втором случае барит вынесен эманациями интрузий и встречается преимущественно в мезотермальных и эпимеральных жилах. Баритовые жилы могли образоваться путем выщелачивания барийсодержащих пород или путем реакции соляных растворов, содержащих углекислый или хлористый барий с другими водами, содержащими преимущественно сернокислый натрий или кальций.

**Использование и продукция.** Барит используется в качестве красителя в производстве смешанных красок (литопон, барит и сернистый цинк), а также и для придания веса бумаге. Он представляет собою сырье, из которого добываются другие соли бария, как, например, азотнокислый барий, используемый в пиротехнике. Для большинства производственных процессов барит должен быть непременно чистым и белым. Сырой материал дробится и промывается в лог-вощерах и отсадочных машинах. После измельчения пульпа поступает в классификаторы и отстоявшийся шпат кремового цвета обрабатывается серной кислотой для удаления окрашивающего его гидрата закиси железа<sup>54</sup>. В 1925 г. продукция в Америке равнялась 228 000 т; это количество было получено от многочисленных мелких предприятий в Missouri, Virginia, Kentucky,

Северной Каролине и Tennessee. Ежегодно Америка ввозит 50 000 т барита, преимущественно из Англии и Германии. Средняя цена на барит была 7,50 долл. за тонну.

## ЦЕЛЕСТИН И СТРОНЦИАНИТ<sup>55</sup>

**Условия залегания.** Стронций сопровождает барий в качестве первичного компонента изверженных пород, но присутствует в значительно меньших количествах. В форме целестина ( $\text{SrSO}_4$ ) и стронцианита ( $\text{SrCO}_3$ ) его иногда находят в трещинных жилах гидротермального происхождения, но как тот, так и другой минерал гораздо чаще встречаются в виде жил желваков и слоев в осадочных породах, в особенности в известняке.

Целестин находят в виде кристаллов или зернистых скоплений, часто голубоватой окраски, иногда темной или буроватой. Обычно, хотя и не всегда, он содержит  $\text{BaSO}_4$ . Стронцианит кристаллический, мелкозернистый, волокнистый или желваковый, окраска его белая, буроватая или темная. Его нередко принимают за кальцит, в действительности он всегда содержит несколько процентов  $\text{CaCO}_3$ .

В виде жеодов, жил, вкраложений и замещений целестин встречается в палеозойских доломитах и известняках Michigan<sup>56</sup>, New-York<sup>57</sup> и Ohio. По имеющимся сведениям, в одной из пещер Put in Bay было добыто до 150 т целестина. Возможно, что некоторое экономическое значение представляют месторождения в ломках известняка в северо-западном и в юго-восточном Michigan, близ Toledo, также в Bagot, Ontario (Канада). Целестин встречается также в меловых известняках Texas<sup>58</sup>, близ Austin. Интересные месторождения целестина недавно открыты в третичных озерных отложениях в Аризоне<sup>59</sup> близ Gila Bend, где этот минерал залегает в песчанике и глинистом сланце вместе с гипсом и солью; такие же пластины имеются в горах Awavatz, в южном конце Death Valley (Долина Смерти).

Стронцианит представляет второстепенное значение. Месторождения стронцианита в миоценовых озерных отложениях на 10 миль южнее Barstow<sup>60</sup> (San. Bernardino County) описываются А. Кнорр, который полагает, что пластины, жилы и волокнистые конкреции представляют здесь замещения лакустринового известняка. Во всех этих месторождениях рудное сырье низкого качества. В 1916 г. в США было добыто 250 т стронциевой руды, в 1917 г. добыча возросла до 4 035 коротких т. За последние годы добыча не производится. Ежегодно ввозится до 2 000 т стронциевой руды и химикалий. Сырой целестин расценивается приблизительно 8 долл. за тонну.

В течение многих лет большая часть стронция поступала из жил стронцианита, залегающих в меловом мергеле и известняке Вестфалии (Германия). Его сопровождают кальцит и незначительное количество пирита<sup>61</sup>.

До войны большинство употреблявшегося в США стронция шло из Англии. Обширные месторождения целестина имеются близ Бристоля, где минерал встречается в виде линз и жил, залегающих в триасском мергеле и в нижних породах<sup>62</sup>.

Целестин также, подобно бариту, концентрируется во время процесса образования серы из гипса, как говорилось выше (раздел «Сера»); его довольно много в Сицилийских месторождениях серы. Промышленный целестин должен содержать не менее 95%  $\text{SrSO}_4$ .

Стронций используется преимущественно для очистки сахара, в так называемом процессе Шейнблера, в котором для извлечения сахара из свекловичной патоки пользуются водной окисью стронция. Азотнокислое его соединение употребляется при изготовлении красного фейерверка.

**Генезис.** Совершенно очевидно, что как целестин, так и стронцианит концентрируются метеорными водами, вероятно, из соседних пород, так как этот процесс часто наблюдается в различного рода осадках. Ясно также, что эти же минералы встречаются также в жилах, связанных с сульфидами и золотом (например, Cripple Creek); в этих случаях они, более вероятно, произошли из магматических эманаций.

## МЕДНЫЕ, СВИНЦОВЫЕ, ВАНАДИЕВЫЕ И УРАНОВЫЕ РУДЫ В ПЕСЧАНИКАХ И ГЛИНИСТЫХ СЛАНЦАХ

**Общий характер.** Медные, свинцовые, ванадиевые и урановые руды часто встречаются в виде рассеянных вкраплений в песчаниках и глинистых сланцах в отдалении от изверженных пород. Осадочные породы, в которых содержатся эти руды, обычно являются частью мощного ряда терригеновых или мелководных осадков, обычно красноватого цвета. Эти низкопроцентные руды могут использоваться лишь в случае крайней нужды. Тем не менее этот тип месторождений обладает чрезвычайно интересными особенностями.

Рудными минералами являются халькозин, роскоэлит (ванадиевая слюда), различные соединения меди и свинца с ванадием, карнотит (соединение ванадия с ураном) и пр. Реже встречаются борнит, халькопирит, галенит и пирит. Руды нередко содержат небольшое количество серебра, никеля, кобальта, хрома, молибдена и селена. Жильных минералов мало; они обычно ограничиваются небольшими количествами барита, кальцита и гипса. Обнажения часто ярко окрашены присутствием малахита и азурита. Хотя этого рода месторождения и встречаются только в определенных формациях, или свитах, они не придерживаются какого-либо определенного горизонта, и признаки осадочного происхождения в них отсутствуют. Их часто находят в разломанных и брекчированных зонах или же в свитах, богатых углеродистым веществом и остатками растительности. Реже эти руды встречаются в трещинах осадочных пород. Признаки их генетической связи с термальными источниками отсутствуют. Нет основания относить эти месторождения к какому-либо определенному геологическому возрасту, но фактически большинство из них относятся к верхнему карбону, перми, триасу и юре.

**Происхождение.** Если рассматривать класс в целом, то представляется, что изверженные породы не играли никакой роли в образовании. Руды, без сомнения, эпигенетические и их повсеместное присутствие в материковых и мелководных отложениях позволяет притти к определенным заключениям. По всей вероятности эти руды концентрировались метеорными водами, выщелочившими небольшие количества рассеянных в осадочных породах металлов.

В условиях сухого климата быстро накапливавшиеся от разрушения близлежащих материковых пород осадки, возможно, содержали эти металлы в виде обломочного материала и отчасти в виде растворов, выщелоченных при разрушении и выветривании коренных месторождений.

Полагают, что осуществившими концентрацию водами были преиму-

щественно растворы хлористого натрия и сернистого кальция, содержащие сульфаты, а возможно и хлориды меди и свинца. Ассоциация минералов и геологические особенности указывают на отложение при низкой температуре, вероятно, значительно ниже 100° С и на незначительной глубине, но ниже зоны прямого окисления. Весьма вероятно, что образование этого рода месторождений непрерывно протекает с момента установления активной циркуляции грунтовых вод.

## МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕДИ И СВИНЦА В ПЕСЧАНИКАХ

Европейские месторождения<sup>63</sup>. Европейские месторождения относятся к перми и триасу, т. е. периодам с чрезвычайно сухим климатом и активными процессами отложения солей. Отложения пермских пород СССР, простирающиеся к западу на значительные расстояния от Уральского хребта, сложены внизу песчаниками, мергелями (отчасти — морскими) и конгломератами. Песчаник содержит богатые остатки растительности. Медные руды встречаются на весьма обширных пространствах, но за последнее время эксплоатация их не ведется. Среднее содержание этих руд 0,9% металлической меди. Халькозиновые руды замещают остатки растительности и стволы деревьев или же представляют собою вещество, цементирующее песчаники. Помимо вторичных малахита и азурита здесь встречаются халькозин, халькопирит, барит, ванадинит и воодвортит (ванадат меди и кальция).

За последнее время большое внимание обращено на месторождения меди в Киргизских степях<sup>64</sup> между Уралом и Алтаем, в Каргалинской и Акмолинской областях. Здесь в песчаниках пермо-карбона найдены богатые медные руды, частично окисленные и содержащие пирит, халькопирит, борнит и халькозин. В Нанкатае, к западу от Коканда в Туркестане, месторождения металлической меди открыты в песчаниках и гипсовых мергелях третичного возраста; встречается окаменелое дерево и халькозин<sup>65</sup>.

В значительной части Западной Европы триас содержит медь, а вместе с ней и некоторое количество свинца.

В Англии медные руды добываются в Alderley, Edge и Mottram St. Andrews<sup>66</sup>, к югу от Манчестера. Они встречаются в цементе триасовых известняков и конгломератов и состоят из карбонатов меди, галенита, пиromорфита и ванадинита, также небольшого количества барита, марганца и кобальта. По имеющимся сведениям, содержание меди не превышает 1,4%. Здесь же найден минерал, называемый «моттрамитом», представляющий собою ванадат меди и свинца; из этих руд извлекают ванадий.

В «Buntsandstein» в триасе Пруссии и Лотарингии близ Saarlouis и других местах залегает формация, известная под названием песчаника Voltzia; она чрезвычайно богата свинцовыми и медными рудами, которые периодически эксплоатируются. В пласте имеется много остатков растительности. Минералами являются церуссит, галенит, халькозин (?) и карбонаты меди.

Самые известные месторождения в европейском триасе — это Commern и Mechernich, недалеко от Aix-la-Chapelle (Пруссия). Эксплоатация свинцовых руд ведется здесь уже несколько сот лет, но по имеющимся сведениям, рудники скоро закроются. Руды здесь бедны; эксплоатация ведется открытыми разработками со вскрышею до 130' кровли.

В 1903 г. руды содержали в среднем 1,5% Pb. Рудными минералами являются галенит и церуссит с небольшими количествами халькопирита и барита; последний выполняет жилы и жилки в песчанике. Присутствуют небольшие количества серебра, никеля и кобальта. Мощность рудоносного песчаника — около 20 м. Большой интерес представляет то, что галенит встречается в виде так называемых «Knoten» или узловатых конкреций. В ядре таких конкреций встречают зерна песка и некоторые из них ограничены гранями кристаллов галенита. Эпигенетический характер руд не подлежит сомнению, но нельзя с уверенностью сказать, что они действительно принадлежат к описываемому типу. Beyschlag считает их гидротермальными вкрапленниками.

**Американские месторождения**<sup>67</sup>. На континенте Северной Америки медные руды широко распространены в «красноцветной толще» («Red Beds») юго-западных штатов Texas, Oklahoma, New Mexico, Arizona, Colorado, Wyoming, Utah и Idaho, но большого экономического значения не представляют.

Руды залегают в аркозовых песчаниках, конгломератах и глинистых сланцах; в них обычно встречаются остатки растительности и окаменелое дерево. Породы этой толщи отложились в мелководных, морских бассейнах или субэральных процессами быстрого разрушения прибрежных пород района Скалистых гор; они принадлежат верхнему карбону, перми, триасу и юре.

В Texas эти медьсодержащие отложения пермских песчаников и глинистых сланцев занимают обширные площади. Они залегают на нескольких горизонтах и богаты остатками растительности. Рудными минералами являются ковеллин, хальказин, халькопирит и пирит. По имеющимся сведениям, занимаемая этими рудами площадь тянется между 33 и 34° широты и 98 и 100° долготы.

В Oklahoma желваки хальказина находят в красных глинистых сланцах и песчаниках того же возраста. Окаменелое дерево часто превращается в хальказин, иногда облекаемый оболочкой халькопирита. Эти руды содержат необычайно большое количество серебра (до 31 унций на тонну) и следы золота.

В Колорадо такие же руды встречаются во многих местностях, в частности в Red Gulch, Fremont County, где Линдгрен наблюдал желваки хальказина с баритом в черных углистых глинистых сланцах. В шлифе можно видеть, что сульфидная медь фактически замещает каменный уголь и глинистый сланец. Горизонт, на котором залегают руды, вероятно, верхний карбон. По сообщаемым Gregory<sup>68</sup> сведениям, в песчаниках La Plata (северо-восточная часть Аризоны) можно часто наблюдать незначительные количества окисленной медной руды. К северу от р. Колорадо руды появляются в карбоне плоскогорья Kaibab. S. F. Emmons полагает, что медь, содержащаяся в окисленной руде и хальказин в известняках Aubrey, близ Grandview, Arizona, выщелочены из «Красноцветной толщи» и перенесены в известняки.

В юго-западной части Колорадо медь, часто в сопровождении ванадиевых руд, широко распределяется в юрских известняках La Plata. W. H. Emmons описывает жилу Cashin в этой формации близ Placerville. Руды представляют собою серебросодержащий хальказин, ковеллин и борнит с небольшим количеством кальцита. Изверженные породы отсутствуют, и Эммонс полагает, что руды выщелочены из «Красноцветной толщи». В этой толще циркуляция вод чрезвычайно активна и

имеется много источников, содержащих соль, сульфаты и серо-водород. Этот рудник дал 300 000 унций серебра и 700 000 фунт. меди.

Наибольшего развития медистые песчаники достигают в Новой Мексике; в северной части этого штата находится месторождение Nacimiento, где «Красноцветная толща» залегает на докембрийских гранитных породах, вмещающих более древние месторождения меди. Несмотря на ручную рудоразработку, рудники имеют довольно большую производительность. В результате палеофитологической обработки иско-паемых растений их относят в триасу. По словам Schrader<sup>69</sup>, большинство медных руд залегают в самых нижних горизонтах толщи в красновато-белом песчанике 25' мощности, богатом остатками окаменелых деревьев, в значительной части пиритизированных с развитием халько-зина по пириту. В этой толще найден ствол дерева длиною в 60' и диаметром 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>' у основания, почти всецело замещенный медным блеском.

Помимо малахита, азурита и хризоколлы, присутствует некоторое количество барита и, местами, церуссита. Низкопроцентные руды не эксплуатируются.

По словам того же Шрадера, медистые песчаники гор Zuni в северо-восточной части Новой Мексики<sup>70</sup> залегают в основании «Красноцветной толщи», лежащей на докембрийских гнейсах, включающих более древние медные жилы. На расстоянии 30—60' от основания пластов песчаники, глинистые сланцы и мергеля содержат окисленные руды и халькозин, замещающий дерево. Graton подробно описывает руды из района Tecolote (San Miguel County), залегающие частично в «Красноцветной толще» верхнего карбона (формация Abo), частично в более высоком горизонте, возможно в песчаниках «Дакота». Известковый цемент аркозовых песчаников замещается халькозином, борнитом, халькопиритом и пиритом; замещение распространяется и на зерна полевого шпата.

В хребте Oscura (также в Новой Мексике) красные песчаники (вероятно «Красноцветная толща») содержат халькозин, борнит и халько-пирит, часть которых замещает иско-паемое дерево. Tugter упоминает о присутствии остатков растений, которые, по его словам, признаны за триасские *Podozamites crassifolia*, т. е. идентичны с цикадовыми, ха-рактерными для месторождений Abiquiu, которые изучал Newberry.

В противоположность Tugter, Graton полагает, что медные руды были образованы в этой толще восходящими водами, поднимавшимися по много-численным дислокационным трещинам, имеющимся в песчаниках.

Наконец, H. S. Gale описывает медные руды из южной части штата Idaho, залегающие в пестроцветных глинистых сланцах Ankeret и песча-никах триаса или карбона (то же, что и пермо-карбон сороковой параллельной съемки, см. вып. I, рис. 14). Залегающие под этими глинистыми сланцами мощные известняки многие геологи относят к триасу.

Таким образом, на юго-западе имеется по меньшей мере две главные медистые формации, а именно: 1) «Красноцветная толща» верхнего карбона (то же, что и пермо-карбон), или Формация Abo; 2) бесспорно юрский песчаник La Plata.

Месторождения серебра (предположительно) в триасских песчаниках Silver Reef<sup>71</sup> в южной части штата Utah (район Harrisburg), о которых так шумели, примерно, в 1880 г., в настоящее время эксплуатируются лишь в незначительном масштабе. Выше горизонта грунтовых вод руда представляла собою хлористое серебро, а на глубине — аргентит; при-сутствовала также медь; упоминают и о селените. Встречались богатые

растительные остатки (рис. 63). Можно предположить, что эти руды являлись вторичной концентрацией из первичного серебросодержащего халькокозина. Butler, давший наилучшее описание этой местности, считает, что руды моложе антиклинали Leeds, в которой они залегают. Он сомневается в том, что руды произошли из халькозина, и считает генезис этого месторождения недоказанным.

В Nova Scotia (Cumberland County), в пермских песчаниках находят желваки халькозина с остатками пирита, а также халькозин по пиритизированным окаменелостям.

**Южная Америка.** Известные и давно уже эксплуатируемые месторождения Сого-Сого<sup>72</sup> (Боливия) залегают в свите песчаников, относимых к пермскому возрасту. Здесь имеется несколько пластов с вкрапленностью самородной меди, местами дендритовой, а также гипса, незначительных количеств самородного серебра, домейкита и халькозина. Цвет медистых песчаников много светлее преобладающих темнокрасных песчаников. В настоящее время ведется эксплуатация этих месторождений. В одном из рудников достигнута глубина 1 300'.

Самородная медь приурочена к пластам мощностью в 2 м; среднее содержание меди 2%. Самородистые песчаники по возрасту относятся к карбону, и медь была в них отложена термальными во-

Рис. 63. Шлиф, иллюстрирующий поперечное сечение древовидной структуры. Рудник Blue Dike, Utah.

Светлый цвет — халькопирит; темный халькозин. Увеличение 12× (по B. S. Butler).

дами, связанными с интрузией диоритов.

**Katanga**<sup>73</sup>. Пока еще нет достаточных данных, чтобы судить о принадлежности к описываемому классу руд Katanga, не так давно открытых в юго-восточной части бельгийского Конго. Наиболее крупное месторождение, принадлежащее Union Minière du Haut Katanga, находится близ Elisabethville.

Добыча меди была начата в 1911 и в 1925 г., производительность предприятий достигла 90 000 метрических т металлической меди, т. е. лишь немного уступает производительности Utah Copper Company в Bingham. Предполагается дальнейшее расширение всех предприятий по добыче и обработке меди. Руда содержит в среднем 8—10% Cu. По данным предприятия, запасы руд составляют 68 000 000 метрических т со средним содержанием 6,62%.

Эксплоатация производится открытыми работами. Руды залегают в виде крупных массивов в серии складок и нарушенных зон в толще доломитовых пород, проблематично относимых к силуру. Эксплоатация

сосредоточена преимущественно на рудах окисленной зоны, содержащих малахит, хризоколлу, куприт и пр. В сульфидной зоне развиты халькозин, борнит, халькопирит и сфалерит; есть основательные предположения об обогащении сульфидной руды с глубиною. Жильными минералами являются барит и кварц. Руды, идущие непосредственно в плавку, содержат свыше 15% Cu; более бедные обогащаются. Черновая медь содержит очень мало золота, но некоторое количество кобальта. В Kasolo медистые доломиты секутся жилами богатых радио-урановых руд<sup>74</sup> и многих редких вторичных минералов, как кобальтовые и селенистые.

За последнее время большая активность наблюдается в северной Родезии. Рудник Bwana M'Kubwa расположен на месторождении, чрезвычайно напоминающем таковые в бельгийском Конго; идет разведка многих новых районов.

**Генезис осадочных медных руд.** Эпигенетический характер медных месторождений в песчаниках неоспоримо доказан. Установлено также замещение халькозином каменного угля, углистых глинистых сланцев, цемента известкового или каолинового песчаника. Жильные минералы редки, кварц отсутствует. Обычно присутствует в небольших количествах барит. Характерна неравномерность вкрапления, хотя часто руды с заметным постоянством придерживаются какого-либо определенного горизонта. Обращает на себя внимание полное отсутствие видимой связи с изверженными породами. Месторождения расположены преимущественно по окраинам древних материковых массивов, вмещающих докембрийские месторождения меди. Песчаники отложились чрезвычайно быстро в виде аркозов, что свидетельствует о продолжительности эпохи разрушения пород и вынесении продуктов разрушения в последующую эпоху, характеризующуюся чрезвычайно сухим климатом. Рассматривая данные в целом, можно заключить, что осадочные породы должны были содержать тонко разделенные медные минералы, частично отложенные растворами из близлежащих внутриматериковых месторождений, частью же захваченные в виде обломочного материала. Надо думать, что циркулировавшие в этих отложениях атмосферные воды, насыщенные солью и гипсом, растворяли медь и уносили с собою, чтобы в дальнейшем отложить ее на определенных горизонтах, богатых восстановителями, как углистые растительные остатки. В большинстве случаев раствор, надо полагать, содержал медь в виде сульфата, хотя в случае присутствия в растворах хлористого натрия сернокислая медь могла превращаться в хлористую.

Некоторые из месторождений могли возникнуть под действием восходящих термальных вод метеорного происхождения. Можно с достаточной уверенностью сказать, что магматические воздействия здесь не участвовали.

Graton, Fath и Rogers отмечают присутствие в халькозиновых желваках пирита, борнита и халькопирита; последние два автора установили, что халькозин замещает более ранние пирит и марказит. Roger<sup>75</sup> считает, что ископаемое дерево непременно должно заместиться гематитом, пиритом, борнитом и халькозином; мы считаем такую последовательность событий довольно сомнительной, принимая во внимание, что структура дерева сохраняется даже в четвертом и последнем замещении. Graton находит в халькозине острые кубы пирита и не обнаруживает признаков замещения пирита.

По халькозиновым желвакам из месторождения в Nova Scotia можно-

ясно видеть, что этот минерал замещает более ранние конкреции пирита, но в других образцах, взятых из того же месторождения, имеются явные признаки непосредственного замещения обуглившегося дерева халькозином без промежуточной пиритовой стадии.

## ВАНАДИЕВЫЕ И УРАНОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ РУД В ПЕСЧАНИКАХ<sup>76</sup>

**Состав.** Некоторые юрские песчаники Colorado и Utah содержат ванадий и уран со следами радия. В настоящее время ведется эксплуатация некоторых месторождений Колорадо и в Vanadium (близ Placerville) построен завод, где ведется восстановление ванадиевых солей.

В этих месторождениях встречаются многие редкие минералы. Большинство из них мелкозернистые или криптокристаллические; происхождение их, вероятно, частично коллоидальное.

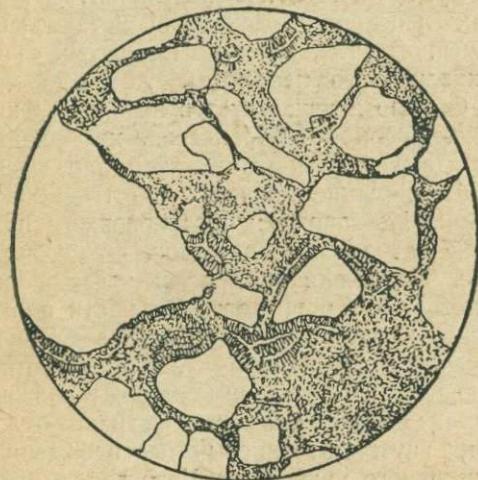


Рис. 64. Ванадиевые руды в песчанике.  
Белый цвет—кварц, заштрихованные площади—роскоэлит, частично радиальный. Увеличение в 25× (по F. L. Hess).

$2V_2O_4 \cdot V_2O_5 \cdot xH_2O$  — является водным и является водным минералом, содержащим 51%  $V_2O_4$  и 30%  $V_2O_5$ . Он замещает в песчаниках цементирующую вещество или же заключается в гипсовых жилках или в ископаемом дереве.

**Роскоэлит**<sup>77</sup> — ванадистая слюдка зеленоватого цвета; он является в сущности мусковитом, в котором алюминий частично заменяется ванадием в количестве от 20 до 29%  $V_2O_3$ ; он встречается в мельчайших чешуйках, замещающих вещества, цементирующие песчаник (рис. 64). Некоторые песчаники содержат до 20% роскоэлита. Из редких минералов назовем метагеветит ( $CaO \cdot 3V_2O_5 \cdot xH_2O$ ), урановые слюдки типа отунита ( $CaO \cdot 2UO_3 \cdot P_2O_5 \cdot xH_2O$ ) и несколько сульфатов урана и ванадия, тоже в большей или меньшей степени водных. **Уранит** ( $2UO_3 \cdot 3V_2O_5 \cdot xH_2O$ ) — буроватожелтый уранат урана добывался в Emery County (Utah). Местами встречается фольборгит — водный ванадат кальция, меди и бария.

В этих замечательных рудах присутствует также хром в форме марипозита, но обычно в отдельном горизонте ниже песчаника, со-

Три вида минералов представляют серьезное значение: карнотит, ваноксит и роскоэлит.

**Карнотит** — калиевоуранистое соединение ванадия — встречается в виде ярко желтой кристаллической пыли\* в пропластках и в ископаемом дереве. Формула этого минерала  $2UO_2 \cdot V_2O \cdot K_2O \cdot xH_2O$ ; он содержит около 56%  $UO_3$ , 20%  $V_2O_5$  и небольшие количества кальция, бария, меди, свинца и молибдена. В тюямунице (назван по наименованию местности в Туркестане) калий заменяется кальцием. В этом минерале, как и во многих других, содержание воды изменчиво и часть ее отдается при низкой температуре.

**Ваноксит** — черный, пылевидный минерал с формулой ванадин-ванадатом. Он содержит ванадин-ванадатом. Он содержит

держащего роскоэлит. Встречаются также барий, медь, свинец, молибден и мышьяк. В некоторых местах очень много молибдена в виде растворимого сульфата (темносиний ильсманит). Hillebrand обнаружил самородный селен в ассоциации с метагеветитом.

Урановые минералы, из которых наиболее обилен карнотит, содержат незначительные следы радия<sup>78</sup>; последний извлекается. Почти единственным минералом, спутником этих руд, является гипс.

Руды не так богаты. Карнотитовые руды содержат от 1,5 до 3% UO<sub>3</sub> и от 3 до 5% V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Пытались подвергать их обогащению. Роскоэлитовая руда из Placerville содержит около 3,5% V<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и 0,05% UO<sub>3</sub>.

**Месторождения.** Руды встречаются в провинции Plateau западной части Колорадо и восточного Utah, сложенной горизонтальными или пологопадающими отложениями (рис. 66). Широко известные месторождения находятся в Placerville (Колорадо), где роскоэлитовые руды зале-

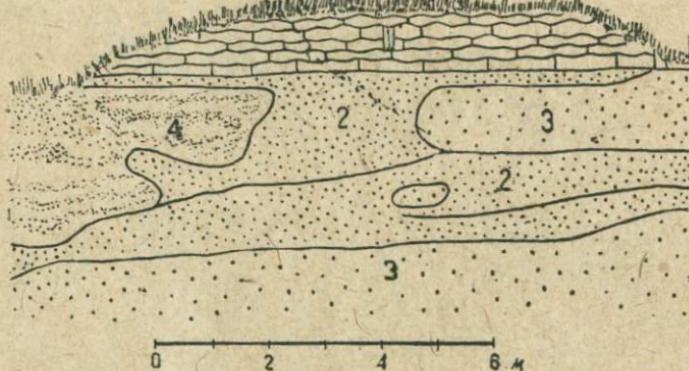


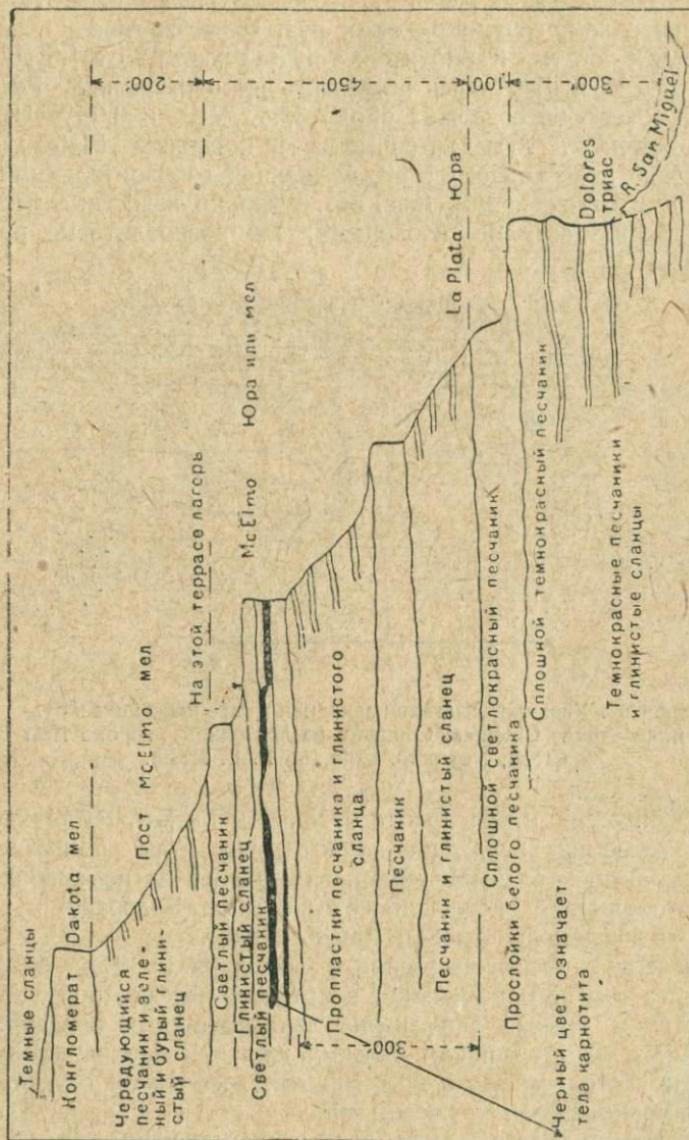
Рис. 65. Условия залегания ванадиеноносного песчаника в руднике Primos Chemical Company на восточной стороне Bear Creek, Newmire, Colo (по F. L. Hess).

гают в песчанике La Plata; также в долинах La Sal, Paradox и Sindbad (несколько далее на запад), где карнотитовые руды добываются в песчаниково-сланцевой толще Mc. Elmo, залегающей на песчанике La Plata. Другие месторождения эксплуатируются в Rifle (Колорадо) и в нескольких пунктах возвышенности San Rafael (Utah).

Руды залегают преимущественно в формации La Plata белого, часто косослоистого, юрского песчаника, в котором нередко попадаются ископаемые остатки дерева. Оруденение локализуется в определенных горизонтах, или же в трещинах плоских жил или брекчированных зонах (рис. 65) и часто связано с ископаемыми древесными остатками. Карнотит неизменно связан с последними.

Первоначально полагали, что руды распространены лишь на поверхности, но в настоящее время, кажется, можно сказать определенно, что оруденение идет на значительную глубину. В Placerville выработки достигли 2 000' в горизонтальном направлении. Помимо Colorado и Utah, роскоэлит как будто нигде не встречается в песчаниках, а карнотит и прочие урановые минералы, как-то: отунит и фольбартит, нередко находят в конгломератах, песчаниках и глинистых сланцах различных возрастов, хотя редко в промышленных концентрациях.

Известные месторождения ванадия в Mina Ragra (рис. 67), близ Quisque, Prov. Pasco, в Перу, совершенно иного характера, хотя быть может того же происхождения; описания их даны впервые D. F. Hewett и W. F. Hillebrand<sup>79</sup>. В настоящее время эти месторождения почти полностью удовлетворяют спрос на ванадий. Сульфидный ванадий патронит



(VS<sub>4</sub>?) встречается в больших масштабах в виде зеленовато-черных масс, ассоциированных с углеводами, особым видом никельсодержащего пирита и вторичными минералами ванадия. Анализ патронита дает 58,79% серы, 19,53% ванадия, 0,18% молибдена, 1,87% никеля и 3,47% углерода. Патронит представляет мелкозернистую смесь этих сульфидов, вероятно, в коллоидальном состоянии. Месторождение про-

резано межпластовой дайкой порфира и по форме представляет собою линзу, вероятно, согласную с общим пологим падением меловых глинистых сланцев, содержащих значительное количество гипса. Размеры месторождения по простирианию около 400' в меридианальном направлении, ширина его от 50 до 100'; оно прослежено на глубину 300'. Из этого богатейшего месторождения получена большая часть мировой добычи ванадия; руды содержат ванадий в количестве 10—13%.

**Генезис.** Тесную связь ванадия с мышьяком и фосфором можно ясно видеть по расположению, занимаемому им в периодической таблице элементов. По происхождению он тесно связан с титаном и железом. Изверженные породы земной коры содержат в среднем 0,026%  $V_2O_3$  не

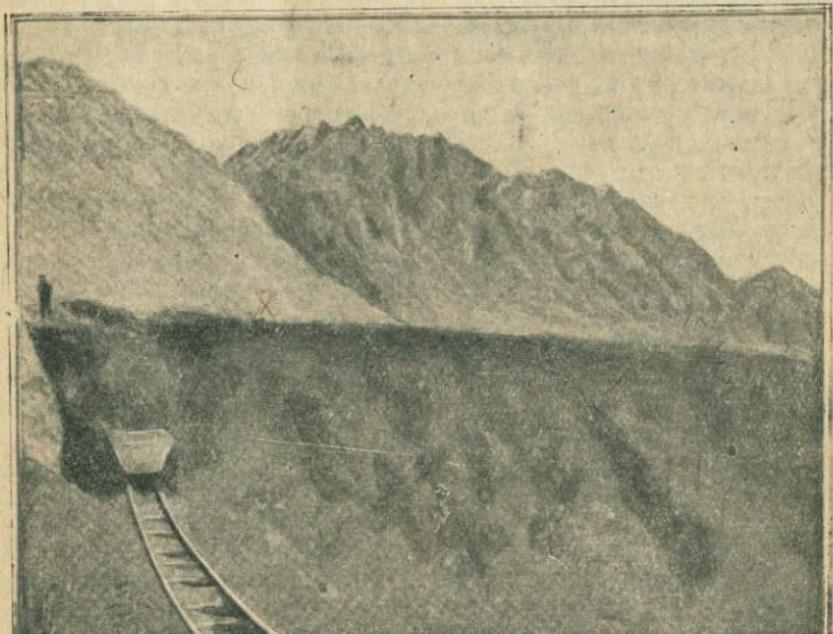


Рис. 67. Вид месторождения ванадия Mina Ragra (Перу) (по W. S. Hutchinson).

в виде обособленного окисла ванадия, а в качестве изоморфной примеси в авгите, биотите, рутиле, магнетите и ильмените. При разрушении этих минералов ванадий остается с железом (по крайней мере большинство его) и поэтому присутствует в лимоните и железистых почвах. В процессах отложения осадочных пород ванадий, повидимому, концентрируется в мелких глинистых осадках, вероятно, в виде коллоида. Во многих ванадиевых минералах наблюдается тенденция к коллоформному развитию.

И, наконец, ванадий играет весьма значительную, но пока еще не-понятную роль в биохимических реакциях. Он присутствует в крови некоторых голотурий, замещая фосфор, и несомненно усваивается их организмом из морской воды. Если учесть, что ванадий является обычным компонентом золы битумов, асфальта, углей и нефти, можно видеть его роль в растительной и низших формах животной жизни. Ванадий часто встречается в углистых сланцах; например, меловые глинистые сланцы в Перу местами содержат от 0,1 до 0,4%  $V_2O_3$  в форме не так давно

открытого фосфорнованадистого синкозита. Таким образом, нет ничего удивительного в присутствии ванадия в углистых породах, распространенных в Colorado и Utah, или в Mina Ragra (Перу). В последней из упомянутых местностей ванадий произошел, вероятно, вследствие выщелачивания ванадийсодержащих осадков, возможно, теплыми метеорными водами.

Месторождения карнотитовых, ванокситовых и геветтитовых руд в Colorado—Utah вероятно представляют собою месторождения вторичного обогащения неизвестного ванадиевого минерала; но роскоэлит, с которым встречается лишь незначительное количество урана, казалось бы, скорее является первичным продуктом отложения метеорными водами, быть может весьма слабо нагретыми. На карнотит сильно воздействуют серная кислота и сернокислые растворы<sup>80</sup>.

Труднее объяснить, почему ванадиевые минералы придерживаются определенных горизонтов, как мы это наблюдаем в Colorado. Hess полагает, что отложения руд были концентрированы метеорными водами в затопляемых половодьем долинах в эпоху глубокого разрушения жил и пегматитовых даек соседних кристаллических докембрийских пород. Он думает, что как уран, так и ванадий, были перенесены преимущественно в виде сульфатов. Во всяком случае концентрация, без сомнения, произошла под действием метеорных вод, и последние были, вероятно, сульфатного типа. И действительно, обычным спутником руд является гипс.

Салические экстракты (пегматиты) содержат лишь редкие ванадиевые минералы, иногда же последние совершенно отсутствуют. Более поздние магматические эманации постинтрузивной деятельности содержат незначительное количество ванадия и в месторождениях, образовавшихся действием восходящих термальных вод, роскоэлит является чуть ли не единственным гипогенным минералом ванадия и к тому же весьма редкостным. Действительно, в окисленных зонах месторождений, в особенности свинца, нередки ванадистые соединения свинца и меди, как например, ванадинит и деклуазит, но и в этом случае ванадий, вероятно, привнесен из боковых пород. Возможно, однако, что в серицитовых минералах рудных месторождений ванадий присутствует в больших количествах, чем это теперь полагают.

Хотя уран и встречается вместе с ванадием, он ему химически чужд. Основным источником происхождения урановых минералов являются пегматиты (см. вып. III) и некоторые мезотермальные жилы, например в Joachimsthal и Gilpin County (Colorado).

Первичные урановые минералы дают много продуктов разложения; из последних наиболее выдающуюся роль играют карнотит и урановые слюдки (автунитовая группа).

Последние легко переносятся поверхностными водами, доказательством чему служит присутствие урановой слюды в песчаниках и аллювиальных торфах (Мадагаскар, Lacroix).

Уран находят также в залах некоторых битумов и углей, в особенности в шведском «Kolm» кембрийского возраста. Возможно, что он вступает в биохимические реакции в растениях, образуя многочисленные коллоидальные соединения.

В заключение можно с достаточной уверенностью сказать, что в осадках, о которых здесь идет речь, уран сконцентрировался вместе с ванадием, под действием метеорных вод, получавших металлы из осадков,

присутствующих в земной коре и образовавшихся от разрушения докембрийских изверженных пород и пегматитов. Интересно отметить постоянную ассоциацию с никелем, молибденом, хромом, медью и селеном.

**Продукция и пользование.** За 1915 г. в Colorado было добыто 47 000 т руды; по сведениям U. S. Geological Survey, из этого количества руды было извлечено 19,9 т металлического урана, 627 т ванадия (преимущественно из роскоэлитовых руд), и 6,1 г радия, всего на сумму 700 000 долл.

Всего несколько лет назад большая часть урановых руд экспортировалась, и радий в США не извлекался. В 1914 г. добытые руды дали 87,2 т урана и 22,3 г радия. Чистые ванадиевые руды из Placerville обжигают с хлористым натрием, ванадиевокислый натрий экстрагируют водой и осаждают железным купоросом в виде ванадиевокислого железа, которое и отправляется в восточные штаты для восстановления в феррованадий. Добавление к стали около 1% ванадия придает ей плотность, твердость и сопротивляемость механическим усилиям при высокой температуре. Однако для сталелитейной промышленности этот металл не так необходим, как вольфрам. Большая часть ванадия получается из перувианских рудников патронита. Феррованадий расценивается приблизительно в 1 000 долларов за тонну. Небольшие количества ванадиевых солей используются в качестве морилок в красильном и набивном деле и для других химических целей. В карнотитовых рудах отделение урана от ванадия весьма трудно и такой ванадий низко расценивается.

Соли урана идут в небольшом количестве в производстве желтовато-зеленого стекла и керамических изделий; также в качестве морилки в красильном деле. Ферроуран в настоящее время не употребляется при изготовлении стали. Радий извлекается из урана путем сложного процесса, описание которого читатель найдет в Bulletin 104, United States Bureau of Mines. Он получается в виде хлористой или бромистой соли и применяется в медицине.

Радий содержится также в уранините (кристаллическом) и смоляной урановой руде (аморфной); оба эти минерала представляют по существу  $\text{UO}_2 \cdot \text{UO}_3$  с 80% окислов урана. Оба встречаются в пегматитовых дайках и гидротермальных жилах.

За последние<sup>81</sup> годы производительность месторождений Colorado и Utah была невелика вследствие отсутствия спроса на ванадий и также конкуренции вновь открытых в бельгийском Конго месторождений радия, давших в 1923 г. 3 856 т уранорадиевой руды. Эта руда содержит много урана; так как каждый процент урана означает 2,57 мг радия на тонну, стоимость обработки не превышает нескольких долларов на миллиграмммы, тогда как раньше восстановление обходилось 37 долл. за радиевые соли. По имеющимся сведениям, в 1923 г. было получено 48 г радиевых солей.

## МЕДИСТЫЕ СЛАНЦЫ (MANSFIELD)<sup>82</sup>

В этой же главе следует рассмотреть и знаменитые месторождения медистых сланцев (Kupferschiefer) Мансфельда (Германия), которые, хотя и не совсем аналогичны описываемым в этой главе месторождениям, но все же во многом с ними сходны.

Медистые сланцы и в наше время продолжают активно эксплуатиро-

ваться и дают ежегодно до 700 000 метрических тонн руды с содержанием от 2 до 3% меди.

Самая нижняя свита, отложившаяся в опустившемся верхнепермском бассейне центральной Германии, представляет собою морской конгломерат незначительной мощности. У F. Beyschlag<sup>83</sup> читаем следующее: «На конгломератах, подобно черному савану, залегает тонкий пласт медистого глинистого сланца, этого наиболее замечательного продукта геологических эпох. Фауна этой формации свидетельствует о том, что она является отложением прибойной полосы, богатой остатками растений, принесенными с соседних побережий; эти сланцы безусловно являются отложением органического ила с примесью неорганических осадков».

Выше медистых сланцев, мощность которых не превышает 1 м, залегают морские известняки (Zechstein) мощностью от 6 до 10 м, пе-

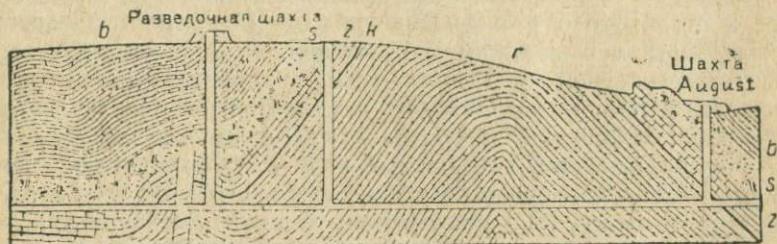


Рис. 68. Геологический разрез части меденосного пласта глинистого сланца в Mansfeld (Германия) (по Schrader).

рекрываемые, в свою очередь, мощными скоплениями гипса и соли, приуроченными к верхней перми. Пласти дислоцированы в складки и разбиты мелкими сбросами, и добыча ведется в наклоннозалегающих пластах на глубине 500 м. Мощность рудной минерализованной свиты 50 м, но в качестве руды берутся лишь нижние 20—30 см (рис. 68).

Руды представляют собою мелкие включения сульфидов в сланце и последние приобретают бронзовый оттенок. Преобладает борнит, но присутствуют также халькозин, реже галенит, цинковая обманка и тетраэдрит. Присутствующие пирит и халькопирит представляют более поздние минералы. Установлено присутствие небольших количеств никеля, кобальта, селена, ванадия и молибдена, также серебра в количестве примерно 0,015%. Присутствует цинк; в верхней части залежи (не эксплуатируемой) цинка больше, чем меди. Средний анализ следующий<sup>84</sup>.

#### Средний анализ медистых сланцев в процентах

(Аналитик Haale)

SiO <sub>2</sub> . . . . .	33,15	Ag . . . . .	0,014
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	17,3	Ni . . . . .	0,018
CaO . . . . .	10,4	S . . . . .	2,31
MgO . . . . .	1,0	CO <sub>2</sub> . . . . .	9,24
Fe . . . . .	2,6	H <sub>2</sub> O . . . . .	1,7
Zn . . . . .	1,276	Битум . . . . .	9,06
Cu . . . . .	2,75		

Присутствует около 3% K<sub>2</sub> и 1% Na<sub>2</sub>O; содержание свинца достигает 1,5%, марганца, примерно, 0,25%.

Жильные минералы почти отсутствуют, исключая прожилок гипса и барита. Пласт медистых сланцев сечется сбросами, по трещинам которых местами встречается барит, ангидрит, кальцит, никелин, пирит и халькопирит; близ этих сбросовых трещин (носящих местное название *Rücken*) рудные минералы обогащены или, наоборот, разубожены или же выщелочены и унесены вверх в соседние породы. Bergeat убежден, что эти изменения происходят по вторичным трещинам.

Относительно генезиса месторождений Mansfeld существует большое разногласие. Большинство геологов считает их осадочными и сингенетическими: этого мнения придерживаются von Groddeck, Stelzner, Freiesleben и von Cotta, а также и Bergeat, Posepny, Beck и Krusch считают их эпигенетическими и полагают, что проводниками металлоносных растворов явились *Rücken*.

«Kupferschiefer» без сомнения не являются обычными морскими отложениями<sup>85</sup>. Отложение имело место в прибойной полосе, где могли скапливаться остатки растений и животных и куда могли стекать насыщенные медью воды, состоящие, вероятно, из серно-кислых растворов, образовавшихся в зоне распространения эруптивных пород и рудных месторождений ранних геологических эпох. Данные, говорящие в пользу сингенетического генезиса, весьма убедительны.

Присутствие никеля, кобальта, ванадия, молибдена и селена напоминает эпигенетические месторождения в песчанике, столь часто залегающие по прибойной полосе пермского моря в Богемии и СССР. Бассейн Mansfeld является местом стока минерализованных растворов из соседних пустынных прибойных полос. Schneiderhöhn приходит к заключению, что медные сульфиды образовались сингенетически, как смешение гелей железомедных сульфидов под действием серных бактерий.

## МЕДНОСУЛЬФИДНЫЕ ЖИЛЫ В ОСНОВНЫХ ЛАВАХ

**Общий характер.** Медь содержится во всех основных лавах, но весьма часто условия были неблагоприятны для концентрации меди немедленно вслед за извержением, и породы сохраняли в себе медь до момента, когда, с течением времени, создались условия, благоприятные для рудообразования. Существование близ поверхности громадных массивов таких основных лав при полном отсутствии концентрации меди (например, лава Columbia River или базальты вулканов на Гавайских островах) свидетельствует о том, что обыкновенные поверхностные воды на незначительной глубине не способны растворять и концентрировать присутствующие в этих породах аксессорные металлы. Для извлечения меди метеорными водами даже при наиболее благоприятных условиях, видимо, необходима глубина нескольких тысяч футов, хотя, конечно, возможно, что такие воды, поднимаясь к поверхности по соответствующим путям, могли отлагать медь на более высоких горизонтах. В некоторых из описываемых здесь месторождений присутствует эпидот, но чаще он отсутствует и тогда жилы принимают хорошо известный халькопиритовый тип с кварцем, кальцитом и сидеритом в качестве жильных минералов. Такие жилы, отложенные восходящими поверхностными водами глубокой циркуляции, иногда трудно отличить от тех, развитие которых является последующей фазой интрузивной деятельности. Нельзя также отрицать, что в этих жилах могли концентрироваться некоторые количества золота и серебра из изверженных пород; однако, в боль-

шинстве случаев золота и серебра в них гораздо меньше, чем в месторождениях, обусловленных интрузивными процессами.

В зависимости от количества серы, оставшейся в лавах во время их излияния, образуются самородная медь, борнит или халькопирит.

**Рудник Kennecott (Аляска).** Месторождения меди в зеленокаменных породах Николаи (район Copper River), описания которых даются F. O. Schrader, W. C. Mendenhall, A. C. Spencer и позднее F. H. Moffit<sup>83</sup>, представляют исключительный интерес. Излияния базальтов, триаса или карбона мощностью примерно 4 000' покрывает толща триасовых доломитовых известняков мощностью 2 000', поверх которой в свою очередь

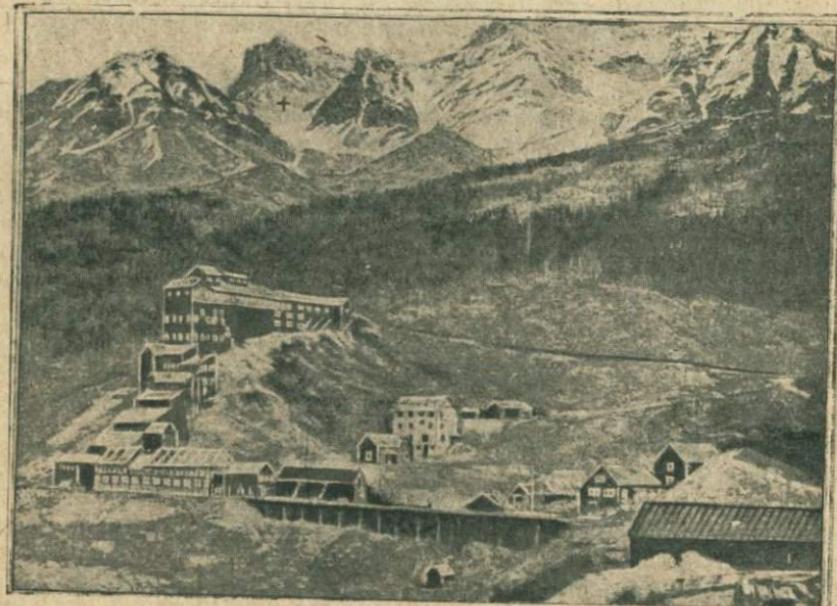


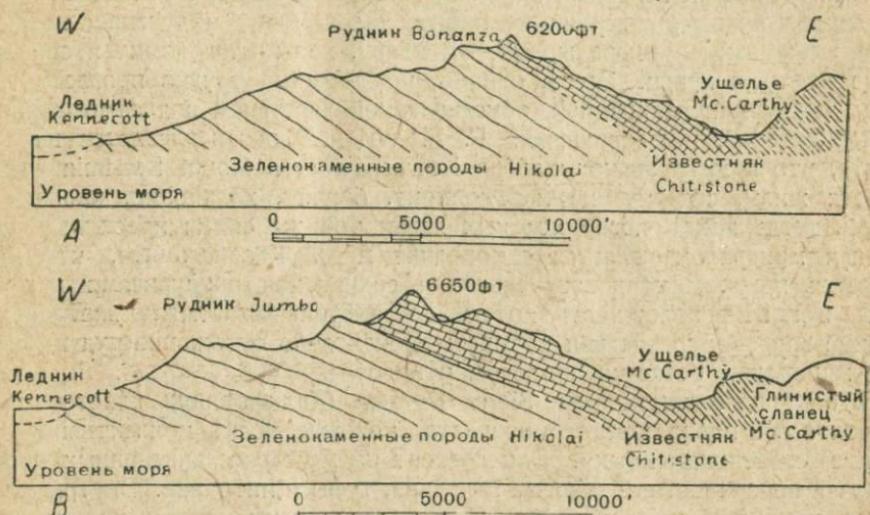
Рис. 69. Вид рудника и обогатительной фабрики Kennecott, Alaska. Рудник расположен близ вершины Snowy Peak (по Bateman и D. N. McLaughlin).

(Положение рудника помечено крестиком).

залегает мощная свита юрских отложений. Последние прорезаются интрузиями монцонитов, сопровождаемых иным видом оруденений, характерных для месторождения золота.

Зеленокаменные породы Николаи представляют собою амигдалоидные излияния базальта, содержащие хлорит, халцедон, кварц, эпидот и некоторое количество цеолитов и кальцита с вкрапленностями самородной меди, халькоцина, борнита и халькопирита. Медные сульфиды встречаются также в плоскостях скольжения брекчированных зон и сбросах. Медь содержат даже те из зеленокаменных пород, которые кажутся совершенно неизмененными. В рудниках Bonanza и Jumbo<sup>87</sup>, которые в течение долгих лет давали ежегодно от 10 до 20 тыс. т меди, рудные тела залегают в горном хребте Kennecott, на высоте примерно 6 000', т. е. значительно выше снежной линии среди громадных ледников, расположенных в хребте Брангеля на высоте приблизительно 16 000'. Вследствие вечной мерзлоты грунтовые воды отсутствуют, и в настоящее время окис-

ление не протекает (рис. 69). В скалах над глетчером рудное тело Bonanza обнажено; ниже обнажения в массе пород осыпи была встречена россыпь почти сплошного халькозина. Оруденение локализовано только в известняках или доломитах и от контакта с зеленокаменными породами распространяется в эти карбонатовые породы (рис. 70). Халькозин образует крупные клиновидные массивы; один из таких массивов прослежен на глубину 400', при максимальной ширине 25', но в дальнейшем такие массивы, приуроченные к перпендикулярным трещинам отдельностей зеленокаменных пород, выклиниваются. Вдоль контакта зеленокаменных пород наблюдается сброс, простирающийся параллельно глинистосланцевой нижней пачке известняков. Некоторое окисление, на-



Фиг. 70. Вертикальный разрез, иллюстрирующий расположение: А — рудника Bonanza, В — рудника Jumbo, без преувеличения вертикального масштаба (по А. М. Bateman и Д. Н. Mc. Laughlin).

блудаемое по трещине, вероятно, имело место до ледникового периода. Руда состоит из халькозина с небольшими количествами борнита, ковеллина, энартита, люссатита, теннантита, пирита, галенита и цинковой обманки. Близ рудного тела изменений в известняке не наблюдается. Добыываемая руда содержит от 7 до 10% меди; в более ранний период эксплуатации она была еще богаче. Часть халькозина, видимо, принадлежит к коллоидальной разновидности, другая часть зернистая с развитой спайностью, что Batemann и Mc. Laughlin считают признаком изометрической разновидности, содержащей 8% ковеллина в твердом растворе. Gratón полагает, что спайность сохранилась от замещенного борнита. В руде наблюдаются концентрические и колоформные структуры.

Генезис этого интереснейшего месторождения не совсем ясен. Batemann и Mc. Laughlin полагают, что до современной эрозии и вскоре после интрузии монционит порфира (выходящего на расстоянии 1½ миль и, по-видимому, не связанного с месторождением непосредственно) метеорные теплые воды проникали в залегающие внизу зеленокаменные породы, содержащие первичную медь много раньше образования описываемого рудного тела, насыщались медными растворами и вынесли эти насыщенные медью растворы в известняки, где медь отложилась в виде халькозина

с менее значительными количествами других минералов. Во время отложения температура, повидимому, была низкая; если халькозин имеет ромбическую форму, то температура должна быть ниже 90° С. Даже в том случае, если считаться с наличием изометричной разновидности, об относительно низкой температуре свидетельствует отсутствие изменения в боковых породах.

## МЕДНОСУЛЬФИДНЫЕ ЖИЛЫ В ИНТРУЗИВНЫХ ОСНОВНЫХ ПОРОДАХ

В интрузивных основных породах, таких как диабаз или габбро, часто встречаются жилы, содержащие пирит, халькопирит и другие сульфиды, а также жильные минералы, как-то: кварц, кальцит, доломит и сидерит, чаще же один кварц. Здесь, однако, чрезвычайно трудно провести границу между минерализацией, обусловленной действием вод атмосферного происхождения, и ювенильных. F. E. Wright<sup>88</sup> останавливается на том факте, что в интрузивном габбро Keweenawan, в Mount Bohemia встречаются жилы, содержащие халькопирит, борнит, халькозин, кальцит и кварц, тогда как в поверхностных лавах той же свиты преобладающим рудным минералом является самородная медь. Казалось бы, что это является прекрасным доказательством сохранения интрузивами летучей серы, в противоположность потере ее эфузивными лавами. Происхождение вод, при действии которых происходило отложение руд и жильных минералов, остается вопросом открытым.

Вдоль подножия холмов Sierra Nevada (Калифорния) тянется пояс андезитовых пород юрского возраста, которые носят коллективное название «зеленокаменных». Они состоят из масс рассланцеванных пород, исключая поверхностные лавовые излияния, туфы и интрузии. Внутри этого пояса, например, в Yuba и Nevada, распространены короткие неправильной формы кварцевые жилы с пиритом и халькопиритом. Эти жилы, вероятно, получили медь из зеленокаменных пород; они, без сомнения, образовались в то время, когда обнаженные в настоящее время породы были покрыты мощной толщей отложений в несколько тысяч футов, которые в настоящий момент эродированы.

Другие месторождения в Placer County и Campo Deco (Calaveras County), по мнению Knopf, представляют собою месторождения замещения амфиболита и зеленокаменных пород, приуроченных к зонам рассланцевания. Минералами здесь являются пирит и халькопирит с небольшим количеством галенита и цинковой обманки. Сульфиды содержат немного серебра и следы золота. Однако, нельзя с уверенностью сказать, образовалась ли эти месторождения под действием метеорных вод.

Другие, и гораздо более крупные, месторождения меди расположены в той же области, к северу в Shasta County и на юге Calaveras County; как здесь, так и там признаки ясно говорят в пользу отложения растворами, происходящими непосредственно из магмы.

## ДРУГИЕ ЖИЛЫ, ОБРАЗОВАННЫЕ ВОДАМИ ПОВЕРХНОСТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

В районе распространения палеозойских и мезозойских соленосных отложений средней Германии, видимо, имело место некоторое отложение

ние жил соляными метеорными водами. Такого рода жилы, обычно, богаты жильными минералами подобно кальциту, доломиту, бариту и, реже, кварцу и сульфидам<sup>89</sup>.

Примеры отложения руды соляными водами мы видим и в западной части США. Выше упоминалось о такого рода отложениях в руднике Cashin (Колорадо) (стр. 172). Преобладающая роль интрузивных процессов в рудоотложениях, однако, столь велика, что трудно с достаточной точностью установить менее отчетливо выраженные отложения, обусловленные деятельностью чисто метеорных вод.

Обыкновенные поверхностные воды в большинстве случаев не способны осуществить концентрацию, о чем ясно свидетельствует отсутствие заметного оруденения в трещинах отдельностей пород, наблюдаемое при горных работах. Например, в районе Globe (Arizona) палеозойские породы разбиты сетью дислокационных трещин, которые могли являться прекрасными путями этих вод; однако, мы не имеем здесь ни одного сколько-нибудь значительного месторождения, непосредственно связанного с этими трещинами. Подобным же образом золотоносные кварцевые жилы Калифорнии нередко разбиты пересекающимися трещинами сбросов и однако же они обычно представляют собою абсолютно пустые открытые трещины. Такие же трещины, образовавшиеся после оруденения, мы видим в свинцовых и цинковых жилах района Coeur d'Alene (Idaho), но оруденения в них не наблюдается. В области Кордильер находится много больших кряжей докембрийских пород, перекрытых местами палеозойскими и мезозойскими отложениями. Из них упомянем кряжи Front, Скалистых гор в Колорадо, кряж Wind River в Wyoming и кряж Mission в Montana. Поднятия, складкообразования и дизъюнктивные дислокации образовали прекрасные пути циркуляции метеорных вод, но, тем не менее, породы этих хребтов исключительно бедны месторождениями полезных ископаемых, и известные месторождения локализуются поблизости интрузивных массивов. Все эти соотношения ясно демонстрируют незначительную способность концентрации обычных холодных поверхностных вод и даже тех вод атмосферного происхождения, которые частично участвуют в более глубокой циркуляции.

<sup>1</sup> O. Stutzer. Die wichtigsten Lagerstätten der Nicht-Erze. 1911, pp. 185—263.  
W. C. Phalen. Издание „Mineral Resources“, U. S. Geol. Survey.

S. H. Salisbury. Издание „Mineral Industry“.

<sup>2</sup> G. I. Adams. „Bull.“ 225, U. S. Geol. Survey, 1904, pp. 497—500.

<sup>3</sup> W. T. Lee. „Bull.“ 315, U. S. Geol. Survey, 1907, pp. 485—489.

<sup>4</sup> E. G. Woodruff. „Bull.“ 340, U. S. Geol. Survey, 1908, pp. 451—456.

E. G. Woodruff. „Bull.“ 380, U. S. Geol. Survey, 1909, pp. 373—380.

<sup>5</sup> G. Bischof. Chemische und physikalische Geologie, 2, 1851, pp. 144—164.

<sup>6</sup> F. W. Clarke. Geochemistry. „Bull.“ 770, U. S. Geol. Survey, 1924, p. 588.

<sup>7</sup> The problem of the natural reduction of sulphates. „Bull. Am. Assoc. Petr. Geol.“ 10, 1926, pp. 1270—1299.

<sup>8</sup> „Neues Jahrbuch“ 1879, pp. 490—517.

<sup>9</sup> G. Spezia. Sull' origine del solfo nei glaciamenti solfiferi della Sicilia, Torino, 1892. Обозрение в „Neues Jahrbuch“ 1893, 1, p. 281.

<sup>10</sup> Descrizione geol. dell. Isola di Sicilia. „Mem. Descritt. d. Carta Geol. d'Italia“ 1, 1886.

<sup>11</sup> The origin of the sulphur deposits of Sicily. „Econ. Geol.“ 10, 1915, pp. 543—570.

<sup>12</sup> Sir John Murray. The deposits of the Black Sea. „Scottisch Geol. Mag.“

- 16, 1900, pp. 673—702. Stelzner und Bergeat. Frzlagerstätten. I, 1904, p. 470.  
 Обозрение, составленное Doss,дается в „Neues Jahrbuch“ 1900, I, pp. 224—228.  
 18 W. C. Phalen. „Mineral Resources“, U. S. Geol. Survey, 1907, pt. 2, p. 674.  
 См. также выпуск за 1911 г., pt. 2; P. S. Smith в последующих выпусках.  
 P. K. Kelly. The sulphur salt dome Louisiana. „Bull. Am. Assn. Petr. Geol.“ 9, 1925, pp. 479—496.
- R. F. Bacon and H. S. Davis. Recent advances in the American sulphur industry. „Proc. Am. Inst. Civ. Eng.“, December, 1920.
- 14 A. B. Coequoun. Sulphur Mining in Texas. „Mining Mag.“, 32 1925, pp. 154—159.
- 15 W. T. Westervolt and A. G. White. „Bull.“, 130, „Trans. Am. Inst. Min. Eng.“, October, 1917, pp. 5—15.
- 16 H. Leitmeir, в „Minerachemie Doelet“, 1, pt. 1, 1914, pp. 385—428.
- 17 G. W. Bain, Types of magnesite deposits. „Econ. Geol.“ 19, 1924, pp. 412—433.
- M. Dittrich, H. Leitmeier, K. A. Redlich в „Handbuch der Mineralechemie“, Doelet Dresden und Leipzig, 1912, I, pp. 212—267.
- F. L. Hoss, The magnesite deposits California. „Bull.“, 335, U. S. Geol. Survey, 1908.
- C. G. Yale, H. S. Gale and J. M. Hill. Издание „MINERAL RESOURCES“, U. S. Geol. Survey.
- C. H. Delbear. Издание „Mineral Industry“.
- W. W. Bradley. Magnesite in California. „Bull.“, 79, Calif. State Min. Bur., 1925.
- C. D. Dolman. Magnesite, etc. „Trans. Am. Inst. Min. Met. Eng.“, 63, 1920, pp. 175—187.
- 18 Упомянем несколько месторождений менее обширных размеров: магнезит аморфного типа встречается в пластах осадочных пород и в линзах глин на дне озера миоценового возраста, вблизи Bissel, San Bernardino County, в Калифорнии. См. H. S. Gale. „Bull.“, 540, U. S. Geol. Survey, 1914, p. 512.
- Кристаллический магнезит встречается во многих кристаллических сланцах в австралийских Альпах.
- Гидромагнезит ( $3\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 + 3\text{H}_2\text{O}$ ) встречен в Atlin (Британская Колумбия), где его отложение имеет вид белого порошка, залегающего на глубину нескольких футов, напоминая отложения источников. В связи с этим напомним читателю, что H. Leitmeier установил, что в Rohricht (Сирия) водный карбонат магния отлагается водами источника.
- 19 H. C. Boydell. The magnesite deposits of Euboea. „Econ. Geol.“ 16, 1921, pp. 507—523.
- H. S. Gale. „Bull.“, 540, U. S. Geol. Survey, 1914, pp. 483—520.
- 20 K. A. Redlich. Die Genese der Pinolitmagnesite, Siderite und Ankerite der Ostalpen. „Tsch. M. und Petr. Mitt.“ 26, 1907, pp. 499—505.
- K. A. Redlich. Genesis der kristallinen Magnesite. „Zeitschr. Prakt. Geol.“ 21, 1913, pp. 90—101.
- 21 M. E. Wilson. Magnesite deposits of Grenville districts, etc. „MEM“. 98, Canada Geol. Survey, 1917.
- 22 K. Niinomi. „Econ. Geol.“ 20, 1925, pp. 25—53.
- 23 J. S. Mc Dowell and R. M. Horne. Basic refractories for the open hearth. „Trans. Am. Inst. Min. Met. Eng.“ 62, 1920, pp. 90—112.
- 24 C. Doelet. Mineralchemie. 2, pt. 1, 1914, pp. 374—383.
- 25 D. B. Sterrett. „Bull.“, 340, U. S. Geol. Survey, 1908.
- 26 J. S. Diller. Издание „Mineral Resources“, U. S. Geol. Survey (теперь Bureau of Mines).
- C. Doelet. Op. cit. 2, pt. 1, pp. 356—374.
- M. E. Wilson. Talc deposits of Canada. „Mem.“ 2, Econ. Geol. Sur., Geol. Survey Canada, 1926.
- 27 G. P. Merrill. Non-metallic minerals. 1910, pp. 208—216.
- 28 „Zeitschr. Prakt. Geol.“, 8, 1900, pp. 41—44.
- 29 A. Heim. Idem 26, 1918, pp. 9—10.
- 30 Arthur Keith. „Bull.“, 213, U. S. Geol. Survey, 1903, p. 443.
- J. H. Pratt. North Carolina Geol. Survey. „Economic Paper“ 3, 1900, p. 99.
- J. H. Pratt. „Mineral Resources“, U. S. Geol. Survey, 1905, p. 1361.
- 31 C. H. Smyth Jr. „School of Mines Quarterly“ 17, 1896, pp. 333—341.
- 32 E. C. Jacobs, „Rept. Vt. State Geol.“, 1913—1914, pp. 423—425.

- 33 J. L. Gillson. Origin of the Vermont talc deposits. „Econ. Geol.“ 22, 1927, pp. 246—287.
- 34 T. L. Watson. Mineral Resources of Virginia. 1907, p. 293.
- 35 R. B. Ladoo. Talc and scapstone. „Bull.“ 213, U. S. Bur. Mines, 1923.
- 36 G. P. Merrill. „Proc. U. S. Nat. Mus.“ 18, 1895, p. 181. „Bull. Geol. Soc. Am.“ 16, 1905, p. 113. Non-metallic minerals, 1910, pp. 183—197.
- F. Cirkel. Chrysotil-asbestos. Canada Dept. of Mines, Mines Branch, 1910, pp. 316.
- J. S. Diller. Издание „Mineral Resources“, U. S. Geol. Survey.
- 37 O. B. Hopkins. „Bull.“ 29, Georgia, Geol. Survey, 1914.
- 38 A. L. Hall. Asbestos in the Union of South Africa. „Mem.“ 12, Geol. Surv. South Africa, 1918; также „Trans. Geol. Soc. South Africa“ 21, 1918, pp. 1—36.
- 39 J. S. Diller. „Mineral Resources“, U. S. Geol. Survey, 1917, pt. 2, p. 197.
- A. M. Batemann. An Arizona asbestos deposit. „Econ. Geol.“ 18, 1923, pp. 663—683.
- 40 S. Taber. The genesis of asbestos. „Trans. Am. Inst. Min. Eng.“ 57, 1918, pp. 62—98.
- 41 J. A. Dresser. „Econ. Geol.“ 4, 1909, pp. 130—140.
- J. A. Dresser. Preliminary report on the serpentine, etc. of southern Quebec. „Mem.“ 22, Canada Geol. Survey, 1913, p. 103.
- 42 W. A. Rukeyser. Asbestos mining and milling in Quebec. „Eng. Min. Jour. Press“, April, 15 and 22, 1922.
- 43 J. S. Diller. „Bull.“ 470, U. S. Geol. Survey, 1910, pp. 505—524.
- 44 C. H. Clapp. Alunite and pyrophyllite, in B. C., „Econ. Geol.“ 10, 1915, pp. 70—88.
- J. L. Stuckey. On pyrophyllite of North Carolina. Idem 20, 1925, pp. 442—463.
- A. F. Buddington. Pyrophyllitization, etc. at Conception Bay, N. F., „Jour. Geol.“ 24, 1916, pp. 130—152.
- 45 A. Knopf. „Jour. Wash. Acad. Sci.“ 7, 1917, pp. 549—552.
- A. B. Peck. „Am. Mineralogist“ 9, 1924.
- R. B. Ladoo. Non-metallic minerals. New York 1925.
- 46 E. F. Burchard and W. C. Phalen. Издание „Mineral Resources“, U. S. Geol. Survey.
- J. M. Hill. Barytes and Strontium. Прекрасное обозрение в том же издании за 1915 г., pt. 2, pp. 161—187.
- Издание „Mineral Industry“,
- 47 C. W. Dickson. The concentration of barium in limestone. „School of Mines Quart.“ 23, 1902, pp. 366—370.
- 48 A. A. Steel. „Trans. A. Inst. Min. Eng.“ 40, 1910, pp. 85—117.
- A. Tarr. „Econ. Geol.“ 14, 1919, pp. 46—67.
- 49 T. L. Watson and J. S. Grasty. Barite of the Appalachian States. „Trans. Am. Inst. Min. Eng.“ 51, 1916, pp. 514—559.
- J. P. D. Hull. Barite Deposits of Georgia. „Bull.“ 36, Geol. Survey of Georgia, 1920.
- Albert H. Fay. Cartersville. „Eng. Min. Jour. Press“, April 2, 1927.
- 50 Trans. Am. Inst. Min. Eng.“ 38, 1907, pp. 953—976.
- T. L. Watson and J. S. Grasty. Op. cit.
- 51 T. Chapin and C. N. Canfield. „Bull.“ 642, U. S. Geol. Survey, 1916.
- 52 E. F. Burchard. „Bull.“ 592, U. S. Geol. Survey, 1914, pp. 109—117.
- 53 E. Bartling. Die Schwerspatlagerstätten Deutschland. Stuttgart, 1911.
- 54 R. B. Ladoo. Non-metallic minerals. New York 1925, pp. 71—80.
- 55 J. M. Hill. Barytes and strontium. „Mineral Resources“, U. S. Geol. Survey, pt. 2, 1915, pp. 161—187.
- 56 E. H. Kraus and W. F. Hunt. „Am. Jour. Sci.“, 4 th. ser., 21, 1906, p. 237.
- W. A. Sherzer. Idem, 3d ser., 50, 1895, p. 246; „Rept., Michigan Geol. Survey“ 7, pt. 1, 1900, p. 208.
- 57 E. H. Kraus. Idem, 4 th Ser., 18, 1904, p. 30; 19, 1905, p. 286.
- 58 First report. Geol. Survey Texas, 1889, p. 125.
- F. L. Hess. „Eng. and Min. Jour.“ July 17, 1909, p. 117.
- 59 W. C. Phalen. Celestite deposits in California and Arizona. „Bull.“ 540, U. S. Geol. Survey, 1914, pp. 526—531.
- 60 Strontianite deposits near Barstow, California. „Bull.“ 660, U. S. Geol. Survey, 1918, pp. 257—270.

- 61 Götting. „Onsterr. Zeitschr. B. u. H. Wesen“ 37, 1887, p. 113.  
 62 R. L. Sherlock, „Mem. Geol. Survey England“, Special report on mineral resources, 3, 1918, pp. 48—61.  
 63 Обзор европейских месторождений и библиографию (в которую включено много редких изданий) читатель найдет у Stelzner и Bergeat в их труде „Die Erzlagerstätten 1, 1904, pp. 388—439.  
 64 A. Addiassewich. A journey to central Assia. „Trans., Inst. Min. and Met.“ 17, 1907—1908, pp. 498—522.  
 J. Macintosh Bell. The Spassky and Atbassar copper mines. „Min. Sci. Press“, May 22 and June 5, 1920.  
 65 R. Beck. Lehre von den Enzlagerstätten. 2, 1909, p. 172.  
 66 Phillips and Louis. Ore deposits. 1896, pp. 266—269.  
 67 E. T. Dumble. „First Ann. Rept“, Geol. Survey Texas, 1889, p. 186.  
 E. J. Schmitz. Copper ores in the Permian of Texas. „Trans. Am. Inst. Min. Eng.“ 26, 1896, pp. 97—108.  
 S. F. Emmons. Copper in the Red Beds. „Bull“. 260, U. S. Geol. Survey, 1905, pp. 221—232. W. H. Emmons. The Cashin mine. „Bull“. 285, idem, 1906, pp. 125—128.  
 E. P. Jennings. „Trans. Am. Inst. Min. Eng.“ 34, 1904, p. 839.  
 H. W. Turner. Idem 33, 1903, p. 678.  
 W. Lindgren, I. C. Graton and C. H. Gordon. The ore deposits of New Mexico. „Prof. Paper“ 68, U. S. Geol. Survey, 1910.  
 H. S. Gale (Idaho). „Bull“. 430, idem, 1909, pp. 112—121.  
 W. Lindgren (Colorado). „Bull“. 340, idem, 1907, pp. 170—174.  
 W. A. Tarr (Oklahoma). „Econ. Geol.“ 5, 1910, pp. 221—226. A. E. Fath (Oklahoma), idem 10, 1—15, pp. 140—150. L. M. Richard (Texas), idem 10, 1915, pp. 634—650.  
 A. F. Rogers. Origin of copper ores of the „Red. Bed“ type. Idem 11, 1916, pp. 366—380.  
 B. T. Butler и др. Ore deposits of Utah. „Prof. Paper“ 111, U. S. Geol. Survey, 1920, pp. 152—158.  
 68 H. E. Gregory. „Prof. Paper“ 93, U. S. Geol. Survey, 1917, p. 140.  
 J. M. Hill. „Bull“. 540, U. S. Geol. Survey, 1913, p. 163.  
 69 F. C. Schrader. „Prof. Paper“ 68, U. S. Geol. Survey, pp. 141—149.  
 70 Idem, p. 134.  
 71 C. M. Bolker. The silver sandstone district of Utah. „Trans. Am. Inst. Min. Eng.“ 9, 1881, pp. 21—33.  
 B. S. Butler. „Prof. Paper“ 111, U. S. Geol. Survey, 1920, p. 582.  
 72 Старая литература. См. Stelzner und Bergeat. „Die Erzlagerstätten“, 1, 1904, p. 419.  
 G. Steinmann. Rosenbusch Festschrift. 1906, pp. 335—368.  
 F. C. Lincoln. Min. and Sci. Press. Sept. 29, 1917.  
 Lester W. Strauss. „Min. Mag.“ 7, 1912, p. 207.  
 F. A. Sundt. „Eng. and Min. Jour. Press“, Mar. 29, 1924.  
 73 S. H. Ball and M. K. Shaler. Economic Geology of the Belgian Congo. „Econ. Geol.“ 9, 1914, pp. 605—663.  
 P. Fourmarier. Carte géologique du Congo Belge. „Revue Univ. des Mines“, Ser., 7, 5, November, 1924.  
 Publications rel. au Congo Bulge. „Ann. Soc. Géologique de Belgique“, Liege, 1923—1926.  
 H. Buttgenbach, Minéralogie du Congo Belge. Bruxelles 1925.  
 A. B. Parsons. „Eng. Min. Jour. Press“, Dec. 15, 1923.  
 74 H. W. Turner. Geology of Katanga Kadium deposits. „Min. Magaz“, April 1926, pp. 220—223.  
 75 A. F. Rogers. „Econ. Geol.“ 11, 1916, pp. 366—380.  
 76 G. P. Merrill. Non-metallic minerals. 1904, pp. 299—320.  
 W. F. Hillebrand and F. L. Ransome. Carnotite, etc., in western Colorado. „Am. Jour. Sci.“, 4 th ser., 10, 1900, pp. 120—144. „Bull“. 262, U. S. Geol. Survey, 1905, pp. 9—13.  
 R. C. Coffin и др. „Uranium and vanadium deposits of southwestern Colorado. „Bull“ 16, Colo. Geol. Survey, 1921.  
 H. S. Gale (Carnotite in Colorado). „Bull“. 340, U. S. Geol. Survey, 1908; Idem, Bull. 315, 1906, pp. 110—117.  
 F. L. Hess. Vanadium deposits in Colorado, Utah and New Mexico. „Bull“. 530, U. S. Geol. Survey, 1912.

Idem, „Mineral Resources“. Выпуск 1912, pp. 1003—1036.

F. L. Hess. A hypothesis for the origin of the carnotites. „Econ. Geol.“ 9, 1914, pp. 675—688.

F. L. Hess. New and known minerals from the Utah-Colorado carnotite region. „Bull.“ 750, U. S. Geol. Survey, 1925, pp. 63—78.

76 K. L. Kitthil and John A. Davis. Mining and concentration of carnotite ore. „Bull.“ 103, U. S. Bureau of Mine, 1917. Parsons, Moore, Lind and Schaefer. Extraction and recovery of radium, uranium and vanadium, etc. „Bull.“ 104, idem, 1915. R. B. Moore и др. Analytical methods for certain metals. „Bull.“ 212, idem, 1923.

77 Роккоэлит также присутствует в некоторых золотоносных кварцевых жилах и часто здесь ассоциирован с золотом и теллуридами. Маринозит — минерал, характерный для золотоносных кварцевых жил, залегающих в серпентине.

78 В количестве 1 г радио на 3000 кг металлического урана.

79 D. F. Hewett. Vanadium deposits of Peru. „Trans. Am. Inst. Min. Eng.“ 40, 1909, pp. 274—299.

W. F. Hillebrand. The vanadium sulphide, patronite, „Jour. Am. Chem. Soc.“ 29, 1907.

W. F. Hillebrand. „Am. Jour. Sci.“, 4 th ser., 24, 1907, p. 141.

W. S. Hutchinson и др. Report of the subcommittee on vanadium. „Bull. Mining and Met. Soc. of Am.“ 175, 1925.

80 F. B. Notestein. Some chemical experiments on uranium-vanadium. „Econ. Geol.“ 13, 1918, pp. 50—64.

81 F. L. Hess. Rare metals. „Mineral Resources“, U. S. Bur. of Mines, 1923.

82 Наилучшие описания с библиографией читатель найдет у Stelzner and Bergreat в „Die Erzlagerstätten“ 1, 1904, pp. 391—417.

83 E. Beyschlag, в „Deutschlands Kalibergbau“, 1907, p. 4.

P. Krusch. „Zeitschr. Prakt. Geol.“ 27, 1919, pp. 76—84.

H. Schneiderhöhn. „Neues Jahrb.“, B. I. Bd. 47, 1923, с библиографией.

84 Stelzner and Bergreat. Die Erzlagerstätten. 1, 1904, p. 396.

85 Морская вода содержит следы меди, но количество ее так незначительно, что ее присутствие не может объяснить существования мансфельдских месторождений.

86 F. H. Moffit and S. R. Capps. „Bull.“ 448, U. S. Geol. Survey, 1911.

F. H. Moffit. „Bull.“ 662, U. S. Geol. Survey, 1917, pp. 155—182.

87 A. M. Bateman and D. H. Mc Laughlin. Geology of the ore deposits of Kennecott, Alaska. „Econ. Geol.“ 15, 1920, pp. 1—80.

88 F. E. Wright. The intrusive rocks of Mount Bohemia, Michigan. „Seventh Ann. Rept.“, Geol. Survey Mich., 1908.

89 P. Krusch. Ueber die Zusammensetzung der Westfälischen Spaltenwässer. „Zeitschr. Prakt. Geol.“ 12, 1904, p. 252.

## Глава седьмая

# МЕСТОРОЖДЕНИЯ СВИНЦА И ЦИНКА В ОСАДОЧНЫХ ПОРОДАХ, НЕ СВЯЗАННЫЕ С ИНТРУЗИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ

**Характеристика.** Свинцовые и цинковые месторождения, являющиеся темой настоящей главы, представляют тип, встречающийся во всех странах света; если не учитывать некоторых местных особенностей, характер их везде одинаков. Они, видимо, совершенно не связаны с изверженными породами и залегают в известняках, доломитах, кремнистых породах (*cherts*), произошедших из известняков или же из известковых мягких сланцев. В США этот тип представлен рудами Миссисипи Valley; наиболее значительные месторождения находятся в штатах Oklahoma и Миссури.

Минералогический состав несложен и рудные минералы малочисленны. Главными компонентами являются галенит и цинковая обманка с рядом минералов, сопутствующих им на поверхности<sup>1</sup> (сульфаты, карбонаты и силикаты); присутствует большее или меньшее количество пирита, почти всегда марказит и немного халькопирита. Золото, сурьма, мышьяк и молибден совершенно отсутствуют; в некоторых местностях галенит содержит небольшое количество серебра, но в общем месторождения нельзя считать сереброносными. В цинковой обманке нередко присутствует кадмий; последний преимущественно красный, светлобурый или желтый и содержит незначительное количество железа. В качестве вторичного минерала встречается сернистый кадмий (греенокит). Нередко присутствуют незначительные количества никеля и кобальта. Из жильных минералов наиболее характерен доломит; кварц в кристаллах встречается редко, но вторичная кремнистая порода с битумом (халцедоны или опалы) характерна для многих местностей; барит, хотя и встречается, но не характерен.

Руды залегают в зонах местного брекчирования или в трещинах (рубцовые жилы) или по трещинам отдельностей, увеличенным растворением. Реже руды локализуются в сбросовых трещинах; иногда руды чисто метасоматические и вкрапленная минерализация в известняках или доломитах локализована на определенных горизонтах. В этом случае руды не разбросаны беспорядочно по всей толще, а придерживаются определенных направлений, главным образом плоскостей наслоения — «runs». В слабо дислоцированных районах многие наблюдатели отмечают тенденцию руд локализоваться в «пологих корытах» (*pitching troughs*). Руды обычно залегают на глубине нескольких сот метров от поверх-

ности и в соседстве с горизонтом грунтовых вод, окислены. Нередко их находят под водонепроницаемой толщей глинистых сланцев.

**Происхождение.** Мнения относительно происхождения свинцовых и цинковых месторождений, несмотря на простоту структуры и минералогического состава этого типа месторождений, расходятся. Раньше их относили к морским отложениям, но в настоящее время это отвергнуто. Считают, что даже в том случае, если металлы действительно являлись первичными осадками в океанах, тонко дифференцированные сульфиды все же должны были пройти через стадии концентрации и вторичного отложения. Их эпигенетический характер не подлежит сомнению. Некоторые геологи считают, что руды отложены восходящими водами, другие приписывают главную роль в их образовании действию нисходящих поверхностных вод.

Во всяком случае американские геологи держатся того мнения, что атмосферные воды вызвали концентрацию свинца и цинка из осадочных пород палеозоя и что процессы интрузивной и постинтрузивной деятельности не участвовали в осаждении. Эта точка зрения разделяется не всеми и многие исследователи связывают образование месторождений с деятельностью термальных вод, восходящих из больших глубин. Некоторые из этих исследователей полагают, что металлы экстрагированы торячими водами из залегающих ниже докембрийских пород, другие же пытаются установить связь между месторождениями и глубокими интрузиями и магмами. В недавно появившемся справочнике по рудным месторождениям Beyschlag, Krusch и Vogt придерживаются теории, связывающей происхождение этих руд с деятельностью термальных вод. Никто, однако, не может отрицать, что галенит и сфалерит чрезвычайно часто присутствуют в известняках и доломитах вдали от глубоких трещин и интрузивных массивов<sup>2</sup>.

Ассоциация минералов указывает на отложения незначительной глубины при температуре и давлении, мало чем отличающихся от наблюдаемых на поверхности. В этих месторождениях отсутствуют как вещества, приносимые термальными водами вулканического происхождения, так и первичные силикатные минералы. Присутствие марказита говорит в пользу отложения близ поверхности.

Что же касается никеля и кобальта, то выше уже говорилось, что минералы этих металлов нередко встречаются в осадочных отложениях, о чем свидетельствует, например, их присутствие совместно с морскими сидеритами и лимонитовыми оолитами, или то, что в известняке иногда находят миллерит. Если это так, то остается объяснить присутствие двух главных металлов, т. е. свинца и цинка. Большинство геологов, изучивших эти месторождения, считают, что свинец и цинк первоначально содержались в качестве силикатов или сульфидов в более древних кристаллических породах, из которых с течением времени произошли известняки и прочие осадочные породы. Были произведены многочисленные анализы, доказавшие присутствие меди, свинца и цинка. Еще более веские данные даст анализ, произведенный George Steiger смешанной пробы 329 изверженных пород, подвергнутых анализу в лаборатории United States Geological Survey. Этот анализ дал 0,00513% Zn, 0,00075% Pb, 0,00932% Cu, 0,00515% Ni и 0,00048% As<sup>3</sup>. Другой ряд анализов, произведенных в Англии A. M. Finlayson<sup>4</sup>, дает в среднем 0,0032% Pb и 0,00016% Zn.

По данным J. B. Weems и J. D. Robertson, кембрийские и ордови-

ские известняки Миссури содержат в среднем 0,00425% Zn, 0,00096 Pb и 0,00126% Cu<sup>5</sup>. Если эти анализы рассматривать вместе с сводными анализами илов из дельты р. Миссисипи (стр. 38), то цифры подтверждают выше изложенную точку зрения, т. е., что при последовательном отложении осадков количество металлов уменьшается.

В вышеупомянутых анализах отсутствуют анализы глинистого сланца. Однако такое их ощущение не может считаться правильным; весьма возможно, что среднее содержание в них металла будет выше, чем в известняках, о чём и свидетельствуют рациональные анализы, приводимые E. R. Buckley<sup>6</sup> и G. H. Cox<sup>7</sup>.

Siebenthal считает, что при последовательных периодах отложения осадков содержащиеся в породах металлы рассеиваются. На это можно возразить, что известняки выщелачиваются водами несравненно легче, чем кристаллические породы.

В вышеупомянутом труде Siebenthal собрал все доступные ему анализы как американских, так и заграничных вод и установил, что цинк, в особенности, но также медь и свинец присутствуют во многих пробах метеорных вод глубокой циркуляции. Из 392 проб вод штата Кентукки, анализы которых были произведены A. M. Peters, 89 содержали цинк; из этих же проб 36 содержали также H<sub>2</sub>S или Na<sub>2</sub>S. Большинство этих вод были взяты из силурийских и ордовических формаций. Приблизительно те же данные получены при анализе вод штата Миссури. Цинк приносится насыщенными серой соляными водами и щелочноземельными углекислыми водами; последние обычно содержат H<sub>2</sub>S или CO<sub>2</sub> или и то и другое. Кислые воды из пиритовых мягких сланцев также содержат цинк, медь, свинец и никель, о чём свидетельствуют анализы, приведенные в гл. III вып. I настоящего труда. Это служит доказательством того, что металлы могут экстрагироваться из осадочных глинистых отложений. Наконец, Siebenthal установил, что отложения закрытых бассейнов (reservoir deposits) из 15 глубоких скважин в Миссури и Oklahoma, воды которых относятся к щелочному или соляному типу, содержат значительное количество сернистого железа, а также цинк, свинец и медь, из которых все, вероятно, присутствуют также в виде сульфидов. Пропущенные осадки содержали не свыше 0,6% Zn, 0,2% Pb и 0,1% Cu. Цинк присутствовал в 13 образцах, свинец в 11 и медь в 9. Анализ самих вод обычно показывал следы цинка, не свыше 0,6 части на миллион.

Судя по этим исследованиям<sup>8</sup>, представляющим наиболее подробные данные, собранные лицами, защищающими взгляд о происхождении обсуждаемого типа месторождений в результате деятельности метеорных вод, цинк и свинец присутствовали в древних палеозойских известняках в виде мелкой вкрапленности сульфидов. Воды, содержащие CO<sub>2</sub>, разлагали сульфиды с образованием бикарбонатов и сероводорода. В присутствии CO<sub>2</sub> сероводород не является сильным осадителем, но когда подвижные растворы застаиваются в местах, благоприятных для осаждения, выделяется CO<sub>2</sub>, а остающийся H<sub>2</sub>S осаждает металлы в виде сульфидов.

Хлориды свинца и цинка несравненно более растворимы по сравнению с бикарбонатами, и крепкие рассолы хлористого натрия несомненно участвовали в перенесении металлов. R. C. Wells установил, что слабые растворы соли растворяют лишь небольшое количество сульфидного цинка<sup>9</sup>. Более крепкие растворы могут быть активнее. Таким образом,

объясняемая здесь теория основана на выщелачивании свинца и цинка, присутствующих в известняках и глинистых сланцах в виде мельчайших сульфидных вкраплений.

**Moresnet**<sup>10</sup>. Область Moresnet, распространяющаяся на Бельгию, Люксембург и Пруссию, сложена известняками и глинистыми сланцами девона и карбона, смятыми в складки и нарушенными несколькими большими сбросами; их несогласно перекрывают меловые породы. Руды концентрируются, преимущественно следуя этим направлениям дислокации, отчасти в виде выполнения жил, отчасти крупными месторождениями замещения в известняках, на контакте со сланцем или при пересечении ряда сбросов. Упоминается о доломитизации известняков. Руды содержат цинковую обманку, галенит, сульфиды железа и кальцит; нередко наблюдается тесное прорастание галенита с цинковой обманкой. Иногда присутствует никель. Близ поверхности были обнаружены крупные массивы каламина, распространявшиеся в среднем до глубины 160'. В не-



Рис. 71. Разрез через синклинали в Tarnowitz и Beuthen (Силезия).  
P. St.—карбон, B—триасовый песчаник, S—триасовый известняк, Do—доломит, b—месторождения галенита, z—месторождения цинковой руды, o—окисленные цинковые руды, e—лимонит, T—третичные пласти, Dt—четвертичные (по Гюрих).

которых случаях, как, например, в Vieille Montagne, мощные скопления каломиновых руд достигали глубины 330'. Сульфиды появились на глубине 170—330', т. е. значительно ниже уровня подземных вод<sup>11</sup>. Весьма обычны концентрические прорастания (коллоидального происхождения) вюрцита, цинковой обманки и галенита (Schalenblende).

По мере углубления качество руд ухудшается и появляется большой приток воды. Значительная часть мировой добычи цинка приходилась на эти месторождения.

**Силезия**<sup>12</sup>. Первой в мире областью по добыче цинка является Силезия, входившая до мировой войны в состав Прусского королевства. Месторождения расположены преимущественно на территории, перешедшей к Польше. Руда залегает в триасовых песчаниках и известняках, образующих плоские синклинали (рис. 71). В нижней части «Muschelkalk» имела место доломитизация, преимущественно по трещинам; под доломитом залегает непроницаемая глинистая порода («Sohlenstein»). Циркуляция грунтовых вод, доломитизация и оруденение, видимо, тесно связаны. Замещающие известняки руды локализуются на двух горизонтах — нижнем, в толще доломита, мощностью в несколько метров, на глубине не более 400' от поверхности с содержанием галенита, цинковой обманки и большого количества марказита, и верхнем (Фёльнингенский) — ните (углекислый цинк) значительной мощности. В наименее присущая

ствует небольшое количество серебра (0,02—0,03%); иногда присутствует марганец (в форме псиломелана). По имеющимся сведениям руды

содержат в среднем 17% Zn и 5% Pb. В марказите присутствует небольшое количество мышьяка и следы никеля. Последовательность следующая: марказит (самый ранний), цинковая обманка и галенит<sup>13</sup>. В цинковой обманке и марказите наблюдается тонкая коллоформная структура. До мировой войны ежегодно добывалось около 1 400 000 метрических тонн руды с выходом приблизительно 17% Zn и 5% Pb.

Относительно генезиса этих руд мнения чрезвычайно различны. Beyschlag и Michael<sup>14</sup> установили, что некоторые из содержащих руду трещин достигают отложений карбона, и заключают из этого, что руды образовались восходящими водами; другие, например, Sachs, полагают, что руды отложились нисходящими водами, причем роль осадителя принадлежала органическим веществам.

**Альпийский триас.** Многочисленные месторождения этого типа залегают в альпийском триасе (Австрия). В Bleiberg (Каринтия) руды заполняют пластовые и секущие трещины с образованием рубцовых жил; они состоят из светлой цинковой обманки и марказита с жильной породой, состоящей из кальцита и барита, а также небольших количеств ангидрита и флюорита, но не кварца. Серебро, сурьма, медь и мышьяк отсутствуют.

В Raidl (описан Posepny)<sup>15</sup> руды образуют выполнения и замещения по трем дислокационным линиям. Минералами являются сфалерит (иногда с вюрцитом) и галенит с небольшими количествами марказита и халькопирита; их отложение сопровождалось сильной доломитизацией. Posepny дает описание сталактитов галенита, пирита и цинковой обманки, встречающихся довольно редко.

**Другие месторождения в Европе.** Обширные месторождения Santander (Испания), приурочены к известнякам карбона; их считают замещениями по путям дислокационных трещин. Светло-желтая цинковая обманка этих месторождений пользуется большой известностью. Присутствует незначительное количество киновари.

В Monteponi<sup>16</sup> (Сардиния), в палеозойских известняках залегают крупные штоки галенита с цинковой обманкой и пиритом. Наблюдается сильная доломитизация; встречается также много кварца и барита. Присутствует киноварь и местами серебро. Изверженные породы представлены только диабазом.

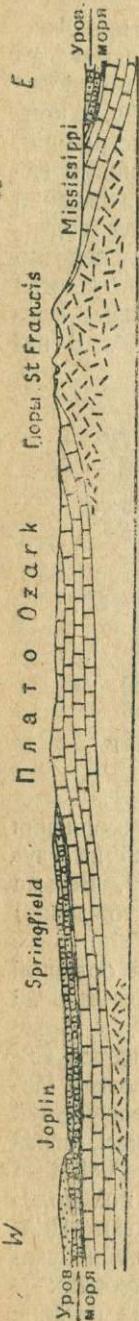


Рис. 72. Сводный разрез в направлении с востока на запад через Joplin, Missouri и St. Francis Mountains, иллюстрирующий плоскую куполообразную вершину кембрийского и ордовикского известников и докембрийских кристаллических пород, поверх которых залегают маломощные слои девонских глинистых сланцев и других отложений карбона (по W. S. T. Smith и C. E. Liebenthal).

Генезис Австрийских, Испанских и Сардинских месторождений не установлен. Они вероятнее всего образовались восходящими водами и, возможно, связаны с третичными изверженными породами.

**Свинцово-цинковые руды долины Миссисипи.** Одна из интереснейших металлоносных областей, для которых характерны свинцовые и цинковые руды, простирается по долине Миссисипи, обычно в пологозалегающих палеозойских известняках, начиная от ордовика до нижнего карбона (миссисипский) включительно. Месторождения этих руд захватывают штаты Arkansas, Missouri, Oklahoma, Kansas, Illinois, Wisconsin и Iowa; на восток они распространяются на западные округа штатов Virginia и Tennessee. Эксплоатация в широком масштабе ведется лишь в немногих районах. Мелкие месторождения свинца и цинка очень широко разбросаны; они имеются даже в штатах Pennsylvania, New-York

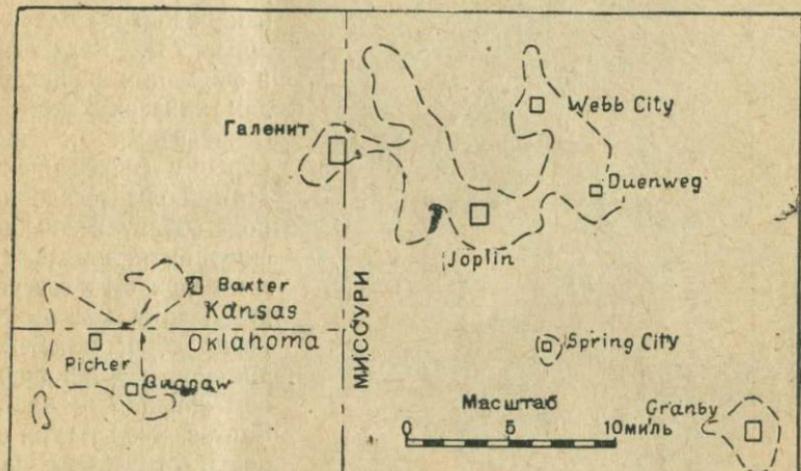


Рис. 73. Расположение Трехштатного рудного поля.

и Ontario. Изверженные породы отсутствуют. Тем не менее в южном Arkansas, Kentucky и южном Illinois имеются мелкие месторождения, в которых присутствуют золото, серебро, сурьма или флюорит; они, видимо, генетически связаны с местными интрузиями изверженных пород. Главные характерные особенности преобладающего типа получили достаточно освещение в начале этой главы. В подробностях имеются значительные различия.

В отношении продуктивности<sup>17</sup> первое место занимает «Область трех штатов» (Tri-state field), захватывающая часть Миссури, Oklahoma и Kansas (рис. 72). Центр цинкодобывающей промышленности находится в юго-западной части штата Миссури, близ Joplin; в 1925 г. здесь было добыто 383 000 коротких т металлического цинка на сумму приблизительно 58 млн. долл., что составляет приблизительно 64% всего полученного в США цинка. За тот же год добыча свинцовой руды в юго-западной части штата Миссури составляла 209 000 коротких т металлического свинца на общую сумму 36 400 000 долл., что составляет 39% всей добычи свинца в США. В данной местности «рудой» (ore) называют концентраты, а собственно руду «материалом, содержащим металл» (dirt). В штатах Миссури, Oklahoma и Канзас ежегодно добывают до 21 млн. т руды. Сопоставив эту цифру с количеством полу-

чаемого металла, можно видеть, что руды убогие. Для металлургической обработки руды обогащаются.

Область Thri-state<sup>18</sup>. Район Joplin охватывает не только часть штата Миссури, но также прилегающие округа штатов Kansas и Oklahoma (рис. 72). Главнейшие рудники расположены в Aurora, Granby, Webb City, Joplin, Galena, Baxter Springs и Picher. В старицу здесь добывались только свинцовые руды, но начиная с 1870 г. стали разрабатывать и цинковые, и в настоящее время первое место занимают именно последние. В районе Joplin свинца добывается вчетверо меньше цинка. Выход металлов из неподвергшихся обработке руд в среднем 3,0% Zn и 0,7% Pb. Концентраты содержат в среднем 50% Zn и 79% Pb. Плавильные заводы расположены в Kansas и Oklahoma. Рудоносный район расположен на склонах поднятоего плато Ozark (рис. 73). Руда залегает в формации Boone, в породах киндерхукской свиты, относящейся к нижнему карбону (миссисипский отдел). Толща осадочных пород образует очень плоскую антиклиналь с пологим падением к северо-западу; пласти несколько смешены сбросом «Seneca» в Миссури и Oklahoma и сбросом «Miami» в Oklahoma и Kansas. Все эти три особенности структуры представляют для рудоотложения большое значение. Формация Boone включает свиту светлоокрашенных кремнистых пород (cherts), особенно развитых в кремнисто-сланцевом отроге Grand

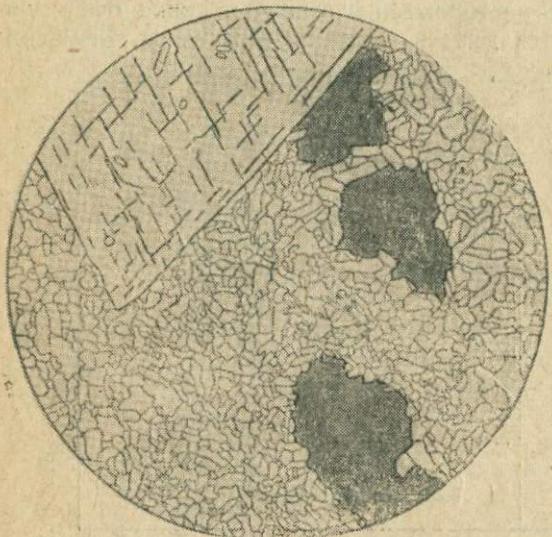


Рис. 74. Шлиф „черного chert“, иллюстрирующий основную массу в виде мелкозернистого кварца с зернами цинковой обманки (заштриховка) и кристаллами доломита. Следует особенно отметить кристаллы кварца, развившиеся в доломите.

Увеличение 53X (по Smith и Siebenthal).

Falls, в котором распространены, так называемые, «пластообразные» (sheet ground) месторождения. В верхних слоях формации Boone встречаются многочисленные провалы и пещеры, быть может являющиеся путями водного стока; на эту карстовую топографию были отложены песчаники и глинистые сланцы, отчасти углистые, пенсильванского отдела карбона; наблюдается обусловленное эрозией несогласие. Большинство этих пород в последующую за карбоном эпоху были срезаны эрозией, но близ Joplin пенсильванские глинистые сланцы сохранились во многих древних карстовых впадинах (рис. 75) и покрывают весь район Oklahoma.

Следующая последовательность минералов дается Smith и Siebenthal: доломит (самый ранний), халькопирит, галенит, сфалерит, галенит, халькопирит, марказит, пирит, кальцит, барит и марказит; в одной и той же местности редко можно видеть весь ряд. Все минералы часто правильно выкристаллизованы. Общее мнение склоняется к тому, что оруденение началось доломитизацией; Bain считает, что процесс доломитизации

является результатом более быстрой диффузии в рудообразующих растворах окиси магния, чем цинка. Сфалерит встречается в виде кристаллов и зерен во вторичной кремнистой породе (chert), составляющей жильную породу; в первичной кремнистой породе метасоматический сфалерит отсутствует (см. рис. 74). Эта вторичная кремнистая порода (chert), состоящая из криптокристаллического или мелкокристаллического кварца, содержит много органического вещества с мелковкрапленными сульфидами<sup>19</sup>; окраска ее темнее первичного кремнистого chert, образовавшегося до рудоотложения. Кремнистые породы (chert) весьма вероятно являются частично продуктом замещения известняков, отчасти же там, где они цементируют брекции, окремненными илистыми отложениями.

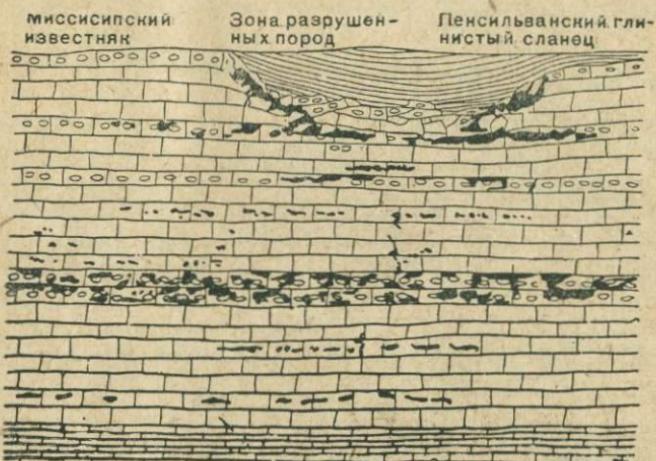


Рис. 75. Схематический разрез свинцово-цинковых месторождений в Joplin, показывающий взаимоотношения разломанных пород, провалов и нормально-пластовых руд в Grand Falls. Черный цвет — руда. Масштаб 100 футов в 1 дюйме.

Видимо они являются коллоидальными, перекристаллизованными отложениями.

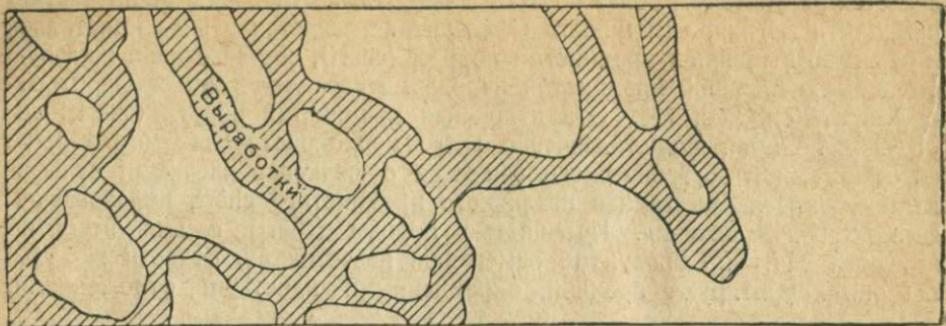
Средняя из 3 800 проб цинкового концентрата имеет следующий состав<sup>20</sup>.

#### Анализ концентрата цинковой обманки из района Joplin в процентах:

Цинк . . . . .	58,260	Сера . . . . .	30,720
Кадмий . . . . .	0,304	Углекислый кальций .	1,880
Свинец . . . . .	0,700	Углекислый магний .	0,850
Железо . . . . .	2,230	Сернокислый барий .	0,820
Марганец . . . . .	0,010	Кремнезем . . . . .	3,950
Медь . . . . .	0,049		
			99,773

Галенит содержит лишь следы серебра.

Руды находят в виде неправильной формы залежей в «разломанных породах» (broken ground) близ поверхности и в виде плоских, пласто-видных залежей («blanket deposits sheet ground») в кремнистых породах Chert, являющихся одним из членов формации Boone, на глубине 150—300'. Ниже этого горизонта залегают пока неэксплуатируемые



0 100 200 фт

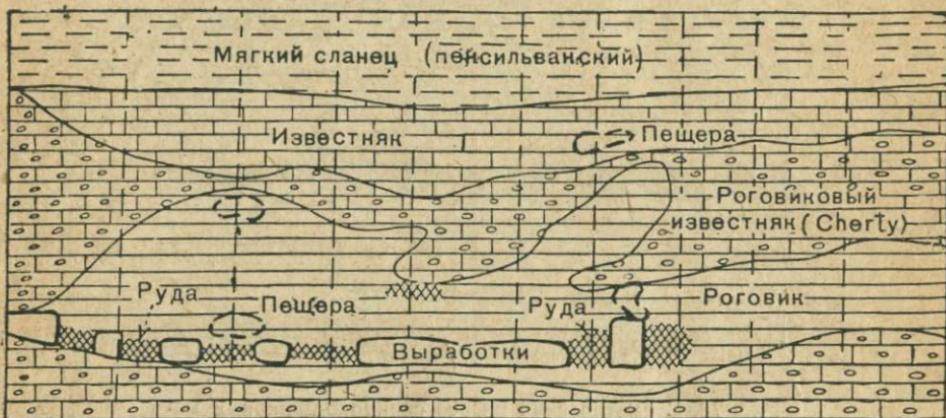
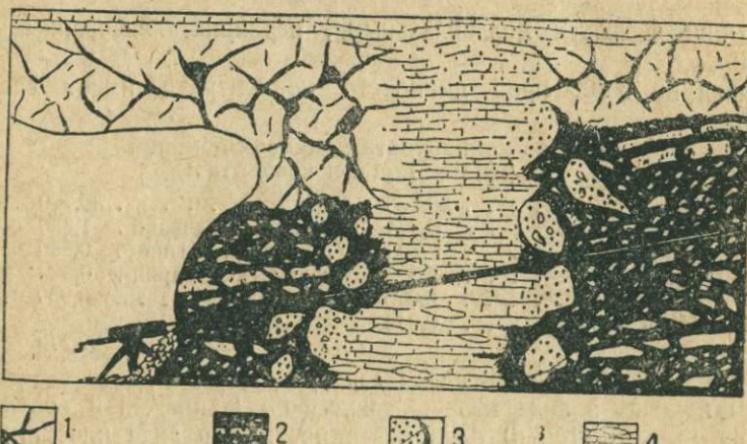


Рис. 76. План и разрез, показывающий расположение выработок в типичном свинцово-цинковом руднике в Picher (Oklahoma).



1

2

3

4

Рис. 76а. Детали строения рудных участков, сложенных доломитовыми рудами (по N. F. Netzeband)

1—массивные серые роговики с прожилками кальцита, 2—вудоносные джаспероиды в виде брекчии, 3—серый доломит с розовыми разводами, 4—известник с желваками роговика.

вкрапленные руды, ценность которых находится под сомнением. Руды нижних горизонтов встречаются преимущественно в виде выполненных пустот отдельных жил, имеющих второстепенное значение. Рудные минералы вместе со вторичными кремнистыми породами (*cherts*) выполняют пустые пространства в брекчиях или пустотах, образуемых растворением по плоскостям наслоения и, может быть, также в деформационных трещинах в известняках.

В «разломанных породах» (*broken ground*), достигающих глубины 100—150', руды концентрируются в глинисто-кремнистых породах (*cherts*), в древних карстовых провалах, выполненных позже отложениями пенсильванских (карбоновых) осадков или по периферии тех провалов, сопровождающихся обвалами и оползнями, в которых при этом образовались открытые щели и кратеры (рис. 75). В этих залежах преобладает галенит, отчасти вследствие растворения и окисления цинковой обманки, отчасти благодаря тому, что в этих верхних горизонтах под глинистыми сланцами преобладало отложение галенита. Здесь в противоположность пластовидным залежам (*sheet ground*), видим крупные скопления галенита. Как в Joplin, так и в Aurora (рис. 76 а), а также и в рудниках Oklahoma для верхних залежей характерной формой являются залежи по плоскостям наслоения (*runs*). Они нередко тянутся на расстояние 1—2 миль, держась одного и того же горизонта и на глубине, не превышающей 250' — обычно меньше. Ширина такого рода скопления руды редко превышает 50—150' и мощность их от нескольких метров до 80'. Эти залежи (*runs*), видимо, приурочены к пустотам, образовавшимся растворением, контролируемым трещинами отдельностей в породах.

Хотя местами брекчирование и минерализация опускаются до пластообразных и плоских залежей, направление простирания и локализация последних в общем не зависят от древнего допенсильванского рельефа поверхности. В пластообразных залежах, имеющих мощность от 6 до 15', галенит и цинковая обманка встречаются в темных кремнистых породах (*cherts*), выполняя брекчированные древние кремнистые породы, а также в вытянутых узких пустотах, образовавшихся растворением пропластков известняка в толще кремнистых пород. Плоские залежи имеют низкопроцентные руды и не могут являться объектами крупной добычи (рис. 77).

В настоящее время наиболее производительными являются не так.

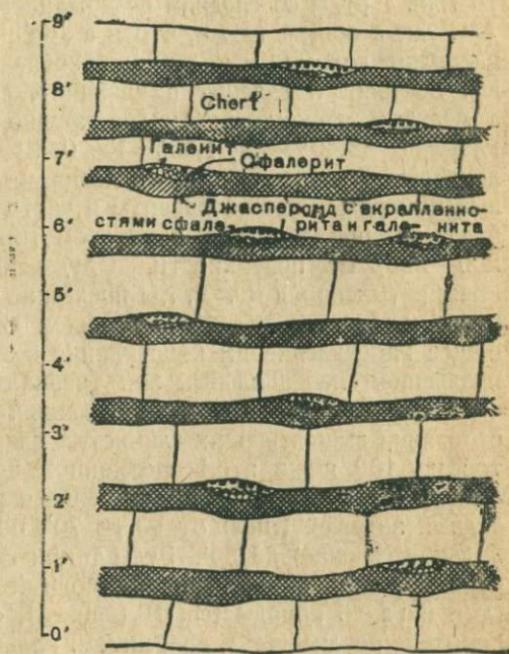


Рис. 77. Зарисовка, изображающая распределение галенита и сфалерита в пустотах рассланцеванной зоны, Joplin, Mo (по С. Е. Siebenthal).

давно открытые месторождения в северо-восточной части штата Oklahoma, а именно в Picher<sup>21</sup> (рис. 73). На площади, занимающей около 30 кв. миль, в 1925 г. имелось 132 рудника; в том же году эти рудники дали 272 тыс. т металлического цинка и 78 тыс. т металлического свинца. Лишь немногие рудники глубже 250'. Отдельные рудники, занимающие площадь до 40 акров, быстро вырабатываются. Возможно, однако, что будут открыты новые залежи. Находятся в действии 100 фабрик для мокрого обогащения руды и флотации. Эти обогатительные фабрики столь же недолговечны, как и рудники. В 1925 г. было добыто 10 млн. т руды со средним содержанием 3,01% Zn и 0,80% Pb.

Руды в общем те же, что и в Joplin. Жильными минералами являются хальцедон, доломит и кальцит; преобладающие рудные минералы — цинковая обманка и галенит с незначительным количеством халькопирита, а местами марказита. Анализ крупной средней пробы концентрата показывает 58,40% Zn, 1,80% Fe, 0,92% Pb и 0,42% Cd. Признаков коллоидального отложения и коллоформных структур не наблюдается; рудные минералы хорошо развиты и часто хорошо выкристаллизованы. Руда залегает, примерно, на оолитовом горизонте Short Creek, на глубине 200—250' от поверхности. Оруденение тесно связано с замещением кремнистых пород и там, где последние отсутствуют, оруденение в известняках незначительно. Хотя в общем «Runs» имеют неправильную форму, общее направление их простирации северо-восточное, совпадающее с направлением неправильных зон трещиноватости.

Лишь в немногих месторождениях оруденение доходит до нижнего основания вышележащих глинистых сланцев, и руды обычно залегают футов на 100 ниже этой эрозионной поверхности. Мощность глинистых сланцев от 100 до 150'; оруденение в них отсутствует. Ширина пласто-видных залежей (runs) от 50 до 70', обычно меньше и мощность (вертикальное сечение) до 80'. Руды таких залежей (runs) образуют брекчированные массы, в которых обломочный фрагмент, состоящий из кремнистой белой породы (chert) (ранней), сцеплен с черной кремнистой породой (позднейшей), доломитом, кальцитом и сульфидом (см. рис. 76 а).

Иногда встречаются открытые пустоты; во многих других месторождениях руды локализуются по плоскостям наслаждения и в чечевицеобразных пустотах и пространствах, образовавшихся вследствие растворения. Часто «runs» идут по двум или более горизонтам на расстоянии 100' друг от друга и верхний «гип» соединяется с нижним.

Наблюдаются признаки циркуляции восходящих вод, местами сильно насыщенных сероводородом. Местами много битумов. Характер таких месторождений говорит об образовании их восходящими водами. Возможно, что нижние горизонты кремнистых пород, относящихся к свите Grand Falls, обнаружат в дальнейшем пластовые залежи руд. Некоторые рудники уже ведут на этом горизонте эксплоатационные работы, но эти месторождения нижних горизонтов вряд ли будут столь же продуктивны, как ныне эксплуатируемые.

**Арканзас.** В северной части штата Арканзас<sup>22</sup>, несколько к юго-востоку от района Joplin, в трещинах или пустотах, в сбросовых брекчиях и в пустотах, образовавшихся вследствие растворения, залегает цинковая обманка, обычно без галенита; ее сопровождают вторичные кремнистые породы (cherts) или доломит, иногда также кристаллический кварц; руды залегают в ордовическом известняке, а также в формации Boone (миссисипская).

**Верхняя долина «Миссисипи»**<sup>23</sup>. Верхняя часть долины Миссисипи проходит по штатам Wisconsin, Iowa и Illinois. Наиболее значительные рудники расположены в штатах Wisconsin и Illinois, в 1925 г. они дали 1 900 коротких т металлического свинца и 20 тыс. т металлического цинка. Рудные месторождения залегают в ордовичских породах в почти горизонтальном положении. Различают следующие формации:

	Ф у т ы
Глинистые сланцы Цинциннати или Макуокета .	160
Галенитовые доломиты . . . . .	240
Платтевильские известняки (Trenton) . . . . .	55
Песчаники St. Peter . . . . .	100
Нижние магнезиальные известняки . . . . .	350

Ниже магнезиального известняка залегает кембрийский потсдамский песчаник мощностью 700'. У основания формаций Galena, или вверху Trenton, залегает тонкий пласт так называемых «нефтеносных пород» (oil rock). Породы имеют пологое падение к юго-западу и смяты в неглубокие синклинальные «корыта».

Руды встречаются только в известняках Galena и в верхних зонах платтевильского известняка; рудные минералы — марказит, сфалерит и галенит, отложившиеся в перечисленном порядке. Жильными минералами являются кальцит, реже барит. Кадмий отсутствует, но имеются следы серебра. Марказита так много, что он усложняет обработку руды, требуя при концентрации электростатического или магнитного разделения. Перед поступлением в магнитный сепаратор руда слегка обжигается.

Руды выполняют открытые пространства вертикальных трещин или «рубцовых жил», связанных с крутыми pitches и пологими трещинами flats, образовавшимися, вероятно, вследствие растворения по плоскостям наслоения и отдельностей (рис. 78). Иногда находят сталактиты сульфидов, свидетельствующие о том, что эти открытые пустоты были не всегда заполнены растворами. Местами встречаются плоскозалегающие скопления вкрапленных руд. Близ поверхности преобладает галенит, вероятно, вследствие того, что цинковая обманка растворялась в виде сульфата и на нижних горизонтах превратилась в силикат или карбонат. На глубине руды представляют преимущественно цинковую обманку с небольшим количеством галенита. Выработки достигли глубины 200'. По словам Bain, распространение битуминозных сланцев, видимо, совпадает с границами площи оруденения. Однако Соух считает, что металлы имеют своим источником вышележащие глинистые сланцы Maquoketa, откуда они были перенесены вниз и концентрировались в известняках Galena.

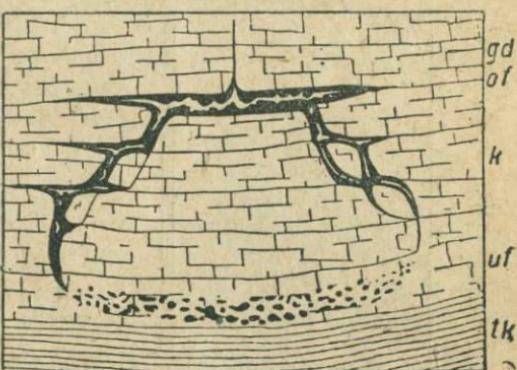


Рис. 78. Условия залегания свинцовых и цинковых руд в вертикальных трещинах, пластовых (flats) и наклонных (pitches), а также в форме вкрапленности.  
gd — галенитовый доломит; tk — известняк; of — верхний flat; uf — нижний flat; k — наклонные крутые трещины тела, соединяющие flats, pitches и вертикальные (по Т. С. Chamberlin).

gd — галенитовый доломит; tk — известняк; of — верхний flat; uf — нижний flat; k — наклонные крутые трещины тела, соединяющие flats, pitches и вертикальные (по Т. С. Chamberlin).

**Virginia и Tennessee**<sup>24</sup>. В западной части штата Virginia и близ Knoxville в Texas свинцовые и цинковые руды залегают в кембро-ордовических (Schenandoah) известняках, преимущественно там, где породы разбиты сбросами и брекчированы. Жильными минералами являются кальцит, доломит, реже барит. Присутствуют незначительные количества кварца и пирита; преобладает светлая цинковая обманка.

**Юго-восточный Миссури**<sup>25</sup>. В восточной части штата Миссури, недалеко от р. Миссисипи и к югу от St. Louis, свинцовые руды добывались в более или менее широком масштабе уже начиная с XVIII в. За последние годы горная промышленность здесь значительно возросла; среди производящих предприятий первое место принадлежит St. Joseph Lead Company. В 1925 г. район дал 209 тыс. коротких т металлического свинца на общую сумму 36 350 000 долл. Руды, содержащие примерно

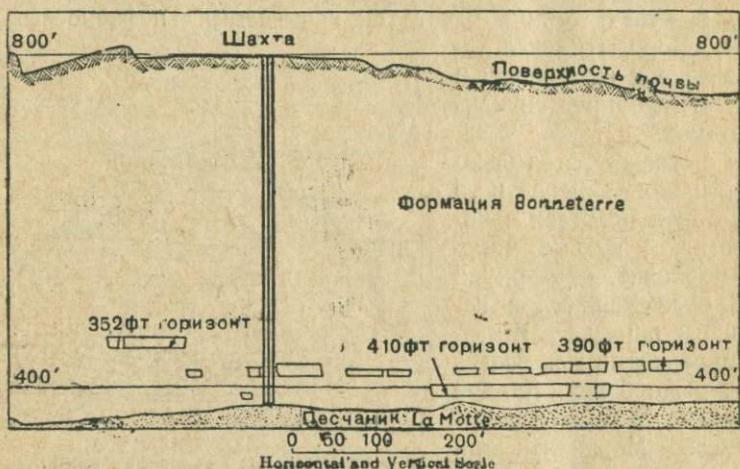


Рис. 79. Вертикальный разрез по выработкам рудника № 4, Federal Lead Company, ю.-в. Миссури. Горизонтальные скопления вкрашенных руд локализуются по плоскостям напластования слоистого доломита формации Bonneterre (по E. R. Buckley).

3,4% Pb, обогащаются при производительности 20 тыс. т в сутки. Часть галенита плавится на месте. Руды почти не содержат цинка.

Месторождения приурочены к кембро-ордовическим породам, т. е. к более древним, чем руды долины р. Миссисипи. На неровной поверхности докембрийских гранитов и порфиров залегают базальные песчаники La Motte мощностью около 200' (рис. 79). Их покрывают песчанистые доломиты формации Bonneterre, часто хлоритовые с прослойками глинистых сланцев общей мощностью от 300 до 400'. Bonneterre перекрывают формации Davis, Derby, Doe Run и Potosi, представленные, преимущественно, доломитами и глинистыми сланцами. Основной рудный горизонт расположен в нижней части доломитов Bonneterre, хотя некоторое количество галенита рассеяно по всей формации. Второй, менее значительный горизонт руд находится в доломитах Potosi, где галенит сопровождается баритом. Вся толща лежит горизонтально или с весьма незначительным падением.

Рудными минералами является преимущественно галенит, сопровождаемый кальцитом, небольшим количеством пирита и иногда халькопи-

рита. Местами, как, например, в руднике La Motte и в Fredericktown, руды содержат никель и кобальт в виде линнита ( $\text{Co}, \text{Ni}_8\text{S}_4$ ); некоторые из руд разрабатываются на эти металлы. Watt приводит типичный анализ сырой руды из юго-восточного района.

### Анализ вкрапленных руд из юго-восточного Миссури, в процентах:

Pb . . . . .	4,32	$\text{Al}_2\text{O}_3$ . . . . .	1,16
Cu . . . . .	0,03	$\text{CaO}$ . . . . .	30,80
Zn . . . . .	0,50	$\text{MgO}$ . . . . .	17,96
S . . . . .	0,97	$\text{CO}_2$ . . . . .	32,79
$\text{SiO}_2$ . . . . .	4,83		
$\text{Fe}_2\text{O}_3$ . . . . .	6,64		100,00

Серебро 0,12 унций на тонну. Следы Ni, Co, Mn.

Watt установил, что серебро следует за цинком. Концентраты цинковой обманки содержат до 10 унций серебра на тонну.

Руды часто называют вкрапленными вследствие того, что галенит обычно встречается в зернах или кристаллах, вкрапленных в зеленовато-серый доломит (рис. 80); иногда диаметр вкрапленных кристаллов достигает нескольких сантиметров.

Согласно Buckley, руды нижней части Bonnetterre имеют следующие формы залегания:

1. В виде горизонтальных пластов по плоскостям напластования, обычно вдоль висячего бока тонких пластов глинистых сланцев.

2. Вкрапленными в доломитах.

3. Выполнениями или проводниками в трещинах отдельностей.

4. В пустотах или жеодах.

Галенит постоянно ассоциирован с темным доломитом и черным глинистым сланцем.

Разработка ведется вертикальными шахтами глубиною от 100 до 550'. Руда не следует во всех направлениях равномерно, как каменноугольные пласти, но плоские скопления «runs» или «Shoots» довольно упорно следуют одному или двум направлениям, без сомнения обусловливаемым присутствием отдельностей и небольших трещин сбросов. Некоторые из этих скоплений «runs» прослежены на протяжении нескольких миль; местами их ширина достигает нескольких сот футов. Некоторые из выработок в Bonnetterre достигают вертикальной высоты до 100'.

**Генезис месторождений долины Миссисипи.** Относительно генезиса этих руд существует обширная литература, полная противоречий и расхождений мнений. Большинство, однако, приходит к тому заключению, что первоначальным источником оруденения являлись палеозойские осадочные породы и что перенос и отложение были осуществлены атмосферными водами. В наше время относительно месторождений в Миссури существует три противоположных мнения. Представителями одной группы

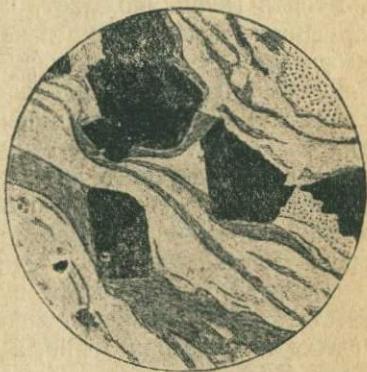


Рис. 80. Кристаллы галенита, развивающиеся в слоистом доломите. Черный цвет—галенит, штриховка пунктир—доломит, белый цвет—кварц. Увеличение  $10\times$  (по E. R. Buckley).

плоские скопления «runs» или «Shoots» в слоистом доломите.

ученых являются Whitney, Chamberlin, Blake, Robertson, Winslow, Buckley, Buchler, другой — Van Hise, Bain, W. S. T. Smith и Siebenthal. Buckley и Buchler считают, что источник свинца и цинка следует искать в пенсильванских осадочных породах, в которых, однако, обширные месторождения отсутствуют, но местами попадаются небольшие скопления галенита и цинковой обманки. Мелко разделенные сульфиды растворились в виде сульфатов и были унесены вниз в кислых растворах, которые в дальнейшем смешались с щелочными или нейтральными растворами из неокисленных площадей пенсильванских осадочных пород. Эти смешанные воды отложили галенит и цинковую обманку в карстовых провалах и открытых путях подземного стока ниже залегающих миссисипских известняков и кремнистых пород (*cherts*). В этой теории имеется две неувязки: 1) она подразумевает прохождение вод через непроницаемый покров глинистых сланцев, и 2) глинистые сланцы не могли дать такого громадного количества металлов.

Примерно ту же теорию Buckley выставляет для свинцовых месторождений юго-восточного Миссури. Доводы, представляемые второй группой ученых, безусловно более состоятельны.

Вторая группа полагает, что источник руд *находится* в различных формациях, залегающих ниже пенсильванской, в частности в кембрордовской, и что проходящие через эти породы атмосферные воды натолкнулись на водонепроницаемые пласти пенсильванской формации и отложили здесь руды в до-пенсильванских брекчиях и карстовых впадинах. Smith и Siebenthal считают, что руды образовались значительно позже пенсильванского времени, после поднятия плато Ozark (рис. 72), обусловившего артезианскую циркуляцию вод. Поверхностные воды проникали в древние палеозойские обнажения к югу и востоку от района Joplin. Проследовав некоторое время по этим пластам, они поднялись по трещинам отдельностей и брекций, столь развитым в миссисипских известняках до водонепроницаемых глинистых сланцев. И действительно, в глубоких колодцах Joplin, а также и в Picher и в юго-восточной части штата Wisconsin явно наблюдается напор артезианских вод. В общем разделе настоящей главы уже упоминались доводы, приводимые Siebenthal'ем в защиту выдвигаемой им артезианской теории.

По этому вопросу интересную гипотезу высказывает E. S. Bastin<sup>26</sup>. В некоторых глубоких водах нефтеносной области живут микроорганизмы, способные восстанавливать сульфаты. Если растворы, содержащие металлы в равновесии с радикалами сульфата, хлорида, или бикарбоната, приходят в соприкосновение с относительно стоячей водой, содержащей  $H_2S$ , то должно последовать осаждение в виде сульфидов. Значение этой гипотезы очевидно; она особенно приложима к месторождениям Оклахомы.

Относительно месторождений Wisconsin и Illinois Van Hise и Bain полагают, что металлы присутствовали в виде мельчайших включений в доломите Galena в третичную эпоху и позднее произошла их концентрация, вероятно под действием поверхностных вод, спускающихся в не глубокие «корыта» через трещиноватый известняк Galena, и что восстановление осуществилось присутствующими в нефтеносной породе органическими веществами. В известняке Galena растворы в сущности были зажаты между двумя почти непроницаемыми пластами глинистого сланца.

Cox считает, что металлы произошли из залегающего вверху глинистого сланца Maquoketa; в последнем он находит следы присутствия суль-

фидов, в частности сфалерита. Он небезосновательно указывает на то, что эти сланцы являются прибрежной формацией, в которой металлические вещества, приносимые с ближайших местностей материка, будут легко отлагаться в виде дегрита (обломков) или осаждаться из растворов.

Относительно месторождений долины Миссисипи существует еще третье мнение, уже давно высказанное Jenney и Nason. Они считают, что термальные воды поднимались из зон, расположенных ниже толщи палеозойских пород, и что рудоносные растворы глубинного происхождения. Не так давно W. A. Tarr, изучавший свинцово-баритовые жилы Washington County в штате Missouri (стр. 123), высказал мнение о магматическом происхождении руд. В 1915 г. L. V. Pirsson<sup>27</sup> выразил предположение, что свинцово-цинковые месторождения типа, встречающегося в долине Миссисипи, могли образоваться как следствие «медленного восходящего продвижения летучих компонентов магмы». Совсем недавно J. E. Spurr высказал то же мнение; начав обзор со свинцово-флюоритовых жил Кентукки-Иллинойс (см. вып. III), он распространяет свою точку зрения о происхождении месторождений руд также и на районы Joplin, Wisconsin и юго-восточный Missouri<sup>28</sup>; его объяснения образования рудных месторождений сводятся к априорному предположению о наличии гипотетического очага магмы того редко доходящего до поверхности глубинного типа, продукты которого в виде «рудных магм» или «растворов» (он употребляет оба эти слова) отложили содержащиеся в них металлы в пунктах, наиболее благоприятных для протекания процессов рудоотложения. Одним из наиболее сильных аргументов против этой точки зрения является то, что руды нигде не были обнаружены на значительной глубине или, другими словами, не найдено путей, по которым могли выноситься компоненты магмы в более высокие горизонты. С другой стороны, огромный масштаб оруденения, наблюдаемый в этом районе и в особенности в Picher, трудно увязать с выщелачиванием известняков и еще труднее принять точку зрения первой из упомянутых выше групп ученых.

Таким образом, как и в вопросе о генезисе силезских руд, мы видим большое расхождение мнений. Вопрос еще не разрешен, и если оставить в стороне все эти противоречивые объяснения, нельзя отрицать, что имеются переходные типы месторождений, являющиеся, видимо, связующим звеном между месторождениями, не связанными с интрузивной деятельностью, и месторождениями, являющимися ее следствием.

**Северная Родезия.** Крупные месторождения цинка, свинца и ванадия вскрыты предприятиями Rhodesia Broken Hill Company по линии железной дороги на 100 миль к югу от границы Конго<sup>29</sup>. По имеющимся скучным сведениям, оруденение приурочено к той же доломитовой толще, в которой далее к северу встречены медные месторождения Katanga. Оруденение проявлено замещениями по «более или менее вертикальным плоскостям напластования и трещинам», распространяющимся на значительной площади. До глубины 100' преобладают окисленные руды с большим количеством красиво выкристаллизовавшихся разновидностей каломина, церуссита и смитсонита и целый ряд редких фосфатов, ванадатов и арсенатов цинка и свинца. Глубже руды содержат сфалерит и галенит с небольшим количеством пирита. Завод запроектирован на выпуск ежегодно 15 000 т цинка, 3 000 т свинца и 300 т феррованадия. Если проект оправдается, это месторождение будет вторым в мире (после Mina Ragra) по количеству производства ванадия. Изверженные породы отсутствуют в радиусе нескольких миль. На глубине 350' добывают сульфидную руду.

Относительно генезиса этого месторождения пока ничего определенного не установлено, но его, несомненно, приходится рассматривать в связи с медными рудниками Katanga.

<sup>1</sup> Об окислении сульфидов свинца и цинка говорится в гл. VIII, вып. III. Преобладающими окисленными "цинковыми" минералами являются смитсонит и каламин, гидроцинкит и виллемит — редки, гроссулярит (растворимый сульфат) часто встречается в виде налетов.

<sup>2</sup> Галенит и другие минералы неоднократно находили в глубоких скважинах на Guef Coast. См. A. C. Veatch and G. D. Harris. „Bull.“ 7, Louisiana Geol. Survey, 1908, p. 25; также G. D. Harris, „Bull.“ 429, U. S. Geol. Survey, 1910, p. 45. Gilbert Van Ingen упоминает, что зерна галенита и сфалерита нередко находят в окаменелостях; возможно, что осаждение было вызвано разрушением органического вещества. „Bull. Geol. Soc. Am.“ 26, 1915, p. 85.

<sup>3</sup> C. E. Siebenthal. „Bull.“ 606, U. S. Geol. Survey, 1915, p. 67.

<sup>4</sup> „Quart. Jour., Geol. Soc. London“ 56, 1916, p. 301.

<sup>5</sup> E. C. Siebenthal. Op. cit., p. 79.

<sup>6</sup> Missouri Bur. Geology and Mines 9, 1909, p. 221.

<sup>7</sup> „Econ. Geol.“ 6, 1916, p. 587.

<sup>8</sup> E. C. Siebenthal. Op. cit., pp. 42—66.

<sup>9</sup> „Bull.“ 606, U. S. Geol. Survey, 1915, p. 58.

<sup>10</sup> Ch. Timmermans. Les gîtes métallifères de la région de Moresnet. Liège, 1905, p. 28.

F. Klockmann, Die Erzlagerstätten der Gegend von Aachen. Berlin, 1910.

См. также руководства Stelzner Bergeat и R. Beck.

<sup>11</sup> Окисление этого месторождения можно отнести к меловой эпохе.

<sup>12</sup> G. Gürgich. Zur Genesis der oberschlesischen Erzlagerstätten. „Zeitschr. Prakt. Geol.“, 1903, pp. 202—205.

A. Sachs. Die Bildung der schlesischen Erzlagerstätten. „Centralblatt f. Min.“, 1904, pp. 40—49; „Zeitschr. Deutsch. geol. Gesell.“ 56, 1904, pp. 269—272.

См. также руководства Stelzner и Bergeat, R. Beck и Beyschlag, Krusch и Vogt.

<sup>13</sup> E. Schultz. „Geol. Rundschau“ 4, 1913, pp. 126—136.

<sup>14</sup> Beyschlag. „Zeitschr. Prakt. Geol.“, 1902, p. 143.

Michael. „Zeitschr. Deutsch. geol. Gesell.“ 56, 1904, Protocol, pp. 127—139.

<sup>15</sup> F. Poserny. „Jahrb. K. k. geol. Reichsanstalt“ 23, 1873, pp. 315—420.

The genesis of ore deposits. „Trans. Am. Inst. Min. Eng.“ 23, 1894, pp. 197—360.

Ряд иллюстраций этого месторождения издан австрийским министерством земледелия.

<sup>16</sup> R. Beck. Lehre von der Erzlagerstätten. 2, 1909, p. 257.

<sup>17</sup> C. E. Siebenthal and J. P. Dunlop. B. Mines Report of Missouri. „Mineral resources“, U. S. Geol. Survey and Bureau of Mines. Annual publication.

<sup>18</sup> W. P. Jenney. „Trans. Am. Inst. Min. Eng.“ 22, 1894.

A. Winslow. Missouri Geol. Survey. 6 and 7, 1895.

E. Haworth. Relations between the Ozark uplift and ore deposits. „Bull. Geol. Soc. Am.“ 11, 1900, pp. 231—240.

H. F. Bain (в сотрудничестве с C. P. Van Hise). Preliminary report on the lead and zinc deposits of the Ozark region. „Twenty-second Ann. Rept.“, U. S. Geol. Survey, pt. 2, 1901.

W. S. T. Smith and C. E. Siebenthal. U. S. Geol. Atlas. Лист 148 (Joplin).

E. R. Buckley and H. A. Buchler. The geology of the Granby area. Mc. Bur. Geol. and Mines, 4, 1903.

<sup>19</sup> Cox, Dean and Gottschalb. Studies on the origin of Missouri cherts and zinc ore. „Bull. School of Mines and Met.“ Nov., 1916.

<sup>20</sup> W. G. Waring. The zinc ores of the Joplin district. „Trans. Am. Inst. Min. Eng.“ 57, 1918, pp. 657—670. Waring нашел также талий, индий, галлий и германий в канальной пыли и в металлическом цинке.

<sup>21</sup> C. E. Siebenthal. „Bull.“ 310, U. S. Geol. Survey, 1903, pp. 187—228.

C. E. Siebenthal and J. P. Dunlop, „U. S. Mineral Resources“ ежегодные выпуски, в частности с 1914 г.

Карты, составленные H. A. Buehler в „War minerals of the Joplin district“, Am. Inst. Min. Eng., Joplin-Miami meeting, Oct., 1917.

- 22 G. I. Alams. "Prof. Paper" 24, U. S. Geol. Survey, 1904.  
J. C. Branner. Arkansas Geol. Survey, 5, 1900.  
23 J. D. Whitney. Geology of Wisconsin. 1, 1862.  
T. C. Chamberlin. Geology Wisconsin. 4, 1882.  
W. P. Jenney. "Trans. Am. Inst. Min. Eng." 22, 1894, pp. 208—209.  
H. T. Bain. Bull." 294. U. S. Geol. Survey, 1906.  
U. S. Grant. "Bull." 14, Wisconsin Geol Survey, 1906.  
G. H. Cox. "Econ. Geol." 6, 1911, pp. 427—448; 582—603.  
H. C. George. "Trans. Am. Inst. Min. Eng." 59, 1918, pp. 117—150.  
24 T. L. Watson. Lead and zinc deposits of Virginia. Geol. Survey Virginia.  
"Bull." 1, 1905.  
Frank L. Nason. Characteristics of zinc deposits in North America. "Trans. Am. Inst. Min. Eng." 57, 1918, pp. 830—855.  
25 H. A. Coy and J. A. Noble. Mining Methods at Mascot, Tenn., Idem, 72, 1924, pp. 55—76.  
M. H. Socrist. Zinc deposits of East Tennessee. "Bull". 31, Tenn. Geol. Survey, 1924.  
A. Winslow. Missouri Geol. Survey. 6 and 7, 1894.  
C. R. Keyes. Idem 9, 1896.  
E. R. Buckley. Geology of the disseminated lead deposits, Missouri Bur. Geol. and Mines, 9, pts. 1 and 2, 1909.  
A. P. Watt. Concentration practice in southeastern Missouri. "Trans. Am. Inst. Min. Eng." 57, 1918, pp. 322—419.  
26 A hypothesis of bacterial influence of the genesis of certain sulphide deposits. "Jour. Geol." 34, 1926, pp. 773—792.  
27 Origin of certain ore deposits. "Econ. Geol." 10, 1915, pp. 180—186.  
28 "Eng. Min. Jour. Press", Feb. 9, 1924; Dec. 18, 1926; Jan. 29, 1927.  
29 "Mining Magaz.", Oct., 1919, Mar. and Apr., 1927.

## Глава VIII

# МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ОБРАЗОВАВШИЕСЯ В СВЯЗИ С РЕГИОНАЛЬНЫМ МЕТАМОРФИЗМОМ

Под действием сдавливающих усилий на относительно небольших глубинах и в пределах зон разлома в породах могут образоваться близко расположенные друг к другу разрывы, отчего вся порода приобретает рассланцеванную структуру. В таких породах значительных химических изменений не происходит, но по созданным в результате механических усилий путем в виде узких трещин может иметь место последующее отложение. На более значительной глубине в результате деформаций может произойти перекристаллизация, сопровождающаяся химическими изменениями; перекристаллизации способствует недостаток в породах влаги. Из пироксена могут образоваться уралит и хлорит, натриево-известковые полевые шпаты могут перекристаллизоваться в цеизит и альбит, кристаллы кварца могут оказаться раздавленными и вытянутыми в виде новообразований, могут развиться слюды, в частности мусковит, а также кристаллы глиноземистых гранатов. Однако общий химический состав пород мало изменится, так как хотя различные превращения и предполагают перенос вещества, перемещение это вследствие стесненности условий не протекает свободно.

При таких условиях процессы концентрации не могут протекать беспрепятственно, и чрезвычайно малые количества металлов, содержащиеся в первоначальной породе, вряд ли могут образовать значительные скопления.

Тем не менее некоторые месторождения безусловно могли образоваться путем перекристаллизации содержавшихся в первоначальных породах веществ. Результатом кристаллизации углеродистых веществ может оказаться месторождение графита в виде вкраплений в породе. Из основных пород могут образоваться тальк и тальковый (мыльный) камень. Кристаллизация граната может привести к образованию его месторождений. Алюмосиликаты, например, кианит и силлиманит, образовавшиеся в этих условиях, при достаточном масштабе могут явиться месторождениями, используемыми в огнеупорной промышленности.

Мелкие зерна халькопирита, часто в прорастании с пирротином и магнетитом, встречаются в первичных изверженных породах в большем количестве, чем в образовавшейся из них вторичной сланцевой породе. Если в период деформации имела место хотя бы незначительная и медленная циркуляция, могла произойти некоторая концентрация халькопирита, как это наблюдается в отдельных трещинах, секущих такие породы.

Когда деформация пород протекает при высоких температурах, могут развиваться минералы, сходные или тождественные с минералами контактowego метаморфизма. В действительности часто бывает трудно провести разграничение между региональным и kontaktовым метаморфизмом, в особенности в сильно метаморфизованных областях, изобилующих интрузивными массивами. Имеется основание полагать, что при температуре нескольких сот градусов известняки становятся в высшей степени проницаемыми для газообразных эманаций, состоящих из воды и металлических соединений, выделяющихся из интрузивных массивов. Таким образом, создается возможность введения новых веществ, которые местами могут концентрироваться до скопления, образующего месторождение руд.

Возможно, что большинство рудных месторождений в кристаллических сланцах с неопределенным генезисом обязано своим происхождением такого рода проникновению в глубокой зоне. Месторождения этого типа рудообразования будут несколько иными, чем обычные kontaktово-метаморфические, которые, как правило, развиваются только вблизи интрузивных контактов и в большинстве случаев в пределах зоны разлома.

Сульфидная вкрапленность представляет явление, часто встречаемое почти во всякой местности, сложенной кристаллическими сланцами. В большинстве этих вкраплений преобладают пирит, пирротин и халькопирит; свинцовые и цинковые сульфиды попадаются гораздо реже. Такого рода вкрапленности в особенности связаны с амфиболитовыми или хлоритовыми породами. Как уже сказано выше, эти минералы могут быть различного генезиса. Прежде всего вкрапленность может быть результатом оруднения по обеим сторонам трещины параллельной сланцеватости, т. е. результатом образования «пластовой жилы». Такого рода оруднение имело место позже метаморфизма, и метаморфические минералы, вероятно, окажутся измененными — серицитизированными, карбонитизированными или, реже, силифицированными.

Если же, с другой стороны, сульфидные минералы содержались в породе, претерпевшей метаморфизм, или же были развиты в процессе метаморфизма, они окажутся в прорастании с метаморфическими минералами, например амфиболом, эпидотом, хлоритом, гранатом, альбитом и обычно будут сопровождаться некоторым количеством магнетита и ильменита.

Крупные массивы пирита в большинстве случаев, вероятно, являются первичными продуктами магматической концентрации; они могут также быть древними трещинными жилами или жилами замещения, которые деформация сделала неузнаваемыми, или же, наконец, они могут иметь kontaktово-метаморфическое происхождение.

Более бедная вкрапленность, следующая сланцеватости, часто носит название «фальбандов» (по немецки «fahl» означает ржаво-бурый и относится к выходам на дневную поверхность, подвергшимся окислению). Такого рода фальбанды, впервые обратившие на себя внимание в Kongsberg (Норвегия)<sup>1</sup>, где они обогащают сереброносные жилы, могут достигать длины в несколько миль, по мощности же меняться от доли фута до нескольких сот футов. Вмещающими породами могут быть гнейсы, слюдистые сланцы, диориты и амфиболиты. Рудными минералами являются пирит, пирротин, цинковая обманка, халькопирит, молибденит, иногда кобальтовые минералы. Они часто встречаются в прорастании с амфиболом и гранатом. Фальбанды сами по себе редко представляют промышленное значение, но многие из них характерно обогащают пересекающие их

жилы самородным серебром и золотом, кобальтовыми и никелевыми рудами. Это, вероятно, является особым примером общего закона, гласящего, что жилы обогащаются там, где они пересекают пояса вкрапленности пирита. В период от 1776 до 1899 г. в Норвегии (*Skutterund* и *Snatum*) эксплуатировались фальбанды, богатые кобальтитом с пиритом, халькопиритом, пирротином и молибденитом. В течение продолжительного периода времени эти месторождения считались одними из крупнейших в мире источников окиси кобальта, употребляющейся для придания стеклянным и фарфоровым изделиям интенсивно синего тона. Судя по старинной литературе, цитируемой Stelzner, Bergeat<sup>2</sup> в *Skutterund*, фальбанды залегают между гнейсами или кварцевым сланцем и амфиболитом. Из прочих минералов упоминаются также малаколит, антофиллит, реже графит и турмалин. Руды являлись бедными и даже после ручной сортировки содержали кобальт в количестве менее одного процента. В *Snurum* параллельный простиранию амфиболитов пояс содержит несколько больше меди.

Фальбандам пытались давать различные объяснения. Когда кристаллические сланцы вообще считались измененными осадочными породами, фальбанды называли осадочными месторождениями. В 1880 г. Dall и Kjeruff<sup>3</sup> рассматривали их как вкрапленности, связанные с интрузиями габбро. Серый гнейс Kongsberg Vogt считал давленным гранитом и был того мнения, что вкрапления сульфидов в нем одновременны с вмещающими сланцами.

О том, что вкрапленность сульфидов в ее современной форме обусловливается динамо-химическим метаморфизмом, свидетельствуют минералы, с которыми сульфиды находятся в прорастании. Эманации сульфидов из интрузивных магм на значительном расстоянии от их источника далеко не всегда кристаллизуются в прорастании с амфиболом, пироксеном и гранатом, а скорее с кальцитом, серицитом и кварцем в качестве жильных минералов. Переクリсталлизация под давлением не объясняет удовлетворительно окончательное происхождение минералов, и все гипотезы относительно этого останутся без ревизии, пока не будет произведено тщательное изучение порядка метаморфического изменения в фальбандах с целью установления первоначального характера пород.

В старинной литературе встречаются упоминания о приблизительно таких же фальбандах в амфиболите и гнейсе из Schladming (Штирия), где они обогащают пересекающие кобальт-никелевые жилы, а также из Les Challanches (Франция), где господствуют, примерно, те же сопротивления<sup>4</sup>. За последнее время выясняется, что так называемые фальбанды в действительности являются узкими жилами, сопровождающимися изменениями боковых пород<sup>5</sup>.

1 C. A. Münster. Ref. в „Zeitschr. Prakt. Geol.“ 1896, p. 93.

J. H. L. Vogt. Idem, 1899, pp. 177—181.

2 Die Erzlagerstätten I, 1904, pp. 269—271.

3 Die Geologie des südlichen und mittleren Norwegens, 1880.

4 Stelzner und Bergeat. Die Erzlagerstätten I, 1904, pp. 268—269.

5 C. Schmidt and J. H. Vesilop (Schladming). „Zeitschr. Prakt. Geol.“ 17, 1909, pp. 271—276.

T. A. Rickard (Challanches). „Trans. Am. Inst. Min. Eng.“ 24, 1894, pp. 689—705.

## Глава IX

# МЕСТОРОЖДЕНИЯ САМОРОДНОЙ МЕДИ С ЦЕОЛИТАМИ В ОСНОВНЫХ ЛАВАХ

## ОБЩЕЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Самородная медь, халькозит, борнит, гораздо реже халькопирит, и продукты их окисления часто встречаются в излияниях основных лав (в особенности в базальтовых) в сопровождении минералов цеолитовой группы, как анальцим, натролит, стильбит, шабазит и ломонит, пренит и датолит. Вместе с вышеперечисленными минералами могут присутствовать кальцит, кварц, халцедон, хлорит, эпидот и адуляр, нередко в весьма значительных количествах. Эти жильные минералы вместе с минералами меди выполняют пузырчатые пустоты в основных породах или замещают породы. Пирит так же, как и сульфиды прочих металлов, кроме меди, встречается редко.

Месторождения образовались близ поверхности при гидротермальных условиях. Ассоциация минералов не указывает на глубинное происхождение, или на температуру, значительно превышающую  $250^{\circ}\text{C}$ .

Примеры таких месторождений самородной меди многочисленны. Упомянем: The Faergaer<sup>1</sup> (на севере Шотландии), Sterling<sup>2</sup> (в Шотландии), Oberstein a. d. Nahe (Германия), Sao Paulo<sup>3</sup> (Бразилия), район Христиания<sup>4</sup> (Норвегия), триасовые «трапы» в New Jersey<sup>5</sup> и Connecticut, Новую Гвинею<sup>6</sup>, Якутию<sup>7</sup>, залив Fundy<sup>8</sup> (Nova Scotia), Новую Землю<sup>9</sup>, Командорские острова к западу от Камчатки<sup>10</sup>. Из этих месторождений лишь немногие представляют экономическое значение.

В докембрийской серии базальтовых пород области Верхнего Озера залегает значительнейшее в мире месторождение этого типа, подробно описанное ниже.

В восточной части Орегона<sup>11</sup> в 20 милях к востоку от Baker City и по ущелью р. Snake, против гор Seven Devils в штате Idaho расположены обширные пространства, покрытые базальтовыми амигдалоидными излияниями юрского и триасского возраста. Эти породы содержат редкую вкрапленность самородной меди и халькозина, приуроченную к неясно выраженным зонам разлома, в ассоциации с эпидотом, хлоритом, кальцитом и цеолитами. Руды бедные, и до сих пор разработка их считается невыгодной.

Другое интересное месторождение находится на р. White (Аляска); описание его находим у Adolph Knopf<sup>12</sup>. Базальтовые амигдалоиды, частично связанные с подводным излиянием, сопровождаются туфами и

брекчиями, чередуются с пластами осадочных пород карбона. В речных долинах весьма обычны россыпи меди, иногда крупного масштаба. Минералами являются халькозин, халькопирит и самородная медь в тонких прожилках и проводничках с пренитом, ломонитом, томсонитом и кальцитом. Встречается также самородная медь с цеолитами, выполняющая миндалины в красноватой амигдалоидной лаве.

Из приведенного краткого описания месторождений видно, что цеолитовые месторождения меди в базальтовых лавах представляют довольно распространенный тип, генетически обусловливаемый каким-то общим процессом концентрации.

## ГЕНЕЗИС ЦЕОЛИТОВЫХ МЕДНЫХ РУД

**Возможный источник меди.** Основные изверженные породы, как например, габбро, диабазы, базальты, некоторые андезиты и излияния базальта, называемые мелафирами или амигдалоидами, вероятно всегда содержат медь в качестве первичного элемента. В некоторых случаях содержание меди достигает 0,1 или 0,2% (чаще 0,02%). Согласно Volney Lewis и F. F. Grout, медь присутствует в виде силиката, частично, возможно, в виде сульфида. L. C. Graton считает, что медь всегда существует в чисто металлическом виде, но это не сходится с другими наблюдениями. Mogozevicz установил, что медь содержится в магнетите в качестве твердого раствора.

Весьма возможно, что в эфузивных породах медь присутствует преимущественно в виде силиката, а в интрузивных, по крайней мере часть ее, в форме сульфидов, так как в процессе излияния базальты теряют весьма значительное количество сернистых соединений, в интрузивных же породах сера остается.

Первичная концентрация меди в породах обычно весьма невелика. Возможно, что образование относительно крупных месторождений этого типа обусловлено деятельностью вадозных или термальных вод. Концентрацию меди из первичных незначительных количеств в массе базальтовых пород до крупного размера месторождений можно определить, как послеэруптивный процесс, следовавший непосредственно за извержением.

Необходимо отметить, что более или менее исчерпывающего понимания довольно оригинальной ассоциации минералов, состоящей из кальцита, эпидота, пренита, датолита и цеолитов, пока еще не установлено. Концентрация меди тесно связана с цеолитизацией, и поэтому рассмотрение необходимо начинать с этого процесса.

**Цеолиты и процесс цеолитизации.** Цеолиты представляют собою преимущественно алюминиево-кальциевые силикаты с содержанием от 3 до 15% гидрационной воды. Часть кальция может заменяться натрием, иногда калием; в некоторых цеолитах присутствуют барий или стронций. Магний обычно не входит в их состав, а присутствует в сопутствующих хлоритовых минералах.

К цеолитам относят также анальцим, натриево-алюминиевый силикат с содержанием 8%  $H_2O$ . Хотя пренит ( $H_2Ca_2Al_2Si_3O_{12}$ ), содержащий 4,37%  $H_2O$ , и датолит ( $H_2Ca_2B_2Si_2O_{16}$ ) 5,83%  $H_2O$ , строго говоря, и не принадлежат к цеолитам, их обычно относят к той же группе. Самыми обычными цеолитами являются натролит, стильбит, шабазит, амофиллит, томсонит и ломонит.

Цеолиты легко воспроизвести искусственно при температурах от 50

до  $500^{\circ}$  С. Некоторые из них, например апофиллит, растворимы в воде в присутствии или без  $\text{CO}_2$  или  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  при температуре от  $180$  до  $189^{\circ}$  С и под давлением от  $10$  до  $12$  ат; по охлаждении они выкристаллизовываются. Doepter удалось вызвать перекристаллизацию шабазита в закрытой трубке при температуре  $150^{\circ}$  С, также в жидкой  $\text{CO}_2$  при температуре  $30^{\circ}$  С. Датолит и пренит не поддаются синтезу.

По условиям и форме нахождения цеолиты можно разбить на следующие классы:

1. Выполнение миндалин и жил в излияниях основных лав. Эта форма встречается чаще всего. Иногда, но далеко не всегда, присутствует самородная или сульфидная медь.

2. В миаролитовых пустотах в граните.

3. В пегматитах, в качестве позднейших продуктов кристаллизации<sup>13</sup>.

4. В виде жил или налетов на плоскостях отдельностей в граните, гнейсе или в различных эфузивных породах; здесь они ассоциируют с кальцитом, иногда с синеватым кварцем или альбитом.

5. В контактово-метаморфических месторождениях в известняке.

6. В так называемых жилах «альпийского типа» (см. вып. III) с кварцем, адуляром и многими полнокристаллическими минералами.

7. В рудных жилах с сульфидами очень редко; преимущественно в качестве последних продуктов кристаллизации: Andreasberg (Германия); Kongsberg (Норвегия); Guanajato (Мексика); Arqueros и Rodaito (Чили).

8. В виде продуктов отложения горячими источниками у выхода последних на поверхность, как, например, в Plombières, Bourbonnais Bains и Luxeuil во Франции; в Oran в Алжире; в Hunter и Boulder Hot Springs в штате Монтана.

9. В отложениях на дне морей. В материале, вычерпываемом драгами, нередко находят филлипсит.

Пределы стойкости различных цеолитов неодинаковы. С. Doepter<sup>14</sup> полагает, что температурные пределы развития анальцима — это  $180$ — $440^{\circ}$  С; для натролита он считает пределами  $0$ — $180^{\circ}$  С, т. е. значительно ниже. При опытах последний минерал был получен при температуре  $90^{\circ}$  С. Вероятно, что датолит, пренит и адуляр не развиваются при температуре значительно ниже  $100^{\circ}$  С.

Повидимому, для образования цеолитов требуются спокойные условия, какие можно наблюдать в остывающих массивах пород или в породах, пропитанных теплыми водами, как, например, в римской каменной кладке в Plombières. Их отсутствие среди жильных минералов свидетельствует о том, что быстрое продвижение восходящих вод не благоприятствует образованию.

Цеолиты чрезвычайно неустойчивы в зоне выветривания<sup>15</sup> и, вероятно, образовались на некоторой глубине. За последние годы приходят к заключению<sup>16</sup>, что цеолитизация в основных эфузивных породах определенно связана с периодом остывания и должна рассматриваться как пост vulkanический процесс в еще не остывших горячих породах.

Отсутствие цеолитов в обширных местностях, покрытых основными излияниями, часто весьма богатых миндалинами и пустотами, свидетельствует о том, что цеолитизация далеко не является простым следствием выщелачивания поверхностными водами. Существуют определенные условия, еще не полностью выясненные, необходимые для отложения цеолитов. Возможно, что их развитие значительно ускорялось бы в том случае, если бы извержение эфузивных пород произошло под водою.

Охлаждающее действие морской воды на поверхность излияния лавы обусловило бы медленную усадку пористых пород. Помимо этого, такие условия создали бы систему, охлажденную с одной стороны и нагретую с другой, в которой началась бы циркуляция, могущая обусловить концентрацию.

Один из наиболее убедительных примеров цеолитизации, непосредственно следующей за извержением, дает Knopf<sup>17</sup>. В районе р. White (Аляска) незначительной мощности толща амигдалоидных пород, содержащих медь, перекрывается слоем грубобломочных вулканических пород, в брекчии которых встречаются обломки меденосного амигдалоида, что служит доказательством выполнения миндалевидных пустот в течение периода, промежуточного между двумя извержениями лавы.

C. N. Fennet считает, что цеолиты некоторых триасских базальтов в New Jersey, покрывающих материковые отложения и древние не-глубокие пустынные бассейны, образовались преимущественно там, где неглубокие водные бассейны были покрыты излияниями базальта, и первоначальная водная циркуляция установилась благодаря наличию воды в этих озерах. Он предполагает, что процесс в целом протекал в форме медленного остывания излившихся пород с постепенным проникновением в них водных растворов. Материалом для растворения являлись базальты и раньше выделенные сублиматы. В течение процесса остывания характер минералов изменялся. Из металлических минералов присутствуют пирит и халькопирит; о самородной меди не упоминается, но она встречается во многих пунктах этих изливаний триаса.

Различают три периода кристаллизации, начиная с самого раннего:

1. Период борной кислоты . . (a) Альбит, кварц, гранат, амфибол, спекулярит, сульфиды  
(б) Датолит, пренит, пектолит, амфибол, спекулярит, сульфиды
2. Период цеолитов . . . . . Анальцим, кабазит, гейландит, стильбит, натролит, ломонит, апофиллит, амфибол, хлорит, спекулярит, сульфиды.
3. Период кальцита . . . . . Кальцит, гипс, амфибол, хлорит, спекулярит, сульфиды

Эта ассоциация дейтеритовых продуктов показывает всю редкость сочетаний таких высокотемпературных минералов, как гранат и амфибол, с одной стороны, и цеолитовые минералы — с другой. Имели место широкие замещения, подобные процессам, издавна описанным Pumpelly по его наблюдениям в медных рудниках Верхнего Озера. Минералы, образовавшиеся в более ранние фазы кристаллизации, замещаются минералами, сохраняющими стойкость и в новых условиях. Первичный альбит замещается датолитом, пренитом, пектолитом, шабазитом, стильбитом, натролитом, апофиллитом и кальцитом. Кварц замещается кальцитом и различными цеолитами. Датолит замещается цеолитами.

Earl Shannon<sup>18</sup> описывает в общих чертах подобную же последовательность процессов, начиная с завершения магматической фазы кри-

стализации и до отложения цеолитов: альбит, флюорит, амфибол, эпидот, аксинит, кварц, пренит, датолит, шабазит, стильбит, ломонит, опал, апофиллит, кальцит. В диопсиде, прените и апофиллите отмечают присутствие халькопирита, сфалерита и галенита.

А. Knopf<sup>19</sup> прав, говоря, что «всякая теория, удовлетворительно объясняющая происхождение цеолитов, объясняет также и происхождение меди». Для получения фтора, идущего на образование апофиллита, бора — на образование датолита или бария, необходимого на образование гармотома, без сомнения, понадобился не меньший процесс концентрации, чем для образования руды с содержанием 2% меди из амигдалоида, первично содержащего этот металл в количестве 0,02%.

## МЕДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВЕРХНЕГО ОЗЕРА

**Общий характер залегания.** Крупнейшие месторождения самородной меди в вулканических излияниях Кьюинэвиэн и конгломератах докембрия штата Мичиган представляют собою один из больших источников меди в США. Эти месторождения сгруппированы преимущественно в провинции Houghton, на полуострове Keweenaw в северо-западной части Мичигана, на северном берегу Верхнего Озера (см. рис. 123). Однако меденоносный пояс распространяется в северо-восточном направлении до конца полуострова и в южном на провинцию Ontuagon и на севорный Wisconsin и западную Minnesota, имея в общей сложности длину около 300 миль. Меденоносная формация распространена также на острове Royale и в Michipicoten (Ontario, Canada) против Keweenaw Point. Часть пояса, являющаяся продуктивной, в настоящее время простирается от рудника Lake на 43 мили к юго-западу от Houghton (центр промышленности) до рудника Cliff на 22 мили к северо-востоку от этого пункта.

Так называемая свита Keweenawan (верхняя часть альгонской системы) несогласно покрывает отложения гурона, который, в свою очередь, несогласно залегает на архейских зеленокаменных породах.

Свита Keweenawan образует огромную синклиналь, окружающую западную часть Верхнего Озера. Верхняя часть этой свиты состоит из толщи красных аркозовых песчаников и мягких сланцев мощностью

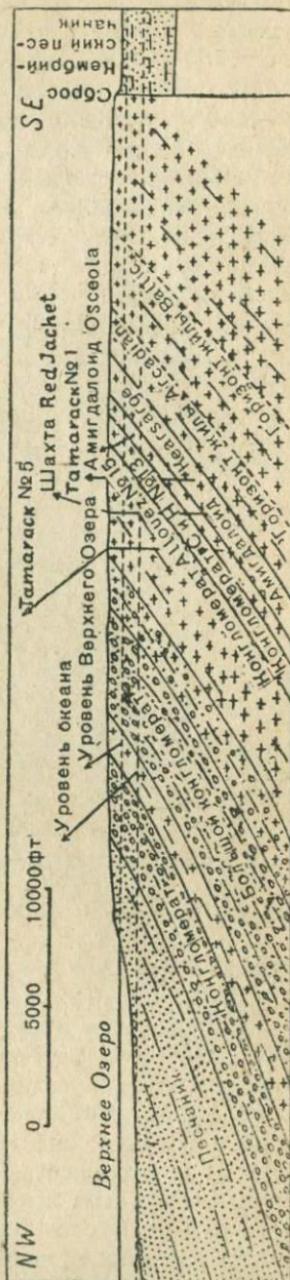


Рис. 81. Разрез меденоносной свиты пластов в Houghton (Michigan) (по А. С. Lane).

от 10 000 до 12 000'; нижняя часть состоит из мощных пластов базальтовых лав общей мощностью, быть может, до 25 000'. На полуострове Keweenaw вся свита имеет простиранье на северо-восток, согласно с направлением оси полуострова, и падает к северо-западу под углом 30—75°. Песчаники залегают по северо-западному побережью. Часто чередующиеся свиты компактных диабазов или базальтов (трапы) и амигдалоидных пластов занимают средний пояс. К юго-востоку свита Keweenawan пересекается длинной полосой сбросов, параллельной простираннию. На юго-восточном берегу полуострова горизонтально залегают кембрийские песчаники, не содержащие меди. Излившиеся вулканические породы включают захваченные обломки песчаника, сланца и конгломерата. Кварцевые порфиры (фельзиты), являясь одновременными по времени образования, входят в состав этих конгломератов (рис. 81 и 82). В амигдалоидных породах включения меди представляют видимые на-глаз зерна, но лишь в немногих пунктах минерализация достаточна для вы-

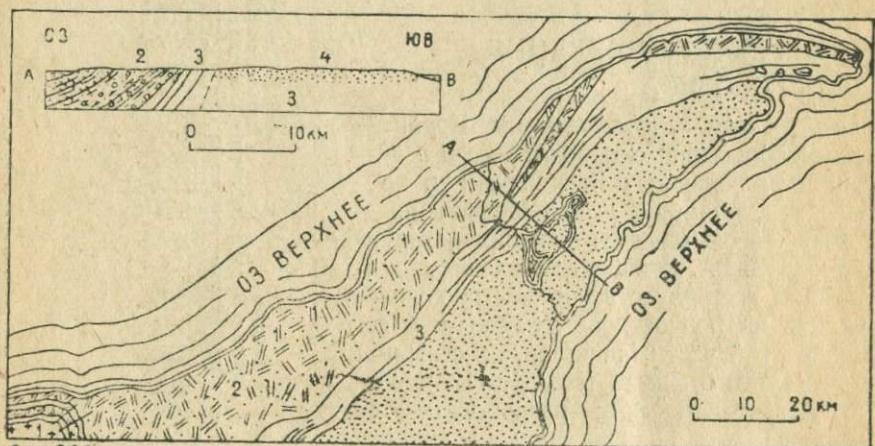


Рис. 82. Меденосный район Мицигана (по Seamen и Lane).

годной эксплоатации. Залежи, дающие в настоящее время основную массу руды, представляют собою пласти амигдалоидных пород, отличающейся чрезвычайным постоянством. Весьма значительное количество меди добывается также из толщи «вулканического конгломерата», известного под названием «калюмет-конгломерата». В начальную стадию эксплоатации месторождений разработки приурочивались к секущим жилам, но теперь они оставлены. Эксплоатация руд была начата примерно в 1846 г.

**Конгломерат Calumet.** Эта толща разрабатывается преимущественно в рудниках Calumet and Hecla и Tamarack. В первом из этих рудников пласт вскрыт на расстояние почти 2 миль по простираннию десятью наклонными шахтами и одной вертикальной при общем протяжении горных выработок около 200 миль. Вертикальная шахта, известная под названием Ren Jacket, достигает по наклону 57-го горизонта. В руднике Tamarack, в котором на глубине обнаружено продолжение рудного скопления, месторождение вскрыто четырьмя вертикальными шахтами глубиною от 3 409 до 5 800'; последняя является одной из глубочайших шахт в мире. Эксплоатация конгломератовых руд выгодна лишь местами; рудное скопление вытягивается пластовидно к северу. Глубже содержа-

ние становится более бедным и менее постоянным. Близ поверхности промышленное оруденение встречается только в отдельных участках пласта и обеднение содержания наблюдается как к северо-востоку, так и к юго-западу от рудного скопления Calumet. В настоящее время содержание меди в добываемых рудах снизилось с 4 до 1,5%, объясняясь введением усовершенствованных способов добычи и обогащения, позволивших обрабатывать более бедные по содержанию меди руды.

Мощность конгломерата от 10 до 25' при падении к северо-западу под углом 36—39°. Он образует компактную красновато-бурую породу, легко раскалывающуюся. Медь концентрируется преимущественно в виде мелких частиц в веществе, цементирующем гальки, которые хорошо окатаны и состоят из кварц-порфира с некоторым количеством основных

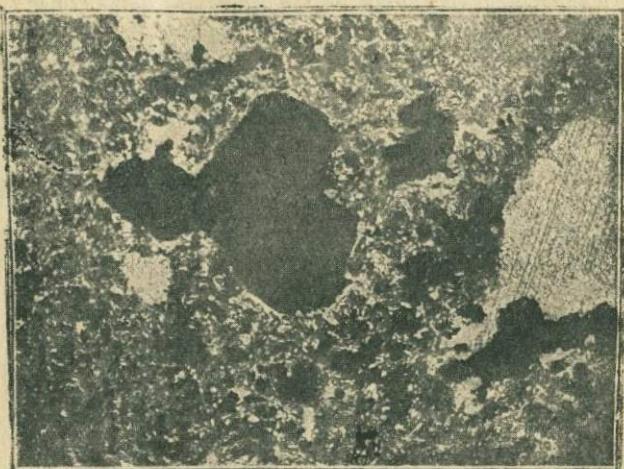


Рис. 83. Амигдалоидный базальт, Houghton, Michigan.

Черный цвет — самородная медь, более крупные участки представляют выполнения или пустотки с кальцитом (с правого края). Более мелкие черные участки представляют замещения изверженной породы медью. Увеличение 15X.

изверженных пород. Висячий бок сложен темноокрашенным мелкозернистым диабазом, лежачий — тонкослоистым песчаником. Конгломератовые руды дают около одной трети всей добываемой в районе Мичигана меди.

**Амигдалоиды.** Амигдалоидные медесодержащие породы приурочены к семи основным горизонтам, носящим названия: Baltic, Kearsarg, Pewabic, Osceola, Isle, Royale, Atlantic, Winona, и эксплуатируются двенадцатью большими рудниками. Они представляют собою пласти ноздреватого базальта, обычно буроватого цвета с землистым изломом, в котором миндалевидным выполнением являются кальцит, эпидот и цеолиты (рис. 83). Медь встречается как в виде миндалевидных выполнений, так иногда и в виде замещения самой породы. В амигдалоидных встречается самородное серебро в форме прорастания с медью; в конгломерате серебро почти отсутствует. Естественно, что в верхней части базальтовых излияний они более ноздреваты, чем в нижней, и образуют большее количество

миндалин. Распределение меди изменчиво по мощности и ширине. Пласт Osceola эксплуатируется рудниками Calumet и Hecla, Tamarack и Osceola; в руднике Osceola пласт выработан на глубину 4 500' по наклону. В Calumet and Hecla мощность амидалоидных пород достигает 30—35', но оруденение локализуется лишь в пропластках мощностью от 8 до 10', приуроченных к висячemu и лежачему бокам. В руднике Baltic рабочая мощность пласта амидалоида от 15 до 30'.

Это месторождение дало много крупносамородной меди, также богатой сульфидной меди в форме прожилков халькозина, барнита и мышьяковистых соединений меди. Разработки амидалоида Kearsarge тянутся непрерывно на протяжении 12 миль. В руднике Quincy достигнутая глубина (по вертикали) — 5 300'.

Среднее процентное содержание меди в амидалоидных рудах составляет 0,88% с колебаниями в пределах от 0,5—2,1% (рудник Champion, 1925 г.). 1916 г. был отмечен рекордной добычей серебра, а именно 716 640 унций. Небольшую долю этой добычи составляют самородки, остальное побочный продукт электролитного процесса, которому подвергается часть добываемой меди. В руднике Mass (южная часть района) был найден самородок серебра, весивший 12 фунтов<sup>21</sup>.

**Жилы.** Третьей разновидностью меднорудных месторождений этого района являются жильные месторождения, приуроченные к зонам разлома северной части полуострова и южной, в провинции Ontonagon. В первую стадию эксплуатации медных руд района эти жилы дали большое количество меди, теперь же они утратили свое значение. Большинство жил — секущие, падают под крутым углом, хотя в провинции Ontonagon имеется также много жил продольных и согласных с падением пород. Некоторые из них пройдены штреками на расстояние 2 000—3 000'. По мнению Credner, Pumphelly и Irving, многие из жил были значительной мощности, хотя в среднем их мощность не превышает 3'.

По условиям образования указанные жилы частично принадлежат к типу выполнения трещин, отчасти являются следствием процессов замещения боковых пород. Значительная часть самородной меди была добыта в форме крупных самородков; было обнаружено несколько массивов необычайных размеров, из которых наиболее известный принадлежал жиле Minnesota и весил 500 т, длина его была 46', ширина — 18,6', мощность — 8,5'<sup>22</sup>. В руднике Cliff было обнаружено много массивов весом 40—100 т. Характерной особенностью жильных образований является тенденция давать жильные проводники в сторону различно измененных боковых пород — амидалоидов. На глубине нескольких сот футов большинство жил беднеют по содержанию.

Толща амидалоидов разбита многочисленными второстепенными попечерными сбросами и смещениями, но, по имеющимся сведениям, медная минерализация здесь слабая или же вовсе отсутствует.

**Ассоциация минералов.** Все три вида месторождений самородной меди отличаются одной и той же ассоциацией минералов. Сюда относятся: самородная медь, кварц, кальцит, хлорит, эпидот, датолит и пренит с различными цеолитами. Неизменно присутствует некоторое количество окиси железа, местами окрашивающее руду в красный или бурый цвет. Второстепенными минералами являются халькозин и мышьяковистые соединения меди, витнейт ( $Cu_9As$ ) и домейкит ( $Cu_8As$ ). Общий парагенезис представляет следующая таблица, компилированная Lane по Pumphelly. Наиболее распространенные минералы даются жирным шрифтом.

Ломонит	
Кварц	
Делессит и хлорит	
Эпидот	
Пренит	
Кальцит	красный
Медь	белый
Серебро	бесцветный
Датолит	
Анальцим (онельцим)	
Ортоклаз	
Апофиллит	

Pumpelly дает следующие стадии изменения и выполнения в амигдалоидовой породе: 1) разрушение железо-магнезиальных силикатов и отложение богатого железом хлорита (делессита); 2) индивидуализация нещелочных силикатов (ломонит, пренит и эпидот); 3) отложение кварца; 4) введение самородной меди с замещением пренита деласситом; 5) появление щелочных силикатов (анальцим, апофиллит, адуляр), представляющее разрушение лабрадорита в первоначальной породе. В самой породе имели место многие интересные замещения: пренит псевдоморфен по лабрадориту и многие амигдалоиды в широкой степени пренитизированы. Этот продукт может в свою очередь оказаться замещенным адуляром, а последний может перейти в эпидот и кварц. Серцит редок. В миндалинах изредка попадаются иглы актинолита. Датолит присутствует в кремнистой сплошной или выкристаллизованной форме<sup>23</sup>. Ломонит, видимо, присутствует в двух стадиях — ранней и поздней.

**Происхождение.** Рудные месторождения являются образованиями древними и, вероятно, рудничные воды в их настоящем составе не имеют прямого отношения к генезису рудных минералов, хотя и могут вызвать некоторые изменения и местную концентрацию. U. S. Graft<sup>24</sup> установил, что месторождения существовали уже в то время, когда кембрийские отложения по большому обросу в юго-восточной части полуострова опустились до горизонта свиты Kewesawan; совершенно очевидно, что они образовались до кембрия. Метаморфизованная верхняя часть пластов была, без сомнения, удалена движением четвертичного ледникового покрова, и в наше время залежи самородной меди выходят близ дневной поверхности.

Описанный парагенезис минералов для этого типа месторождений иной, чем в обычных трещинных жилах. Некоторые аналогии представляют так называемые «альпийские жилы» (см. вып. III); также жилы Andreasberg и Kongsberg. Имеется также некоторое сходство с пропилизацией.

Выше говорилось, что все свежие диабазовые и базальтовые породы этой серии содержат медь, вероятно, в виде силиката; во всей толще пород кьюинэвиэнской системы следы меди встречаются в амигдалоидах.

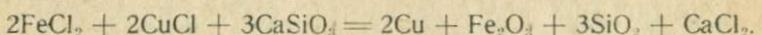
Van Hise говорит следующее<sup>25</sup>.

«Трудно назвать какую-либо местность в области Верхнего Озера, где бы встречались Кьюинэвиэнские основные лавы, не содержащие небольшого количества меди. Чешуйки ее можно видеть почти в каждом пористом амигдалоиде... Для меня постоянное присутствие небольших количеств меди в кьюинэвиэнских лавах служит неопровергнутым доказательством того, что источником металла являются именно эти лавы.

Grout<sup>26</sup> установил присутствие меди в свежем кьюинэвиэнском базальте из Миннозота в количестве от 0,013 до 0,029%. Pumpelly полагает, что присутствие окисного железа и эпидота (в котором железо находится в окиси состояний) свидетельствует о восстановлении медных солей (серно- и углекислых) обильно присутствующими в породе железистыми минералами.

Lane<sup>27</sup> предлагает некоторое изменение этого взгляда, основываясь на опытах, предпринятых G. Fernekes. После подводного излияния лав морская вода проникла в пласты пород, разлагая силикаты и превращая в хлориды часть железа и всю медь. Восстановление хлористой закисной меди было осуществлено угле- или кремникислым кальцием с образованием окисного железа и хлористого кальция. Процесс мог продолжаться и в течение медленного ростования, пока в пластах не образовались трещины отдельностей; это объяснило бы отложения меди в таких трещинах.

Опыты Fernekes<sup>28</sup> доказали, что металлическая медь вместе с окисным железом осаждается из смеси хлористых закисей железа и меди в трубке, один конец которой нагревается до 200—280° С, а другой конец охлаждается. Однако осаждение имеет место только в присутствии вещества или минерала, нейтрализующего соляную кислоту (гидролизовавшуюся из FeCl<sub>3</sub>), как, например, углекислого кальция, датолита и пренита. С ломонитом, или лабрадоритом не было получено никаких результатов. Вышеупомянутое положение Lane выражает следующим образом:



Раньше H. N. Stokes<sup>29</sup> установил, что роговая обманка и сидерит осаждают самородную медь из серно-кислого раствора при температуре 200° С и при условиях, подобных тем, которые имел при своих опытах Fernekes.

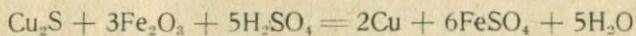
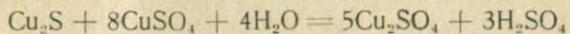
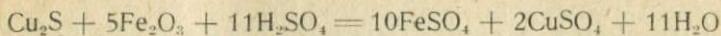
Бор и фтор в датолите и апофиллите сконцентрировались также, вероятно, из амигдалоидов. Значительное количество CO<sub>2</sub> и хлора могли произойти из самой вулканической лавы. Медь образует сплав с серебром при температуре 540° С<sup>30</sup>. Вследствие того, что металлы существуют в месторождениях Верхнего Озера в тесном контакте, приходится притти к заключению, что эти месторождения образовались при низкой температуре. Whitney, Pumpelly и Wadsworth защищают теорию отложения нисходящими поверхностными водами. Pumpelly полагает, что присутствующая в пластах сернистая медь сначала окислилась в сернокислую и углекислую, а затем была восстановлена, но из сказанного выше ясно, что в этой гипотезе нет никакой нужды. Van Hise и H. L. Smyth полагают, что месторождения образовались восходящими термальными водами.

Автор настоящего труда полагает, что месторождения являются эruptивными поствулканическими, образовавшимися при температуре не выше 250° С, что они образовались вскоре после эфузии лав и что они концентрировались из элементов, содержавшихся в лавах. Происхождение воды (присутствие которой не подлежит сомнению) остается под знаком вопроса. Если это были восходящие воды, количество их, на-верное, было чрезвычайно велико.

За последние годы месторождения были тщательно обследованы Grafton, Butler и Broderick (геологи предприятия Calumet and Hecla Consolidated Mining Company), результаты этих работ скоро должны появиться

и частично уже появились в печати. Насколько известно, они объясняют концентрацию металла действием восходящих термальных вод, т. е. поддерживают теорию, предложенную Van Hise и H. L. Smyth. Химическая сторона этой теории изложена R. C. Wells<sup>31</sup> на основе проведенных ими опытов.

Их точка зрения вкратце сводится к тому, что геологические структуры — сбросы, складки и трещины — древнее руды. Горячие растворы, содержащие сернистую медь из магмы, поднимались к поверхности через пористый конгломерат — через ноздреватую верхнюю зону излияний и отлагали медь под непроницаемым препятствием — перегородкой, — представляемым последующим излиянием лавы. Растворы были восстанавливавшими и обелявшими породы.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , присутствующая в большом количестве вверху излияний, окислила сернистую медь до сернокислой, причем первоначально в закисную сернокислую, из которой затем, после остывания и разбавления, осадилась металлическая медь. Опыты, проведенные R. C. Wells, дали, примерно, следующую схему:



Сера в конечном счете уносится в виде растворимых сульфатов. Установлено, что в мельчайших трещинках вне пределов окружающих гематитов присутствует небольшое количество халькоцина. Борнита очень мало, пирит и халькопирит почти вовсе отсутствуют. Образующиеся растворимые сульфаты уносятся. Тем не менее руды иногда содержат небольшие количества борнита и ангидрита.

**Рудничные воды**<sup>32</sup>. Чрезвычайный интерес представляет состав подземных вод. Lane установил, что на верхних горизонтах вода мягкая, пригодна для питья и состав ее не отличается от состава поверхностных вод. На глубине воды становится меньше, и, наконец, на горизонте 1 000—1 500' вода полностью исчезает.

#### Анализы нормальной поверхностной воды из медно-серного района Мичиган

(в частях на миллион)

Ca . . . . .	19	$\text{SiO}_2$ . . . . .	10
Mg . . . . .	4	$\text{CO}_3$ . . . . .	40
Na . . . . .	2,3	$\text{SO}_4^2-$ . . . . .	6
Cl . . . . .	3,5	$(\text{Al}, \text{Fe})_2\text{O}_3$ . . . . .	1,5

86,3

По мере углубления значительно возрастает количество хлора и кальция, и приток рудничных вод убывает. На глубине 3 000—5 000' рудничные воды почти отсутствуют, слабо просачиваясь в небольшом количестве, и скапливаются в зумпфе. Они представляют собою крепкие растворы хлористого кальция с бромом и другими веществами.

Одни из этих вод содержат незначительное количество цинка, другие — стронция.

В водах наибольшей концентрации 99% солей состоят из хлоридов кальция и натрия, три четверти остатка представляет бромистый натрий.

Эти воды возможно сингенетичны породам, т. е. являются остаточной

водой древнего моря. Van Hise и Leith полагают, что воды глубоких рудников, возможно, являются остатками рудообразующих растворов, но они не считают их остаточной морской водой.

#### Анализ рудничных вод рудника Quincy

(пробы взяты на 55-м горизонте к северу от шахты № 6.  
Аналитик G. Fernandes. Глубина—приблизительно 4 000')<sup>32A</sup>.

	(в граммах на литр)		
Cl . . . . .	176,027	SiO <sub>2</sub> . . . . .	0,20
Br . . . . .	2,200	(Fe, Al) <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,010
Ca . . . . .	86,476	Mn . . . . .	0,004
Na . . . . .	15,188	Cu . . . . .	0,016
K . . . . .	0,411	Ni . . . . .	0,006
SO <sub>4</sub> . . . . .	0,110	Mg . . . . .	0,020
Всего твердого	280,500		
			280,490

Следы бора и стронция. Барий, литий и CO<sub>2</sub> отсутствуют.

**Изменение пород.** От присутствия вкрапленного эпидота руды часто имеют желтовато-зеленую окраску; местами заметно обеление руды; она содержит значительное количество кальцита и хлорита. Van Hise и Leith<sup>33</sup> дали в литературе несколько анализов таких пород; Lane исследовал обеленные гальки из конгломерата Calumet. Из этих анализов видно, что изменение неравномерно; они не указывают на влияние нормального выветривания или на существование гидротермальных изменений подобно тем, которые наблюдаются в боковых породах жил. В некоторых из пород содержание SiO<sub>2</sub> уменьшается; в других наблюдается сильное обогащение известью или окисью натрия, в зависимости от стадии парагенетических особенностей минералов. Концентрация окиси калия отсутствует. Порода умеренно гидрирована, но каолин отсутствует. Результаты изменения можно скорее всего сравнить с весьма распространенным в изверженных породах гидротермальным процессом «пропилизации».

**Добыча и выплавка.** Эксплоатация медных рудников области Верхнего Озера ведется в широком масштабе. Общее количество медной руды, добытой в Michigan в 1925 г., составляет 7 млн. т. Руда дробится паровыми дробилками суточной производительностью 500—700 т, подвергается мокрому обогащению в отсадочных машинах, на столах и пр. В 1925 г. количество полученных концентратов составляло 120 000 т со средним содержанием Cu = 64,4% при среднем содержании в руде 1,1%.

Концентрат самородной меди плавится и одновременно рафинируется в отражательных печах. Медеплавильные заводы расположены по близости к рудникам и в Buffalo. Часть меди подвергается электролизу с целью удаления небольших количеств мышьяка.

Вплоть до 1905 г. производство меди в штате Michigan росло, достигнув 260 млн. фунтов. В 1925 г. производительность рудников пала приблизительно до 155 млн. фунтов в год. Запасы амигдалоидной медесодержащей породы огромны. В 1925 г. было получено 140 000 унций серебра. В общей сложности эта область дала меди до 3 750 000 коротких т.

#### МЕСТОРОЖДЕНИЕ МЕДИ В MONTE CATINI

Знаменитое месторождение меди в Монте-Катини, на западном побережье Италии (близ Ливорно) и древнего этруссского города Вольтерра

описано многими авторами. В связи с собственными наблюдениями A. Bergeat дает прекрасный обзор существующей на эту тему литературы<sup>34</sup>. Подробное описание дает также L. de Launay<sup>35</sup>. Рудники разработаны до глубины 850'.

Эоценовые мергелистые известняки и кремнистые сланцы прорваны неправильной формы лаколитовыми штоками диабаза и габбро. Близ контакта изверженные породы отчасти стекловидны, что свидетельствует о несомненной близости интрузии к поверхности. Руда залегает только в диабазе, главным образом, в его нижней части, или близ контакта, но появляется также и на поверхности. В самом рудном теле диабаз разрушен и превращен в красноватые глинистые массы с цеолитами и кальцитом по трещинам отдельности. Руда содержит самородную медь в трещинах и друзовых пустотах вместе с кальцитом, пренитом, датолитом, анальцином и ломонтитом, а также сульфидами, в особенности халькозином, борнитом и халькопиритом, иногда в форме сплошных масс, в других случаях в виде крупных и мелких округленных конкреций, окруженных глинистой разрушенной породой, состоящей из нескольких сульфидов в концентрическом прорастании. Содержание металла и распределение руд чрезвычайно неравномерны.

Все данные, имеющиеся относительно этого, единственного в своем роде, месторождения говорят за то, что медь концентрировалась из диабаза, вскоре после остывания последнего и последующего раздробления. Происхождение концентрирующих вод труднее определить, но можно с уверенностью сказать, что современные почвенные воды не участвовали в образовании руды.

Между ассоциацией минералов в Monte Catini и в амигдалидных лавах области Верхнего Озера наблюдается большая аналогия, и весьма вероятно, что процессы концентрации там и здесь были одинаковы.

## САМОРОДНАЯ МЕДЬ С ЭПИДОТОМ В ОСНОВНЫХ ЛАВАХ (ТИПА CATOSTIN)

В некоторых месторождениях меди, залегающих в основных лавах, цеолиты отсутствуют, и минералами являются преимущественно самородная медь, эпидот, кварц и кальцит. Такого рода месторождения, не имеющие, кстати, большого экономического значения, имеются в области Appalachian, в Virginia и Pennsylvania<sup>36</sup>.

Породы представляют собою излияния базальта до-кембрийского возраста, отчасти амигдалидные, отчасти сланцеватые. В неправильных трещинах и по зонам нарушения они содержат большое количество эпидота, самородной меди, кальцита и хлорита; местами в жильной породе или в самой горной породе встречаются халькопирит и борнит. Этой группе руд Weed дает наименование «катоктинский тип»; он считает, что они образовались путем инфильтрации с современной поверхности. Это кажется мало вероятным; скорее медь выделилась из излияний базальта вслед за их извержением и отвердеванием.

Watson полагает, что эти месторождения концентрировались из меди, содержащейся в породах, причем концентрация не ограничивалась верхней зоной излияний. Гематит в них отсутствует.

Доводы, приводимые Watson, направлены против положений, высказанных не так давно Graton, Burrer и Broderick в отношении мичиганских руд.

- 1 T. Cornu. „Zeitschr. Prakt. Geol.“ 15, 1907, p. 3217.  
 2 Carl Hintze. Handbuch der Mineralogie, 1898.  
 3 E. Hussak. „Centralblatt. f. Min.“, 1906, p. 333. (Цеолиты отсутствуют; медь между периферическим покровом миндалин, состоящих из силиката железа, а выполнение халцедон).
- 4 J. H. L. Vogt. „Zeitschr. Prakt. Geol.“ 7, 1899, p. 12.  
 5 Volney Lewis. Ann. Rept. Geol. Survey New Jersey, 1907, pp. 157 and 165.  
 6 R. Beck. Lehre von den Erzlagerstätten. 1, 1909, p. 345.  
 7 IDEM, p. 346; также „Zeitschr. Prakt. Geol.“ 9, 1901, p. 391. (С опалом, халцедоном, кальцитом, эпидотом и пренитом).
- 8 R. W. Ellis. Copper in the provinces of Nova Scotia, New Brunswick and Quebec. „Min. Res. Can. Geol. Survey Canada“, 1904, p. 58.  
 9 P. W. Volt. „Zeitschr. Prakt. Geol.“ 21, 1913, p. 42.  
 10 J. Morozevicz. „Neues Jahrbuch“ 1, 1914, p. 250.  
 (Свежий базальт содержит 0,04—0,07% Cu, как предполагается, присутствующей в магнетите в виде твердого раствора с кальцитом и цеолитами).
- 11 W. Lindgren. The gold belt of the Blue Mountains of Oregon. „Twenty second Ann. Rept. U. S. Geol. Survey, pt. 2, 1901, pp. 551—776.  
 12 „Econ. Geol.“ 5, 1910, pp. 247—256.  
 13 W. C. Brögger. „Zeitschr. Eryst. Min.“, Bd. 16, 1890.  
 14 C. Doeiter. Minerogenese und Stabilitätsfelder der Minerale. „Tsch. M. und P. Mitt.“, 25, 1906, pp. 79—112.
- 15 Под термином „почвенные цеолиты“ химики очевидно подразумевают определенные коллоидальные соединения, а не выкристаллизовавшиеся цеолиты.
- 16 J. Volney Lewis. „Ann. Rept. State Geol. New Jersey“, 1907, p. 167.  
 Alfred Harker. The natural history of igneous rocks, 1909, p. 308.  
 Adolph Knopf. „Econ. Geol.“, 5, 1910, p. 247—256.  
 C. N. Fenner. The Watchung basalt and the paragenesis of its zeolites. „Annals. New York Acad. Sci.“ 20, pt. 2, 1910, pp. 97—187.  
 17 Adolph Knopf. Op. cit., p. 251.
- 18 The mineralogy and petrology of intrusive Triassic diabase at Goose Creek, Virginia. „Proc. U. S. Nat. Mus.“ 66, Oct. 2, 1924, pp. 1—86.  
 19 Adolf Knopf. Op. cit., p. 253.
- 20 R. Pumpelly. The metasomatic development of the copper-bearing rocks of Lake Superior Proc. Am. Acad. Arts and Sci., 13, 1877—1878, p. 253.  
 C. Rominger. Geol. Survey Michigan, 5, 1895.  
 R. D. Irving. The copper-bearing rocks of Lake Superior. „Mon.“ 5 U. S. Geol. Survey, 1883.  
 H. L. Smyth. Theory of origin of the copper ores of the Lake Superior district. „Science“ 3, 1896, p. 251.
- M. F. Wadsworth. Origin and mode of occurrence of the Lake Superior copper deposits. „Trans. Am Inst. Min. Eng.“ 27, 1898, pp. 669—696.  
 L. Hubbard. Keweenaw Point. Geol. Survey Michigan, 6, pt. 2, 1898.  
 A. C. Lane. Geological report on Isle Royale. Geol. Survey Michigan, 6, pt. 1 1898.  
 A. C. Lane. The theory of copper deposition. „Ann. Rept.“, State Geol. Michigan 1903.  
 A. C. Lane. Native copper deposits. „Bull.“ 18, Canadian Min. Inst., February 1911, pp. 81—87.  
 A. C. Lane. The Keweenaw series of Michigan. Mich. Geol. and Biol. Survey Lansing, 1911.  
 T. A. Rickard. The copper mines of Lake Superior, 1905, p. 164.  
 L. C. Graton. Издание „Mineral Resources“, U. S. Geol. Survey, 1906—1907.
- B. S. Butler. Idem, 1908—1917.  
 C. R. Van Hise and C. K. Leith. „Mon.“ 52. Idem, 1911, pp. 578—592.  
 21 T. A. Rickard. Op. cit.  
 22 T. A. Rickard. Op. cit.
- 23 Редкую форму залегания меди представляет ее присутствие в песчаниках Nonesuch (округ Ontonagon), где она замещает цементирующее вещество. Irving, van Hise и Leith установили присутствие в меди ядра магнетита. K. Nishio установил, что „магнетит“ состоит из черного гидрокарбона. „Econ. Geol.“ 14, 1919, pp. 324—334.

- 24 „Bull.“ 6, Wisconsin Geol. and Nat. Hist. Surv. 1901.  
25 C. R. Van Hise. „Mon.“ 47, U. S. Geol. Survey, 1904, p. 1103.  
26 „Econ. Geol.“ 5, 1910, p. 474.  
27 A. C. Lane. Salt water in the Lake mines. „Proc. Lake Superior Min. Inst.“ 12, 1906.  
A. C. Lane. Native copper deposits. „Jour. Canadian Min. Inst.“ 14, 1911, pp. 316—325.  
28 G. Fernekes. „Econ. Geol.“ 2, 1907, pp. 580—584.  
29 „Econ. Geol.“ 1, 1906, p. 648.  
30 F. E. Wright. Science 25, 1907, p. 389.  
31 Chemistry of deposition of native copper from ascending solutions. „Bull.“ 778, U. S. Geol. Survey, 1925.  
32 A. C. Lane. Salt water in the Lake Mines. „Proc Lake Superior Min. Inst.“ 12, 1906, pp. 154—163.  
32A В руднике Франклайн граница между водой, годной для питья, и соленой приходится на глубине 1300' от поверхности, т. е. 200' ниже уровня моря. Обычно хлористые воды появляются приблизительно на уровне моря.  
33 „Mon.“ 52, U. S. Geol. Survey, 1911, pp. 583.  
34 A. W. Stelzner and A. Bergcat. Die Erzlagerstätten, 1906, pp. 835—842.  
35 Mététalogénie de l'Italie. „Compte Rendu“ 10 th Internat. Geol. Congress, I, 1907, pp. 603—621.  
36 W. H. Weed. Types of copper deposits in the southern United States. „Trans Am. Inst. Min. Eng.“ 30, 1900, pp. 449—504.  
W. C. Phalen. Copper deposits near Luray, Virginia. „Bull.“ 285, U. S. Geol. Survey, 1906, pp. 140—143.  
G. W. Stose. Copper deposits of South Mountain, Pennsylvania. „Bull.“ 430, U. S. Geol. Survey, 1909, pp. 122—131.  
T. L. Watson. Native copper deposits of the south Atlantic States, compared with those of Michigan. „Econ. Geol.“ 18, 1923, pp. 732—752.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Слр.

<b>Глава I. Месторождения, образовавшиеся механическими процессами перемещения и концентрации. Детритовые обломочные месторождения.</b>	3
Введение . . . . .	3
Месторождения кварцевых песков . . . . .	3
Месторождения глин . . . . .	4
«Фуллерова земля» или «сукновальные» глины . . . . .	5
Месторождения россыпей . . . . .	6
Золотые россыпи . . . . .	7
Классификация россыпей . . . . .	14
Проба и отношение к жильному золоту . . . . .	21
Отношение золота к плотику . . . . .	21
Золотоносные конгломераты Южной Африки . . . . .	27
Платиновые россыпи . . . . .	30
Россыпи кассiterита . . . . .	31
Россыпи монацита . . . . .	32
Прочие россыпи . . . . .	32
<b>Глава II. Месторождения, образовавшиеся химическими процессами концентрации в поверхностных водах</b> . . . . .	37
Изменения в процессе осаждения . . . . .	37
Известняк . . . . .	41
Доломит . . . . .	42
Значение карбонатовых пород в связи с рудными месторождениями . . . . .	43
Кремнистые известняки — cherts и диатомиды . . . . .	43
Осадочные месторождения сульфидов . . . . .	44
Осадочные железные руды . . . . .	45
Болотные железные руды . . . . .	46
Сидериты морских или соленоводных бассейнов . . . . .	47
Оолитовые морские железные руды . . . . .	49
Оолитовые гематитовые руды . . . . .	52
Юрские железные руды Англии . . . . .	55
Оолитовые железные руды Лотарингии . . . . .	57
Оолитовые гематит-шамозит-сидеритовые руды Ньюфаундленда . . . . .	59
Обзор осадочных железных руд . . . . .	60
Осадочные марганцевые руды . . . . .	61
Отложения фосфатов . . . . .	63

<b>Глава III. Месторождения, образованные испарением растворителя в естественных водоемах . . . . .</b>	75
Остаточные соли . . . . .	75
Введение . . . . .	75
Типы воды . . . . .	76
Нормальная последовательность осаждения солей . . . . .	77
Структурные особенности . . . . .	78
Гипс и ангидрит . . . . .	79
Углекислый и сернокислый натрий . . . . .	81
Азотнокислый натрий (селитра) . . . . .	82
Соли борной кислоты (Borates) . . . . .	84
Хлористый натрий . . . . .	88
Месторождения калийных солей Германии . . . . .	94
Другие источники калиевых солей . . . . .	97
<b>Глава IV. Месторождения, образованные процессами выветривания и разложение пород у земной поверхности . . . . .</b>	102
Разложение минералов . . . . .	104
Примеры химических изменений при выветривании . . . . .	106
Глины . . . . .	107
Остаточные железные руды (лимонит и гематит) . . . . .	110
Остаточные марганцевые руды . . . . .	117
Остаточный барит . . . . .	123
Остаточные цинковые руды . . . . .	123
Остаточные охры . . . . .	124
Остаточные фосфаты . . . . .	124
Месторождения водных силикатов никеля . . . . .	124
Бокситы . . . . .	126
<b>Глава V. Месторождения гематитовых руд районов Верхнего Озера . . . . .</b>	134
<b>Глава VI. Месторождения, образовавшиеся путем концентрации веществ, содержащихся в окружающих породах, действием циркулирующих вод. . . . .</b>	151
Общее положение . . . . .	151
Сера . . . . .	152
Магнезиальные месторождения . . . . .	157
Сerpентин-змеевик . . . . .	157
Магнезит . . . . .	~5
Морская пенка . . . . .	159
Тальк и тальковый камень . . . . .	160
Асбест . . . . .	162
Силикаты алюминия . . . . .	165
Барит . . . . .	166
Целестин и стронцианит . . . . .	169
Медные, свинцовые, ванадиевые и урановые руды в песчаниках и глинистых сланцах . . . . .	170
Месторождения меди и свинца в песчаниках . . . . .	171
Ванадиевые и урановые месторождения руд в песчаниках . . . . .	176
Медистые сланцы (Mansfeld) . . . . .	181

Медносульфидные жилы в основных лавах . . . . .	183
Медносульфидные жилы в интрузивных основных породах . . . . .	186
Другие жилы, образованные водами поверхностного происхождения . . . . .	186
<b>Глава VII. Месторождения свинца и цинка в осадочных породах, не связанные с интрузивной деятельностью. . . . .</b>	<b>192</b>
<b>Глава VIII. Месторождения, образовавшиеся в связи с региональным метаморфизмом . . . . .</b>	<b>210</b>
<b>Глава IX. Месторождения самородной меди с цеолитами в основных лавах . . . . .</b>	<b>213</b>
Общее положение . . . . .	213
Генезис цеолитовых медных руд. . . . .	214
Медные месторождения Верхнего Озера . . . . .	217
Месторождение меди в Monte Catini . . . . .	224
Самородная медь с эпидотом в основных лавах . . . . .	225

Редактор Б. П. Некрасов.

Сдано в набор 17/V 1934 г.

Формат 62 × 94<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Изд. № 323. Бум. л. 7<sup>1</sup>/<sub>4</sub>. Кол. тип. зн. в 1 бум. л. 110.240.  
Уполном. главлиты № В-90753. Тираж 3000—авт. л. 19<sup>1</sup>/<sub>2</sub>.

2-я типография ОНТИ имени Евгении Соколовой, Ленинград, пр. Красных Командиров, 29.

Техред А. С. Полосина.

Подписано к печати 17/VII 1934 г.

Заказ № 2776.

Ц. З р. Пер. 60 к.

Инд. 65-5-2

5274

1934/II

96/

### А Н Н О Т А Ц И Я

Классическая книга американского ученого представляет собою почти исчерпывающее описание месторождений полезных ископаемых на земном шаре (кроме нефти и угля). Все описания месторождений разбиты на генетически однородные группы, которые в свою очередь являются членами генетически обоснованного ряда физико-химических и геологических явлений происходящих на земной коре. Последовательно рассматриваются: предмет экономической геологии, законы распределения элементов в земной коре, процессы концентрации и технические особенности различных руд. Детально рассматриваются в свете современных знаний процессы минералообразования и вопрос о магме и ее гношении к минеральным месторождениям. Большая часть книги отведена описанию отдельных генетических групп и типов месторождений и полезных ископаемых.

Второй выпуск книги охватывает генетическую группу месторождений полезных ископаемых, образованных в результате механических процессов разрушения, переноса и отложения; группу месторождений, образованных химическими процессами концентрации поверхностными водами; образованных в результате процесса испарения поверхностных вод и образованных процессами выветривания; группу месторождений, образованных концентрацией веществ из окружающих пород; месторождения докембрийских гематитовых руд, месторождения свинца и цинка в осадочных породах, а также месторождения самородной меди с цеолитами в основных лавах.

Книга будет использована не только в качестве учебного пособия для вузов геолого-разведочной специальности, но и инженерами-практиками при разведке и разработках месторождений полезных ископаемых, при работе над вопросом установления их генезиса.