

А К А Д Е М И Я Н А У К С О Ю З А С С Р

**Т Р У Д Ы
ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК**

ВЫПУСК 13. СЕРИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (№ 2)

Автор: А. Н. ЗАВАРИЦКИЙ

К ВОПРОСУ О ПРОИСХОЖДЕНИИ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД БАКАЛА

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

Акад. А. Н. ЗАВАРИЦКИЙ

К ВОПРОСУ О ПРОИСХОЖДЕНИИ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД БАКАЛА

ВВЕДЕНИЕ

За последнее десятилетие появилось несколько статей относительно образования известных Бакальских месторождений железных руд. В них были высказаны взгляды или несколько отличающиеся от тех, которые принимались разными авторами раньше, или совсем иные. Нельзя не отметить, что новых фактов в этих статьях сообщается не много: в них встречается иное толкование известных ранее фактов, а иногда даже высказывания, не имеющие прямого отношения ни к фактическому материалу, который был собран прежними исследователями Бакала, ни к какому-нибудь новому фактическому материалу.

В самое последнее время о Бакале писали многие авторы, касаясь, впрочем, только отдельных вопросов. Полного монографического описания Бакальских месторождений еще не имеется; более того, ряд фактов, имеющих значение для объяснения происхождения месторождений, остается не опубликованным. В настоящей статье я попытаюсь сопоставить разные взгляды на образование месторождений Бакала на фоне фактического материала как известного прежде, так и нового.

Все новые высказывания разных авторов можно разбить на две группы: во-первых, соображения об осадочном происхождении руд, во-вторых, представления о строении месторождений и взаимных отношениях слагающих их образований.

ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРОФ. НАЛИВКИНА ОБ ОСАДОЧНОМ ОБРАЗОВАНИИ РУД БАКАЛА

Д. В. Наливкин (1932) высказывается в пользу осадочного происхождения бакальских руд очень кратко, почти мимоходом, но берет на себя большую ответственность, приводя свою точку зрения в учебнике в качестве нового и более вероятного, по его утверждению, взгляда.

Какие же основания приводятся им в доказательство этого нового взгляда? Автор ссылается только на фациальный характер толщи, вмещающей месторождение, и смело рисует гипотетическую картину физикогеографических условий обширной мелководной лагуны, какую в то время представляла собой эта часть Урала. Совершенно естественно и законно при обсуждении возможности осадочного образования тех или иных геологических формаций, — в том числе и железных руд, — прежде всего установить фациальные условия отложения осадков. Знание этих условий необходимо для того, чтобы найти аналогичное образование в современных водных бассейнах. Такой метод доказательства, указанный еще Ляйелем, является в геологии основным при изучении осадочных пород вообще, и в этом главное значение учения о фациях для понимания образования осадочных пород.

Установив фациальный характер осадков и физикогеографические условия отложения, прежде всего следует, как будто, сделать попытку указать, где же в современную нам эпоху в таких именно условиях образуются подобные осадки и в том числе, очевидно, и сидеритовые железные руды. Как этот основной вопрос решает Д. В. Наливкин? По его мнению, «лагунные железные руды распадаются на два типа: первый тип связан с большими солонатоводными бассейнами, аналогичными современному Каспию». . . Второй тип по условиям образования приближается к озерному. «Примером первого типа, повидимому, является Бакальское, Зигазино-Комаровское и другие месторождения бурых и шпатоватых железняков». Таким образом, Д. В. Наливкин считает, как будто, что сидеритовые железные руды вроде бакальских образуются в Каспийском море. Законно спросить его, где же там такие руды образуются? Ссылаясь на сходство условий образований бакальской свиты с режимом Каспийского моря, требуется, по крайней мере, привести факты, подтверждающие такое сходство, и при этом абсолютно необходимо, конечно, достоверно знать об образовании сидеритовых осадков на дне этого или похожего на него моря. Но Д. В. Наливкин фактов такого рода не приводит, ограничиваясь лишь общей картиной того, что, по его мнению, могло бы быть. При этом он ограничивается такими общими местами, которые никак нельзя рассматривать как научную аргументацию в пользу сделанного предположения. Вот, буквально так «объясняется» процесс седиментации железных руд Бакала: «Климат носил тропический характер с чрезвычайной интенсивностью нагрева. Благодаря этому создавались необычайно благоприятные условия для выделения углекислоты из морской воды и следовательно для осаждения извести, магнезита, кремнезема и соединений железа и марганца, находившихся в растворенном или взвешенном, коллоидальном состоянии».

«Обычно происходило выделение извести и магнезии, образовавших громадные толщи доломитов и доломитизированных известняков. В тех районах, где морская вода обогащалась железом и марганцем, происходило отложение их окислов и водных окислов. Естественно, что соотношение между выделявшимся кальцитом и окислами железа могли быть самые различные и давать все типы осадков, начиная от чистого известняка, переходя к шпатоватому известняку (? А. З.) и, наконец, гематиту. . .» Вот и все.

«Источником железа, вероятно, — по мнению Д. В. Наливкина, — были железные руды, входившие в состав докембрийских отложений балтийского щита».

Нельзя не заметить, что все это рассуждение далеко от довольно-таки сложной физико-химии моря.

НЕКОТОРЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ ОБ УСЛОВИЯХ ОБРАЗОВАНИЯ СИДЕРИТА КАК МОРСКОГО ОСАДКА

Здесь невозможно подробно входить в рассмотрение этой стороны вопроса, да это, может быть, и не нужно, так как процесс образования бакальских руд, как увидим, не относится к этой группе явлений. Однако, ознакомившись со столь простым решением вопроса проф. Наливкиным, все же не мешает кстати вспомнить, что морские отложения сидеритовых руд требуют для своего образования, повидимому, исключительных условий. Акад. А. Д. Архангельский [1935] указывает, что среди современных осадков такие образования неизвестны. Образование сидерита может происходить только в бескислородной среде. «В зараженных сероводородом глубинах Черного и Каспийского морей, а также в глубоких частях всех других морских бассейнов железо-марганцевые конкреции не были найдены. Вместо них здесь встречаются в изобилии сернистые соединения $Fe(HS)_2$ и FeS_2 и, кроме того, мы в праве ожидать нахождения углекислого

железа. Выделение последнего совершается, по видимому, в более глубоких частях ила, и потому FeCO_3 в отложениях современных бассейнов до сих пор найдено не было».

Подобные же соображения были высказаны Науманом [Naumann, 1918; 1919]. Условия образования карбоната железа, согласно его представлениям, таковы: необходима «кислородная блокада», и потому нельзя представить образования сидерита на поверхности мелководного тонкопесчаного слоя. По всей вероятности, шпатовый железняк не образуется и в отложениях, богатых сильно гниlostным веществом. Далее Науман указывает, что шпатовый железняк может образоваться на более глубоких уровнях и в таких отложениях, где карбонат железа может находиться в растворе без риска превращения в сульфид железа. Указывая на обилие FeCO_3 , особенно в карбоне, он замечает, что в целом образование карбоната железа еще совершенно неизвестно.

Еще сложнее обстоит дело с переносом железа, нужного для образования сидеритов, особенно чистых. Железо не может быть в форме гумата, из которого выпадает не карбонат, а окислы [Gurtner, 1899]. Как указывают Мур и Майнард [Moore and Maynard, 1929], железо едва ли может переноситься на значительное расстояние в виде раствора карбоната, требующего восстановительной среды. С другой стороны, допущение, что железо выносилось и выпадало в виде гидроокислов, затем превращавшихся в карбонат, требует высокого содержания глинозема и кремнезема в руде, так как окислы железа обладают большой способностью абсорбировать эти окислы. По мнению Пальмквиста [Palmquist, 1935] при процессе коллоидной флокуляции образуются силикатовые руды, тогда как образование чистого сидерита происходит из молекулярнодисперсного раствора. При этом в движущейся среде получают оолиты, а плотные сидериты требуют спокойного состояния бассейна.

То предположение, что осадочные карбонаты железа требуют исключительных условий образования, объясняет и относительную редкость сидеритовых осадочных руд. Согласно Крушу [Beyschlag, Krusch, Vogt, 1912] количество осадочных железных руд составляет около 74% всех добываемых, и из них только один процент падает на долю осадочных сидеритов. При этом расчете в число осадочных руд включены и докембрийские железняки типа Верхнего озера. Они составляют 54% всей массы добываемых осадочных руд. Если их исключить, то все же и тогда сидериты составят менее 3% добычи всех оставшихся осадочных железных руд, из которых 88% падает на долю оолитовых железняков. Все это показывает, что образование осадочных сидеритовых руд вообще является процессом сравнительно редким, и уже поэтому нельзя в каждом пластообразном месторождении сидерита видеть осадочное образование.

О НЕКОТОРЫХ ДОВОДАХ В ПОЛЬЗУ ОСАДОЧНОГО СПОСОБА ОБРАЗОВАНИЯ БАКАЛЬСКИХ РУД

В состав каждого научного исследования входят две обязательные части: во-первых, некоторые положения, которые автор хочет доказать, и, во-вторых, доказательства этих положений. Без последней части никакие высказывания не могут быть отнесены к области науки. Как мы видели, Д. В. Наливкин не приводит никаких доказательств возможности процесса отложения руд Бакала осадочным путем, как это им предположено. Эту задачу взял на себя разделяющий взгляды Д. В. Наливкина автор очерка Бакала в сборнике, изданном ЦНИГРИ (1934). Правда, этот автор избегает некоторых уж чересчур произвольных высказываний Наливкина: «В поисках первоисточника железа», по его мнению, «нет надобности предполагать, как это делает Наливкин, что где-то размывалось крупное месторождение руд».

К таким же аргументам приводит в пользу осадочного образования автор

из вышеуказанного сборника? Он ссылается на известную книгу Беренда [Behrend, Berg, 1927], который будто бы указывает, что сидерит образуется (выпадает), если происходит сильное испарение воды, относительно бедной кислородом и содержащей в растворе железо. Посмотрим, о каком «сильном испарении» говорит Беренд. Если мы обратимся к работе, на которую ссылается автор, то увидим, что Беренд далеко не так просто смотрит на образование сидеритового осадка, как это ему приписывается. Он отмечает, что выпадение железистого карбоната требует существенно других условий, чем выпадение карбоната кальция. В условиях атмосферы карбонат железа не устойчив и переходит в гидроокиси. «Если железо должно было выпасть из раствора в форме карбоната», пишет Беренд, «необходимо, чтобы это происходило в восстановительной среде. Образование первичных осадков карбоната железа», продолжает он, «мы можем наблюдать и теперь, именно в болотных водах Германии и Голландии». Речь идет об известном и у нас типе белых болотных руд [Weisseisenerz]. Ван-Беммелен считал, что железо выпадало здесь первоначально в виде гидрата окиси, и затем, при образовании в бассейне торфяника и обильном развитии углекислоты из растительного вещества, этот бурый железняк переходил в карбонат. Беренд сомневается в таком происхождении карбоната железа и допускает возможность его первичного отложения. Далее он указывает, что глинистые железняки (типа Blackband), может быть, представляют собой образования, аналогичные болотным рудам.

Вот, в сущности, все, что имеется по этому вопросу в этой работе. Где же в таких условиях происходит «сильное испарение воды»? Болота Голландии и Северной Германии мало походят на тропическую лагуну Д. В. Наливкина, существование которой допускает и автор, взявший на себя задачу доказательства его положений.

Таким образом, в объяснении процесса отложения сидеритовых железных руд как морского осадка ссылками на фациальный характер отложений отсутствует совершенно необходимая в этом случае для логического заключения посылка, именно указание конкретных примеров современного образования руд в условиях такой фации и точное доказательство принадлежности данной серии осадков к такой фации. Надо сказать, что такой метод доказательства, т. е. объяснение явлений прошлого явлениями настоящего, будучи наиболее убедительным, не всегда может быть применен в геологии. Мы убеждены, например, в осадочном образовании морских оолитовых силикатных железных руд, но мы не знаем примеров их современного образования.

Ссылки на фациальный характер пород, вмещающих месторождение, всегда заключают в себе риск повторять общие места, как это и произошло в данном случае с Д. В. Наливкиным [1932].

Впрочем, и лагунный характер бакальских осадочных образований не является общепризнанным. Акад. Архангельский [1936] считает бакальские породы близкими к породам Зитазино-Комаровского района, а о последних он пишет: «Можно утверждать, что мощные толщи древнепалеозойских пород, к которым приурочиваются Зитазино-Комаровские месторождения, не имеют ничего общего с лагунными отложениями». А. Д. Архангельский сравнивает их с песчано-глинистыми толщами третичных пород северного склона Кавказа.

НЕСКОЛЬКО ЗАМЕЧАНИЙ ОБ ОСАДОЧНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУДАХ ВООБЩЕ

Доказательства, употребляемые в геологии, кроме объяснения прошлого настоящим, заключаются в сравнении исследуемого комплекса явлений с другими, о которых мы можем судить с большей достоверностью. Полезно поэтому вспомнить некоторые из наших сведений об осадочных железных рудах вообще. Они кратко, но очень выпукло были сведены около

15 лет тому назад Бергом [Berg, 1924], который различает следующие типы осадочных железных руд.

Среди наземных образований мы имеем в зависимости от содержания кислорода в растворах, из которых рудное вещество выпадает (в порядке убывания кислорода): бобовые руды, болотные руды, сферосидериты, белые болотные руды, углистые железняки. Из коллоидных растворов, — может быть, силикатных и относительно сильно концентрированных, — на ряду с другими морскими отложениями выпадали оолитовые окисленные руды в окислительной среде; затем, по мере убывания количества кислорода — оолитовые силикатовые руды; в восстановительной среде при этих условиях образуются при участии сероводорода морской воды колчеданные залежи. Из кристаллоидных (молекулярных) карбонатных растворов, относительно высоко концентрированных, в морских условиях образовались месторождения типа Лан-Диль. В месторождениях этого типа мы встречаем пластообразные залежи красного, магнитного и шпатоватого железняка и, наконец, серного колчедана. По мнению Кегеля [Kegel, 1923], — исследовавшего эти месторождения, все эти минералы образовались как первичные осадки из морской воды, сменяясь один другим по мере перехода от окислительной среды (красный железняк) к восстановительной (сидерит и, наконец, пирит). Образование месторождения типа Лан-Диль происходило в специальных условиях излияний базальтовой магмы и связанных с этим поствулканических явлений.

Нет надобности подробнее останавливаться на особенностях всех типов осадочных железных руд. Из их перечня видно, что Бакальские месторождения не походят ни на один из этих типов. Когда-то Кайе [Cayeux, 1909], описывая нормандские руды, считал, что сидеритовые оолитовые руды этих месторождений произошли в морском бассейне при диагенетических процессах замещения карбоната извести известковых оолитов карбонатом железа. В дальнейшем, по его мнению, сидерит замещался силикатами железа. Однако подробное рассмотрение микроструктуры руд, описанных Кайе, убеждает, что сидерит в них является вторичным минералом по отношению к силикатам, и мы имеем дело, вероятно, с позднейшей карбонатазацией силикатовых руд. Берг [Berg, 1921], изучая лотарингские минетовые руды, также пришел к заключению, что первичными являются силикатовые оолитовые руды.

Недавно появились интересные исследования Хаддингга [Hadding] и затем Пальмквиста [Palmquist, 1935] о шведских оолитовых рудах лейясового возраста в окрестностях Лунда. Здесь имеются и силикатовые руды, и сидеритовые, большую часть с оолитовой структурой. Считают, что сидерит здесь представляет первичный осадок, хотя в оолитовых сидеритовых рудах микроструктура очень напоминает картину сидеритизации силикатных руд, которую мы видим в нормандских рудах, изученных Кайе. В доказательство первичного осадочного происхождения этих руд Хаддинг приводит нахождение в них сохранившихся известковых окаменелостей. В состав рудоносной толщи входят песчаники и пески, оолитовые и сидеритовые руды и ископаемые угли. Среди руд Хаддинг выделяет оолитовые руды, богатые сидеритом, богатые кальцитом и бедные карбонатом. Пальмквист показал, что в этом районе имеет место большое развитие сидеритовых руд, которые он считает первичным осадком. Руды залегают среди песчаников, и примесь песка в них — очень распространенный и характерный признак. По структуре руд, залеганию их и характеру вмещающих пород Бакальские месторождения не похожи и на эти шведские месторождения сидеритовых руд, тесно связанных с силикатовыми рудами и обладающих распространенной в них оолитовой структурой.

Если нельзя найти заведомо осадочных месторождений, похожих на Бакальские, то, наоборот, нельзя упускать из вида давно уже отмеченное сходство этого месторождения с такими, как штирийский Эрцберг, Бильбао, месторождения Алжира и др., но к этому сходству мы вернемся позднее.

а) Стратиграфическое положение

Рассмотрим еще аргументы в пользу осадочного происхождения Бакала, заключающиеся не в сходстве этого месторождения с другими заведомо осадочными, но в присутствии в нем якобы некоторых признаков, свойственных вообще осадочным месторождениям.

Так, Д. В. Наливкин [1932] считает, что Бакальское, Зигазино-Комаровское и другие месторождения бурых и шпатоватых железняков Южного Урала связаны со свитой бакальских кварцитов и саткинских доломитов. «Все эти месторождения приурочены к определенным свитам определенного возраста и образовавшимся в специфических условиях». Здесь прежде всего не ясно, что значит «все месторождения». Если это относится ко всем вообще месторождениям западного склона Южного Урала, то это не верно, так как мы здесь имеем месторождения разного возраста, находящиеся в разных условиях и относящиеся к разным типам, как это уже более 25 лет известно хотя бы из сводной работы Богдановича [1913] по железным рудам.

Если же Д. В. Наливкин принимает в расчет лишь те искусственно отобранные месторождения, которые удовлетворяют предъявляемым им условиям, то какое же это доказательство объективной связи их с этими условиями? Даже если ограничиться Бакальскими и Зигазинскими месторождениями, то и здесь остаются пока совершенно не доказанными ни приуроченность тех и других к одному и тому же стратиграфическому горизонту, т. е. к определенному возрасту, ни принадлежность их к одному типу. Я высказывал сомнения относительно расположения Зигазино-Комаровских месторождений в одном стратиграфическом горизонте [1930]. Работы М. Н. Доброхотова [1933] и других исследователей Зигазинского района доказали, что здесь действительно рудные залежи приурочены к разным горизонтам мощной толщи осадков.¹

В геологической обстановке Зигазинских и Бакальских месторождений имеются и черты сходства, и некоторые отличия. Сходство геологической обстановки не ограничивается только общим фациальным сходством пород, среди которых они находятся. Всем давно известно также присутствие диабазов в районах тех и других месторождений, свидетельствующее об определенном проявлении вулканизма, которому приписывают с другой точки зрения существенную роль в образовании месторождения. Почему же надо отбрасывать эту черту сходства геологической обстановки и видеть сомнительное сходство фациальных условий отложения вмещающих свит?

б) Форма залегания

В сборнике ЦНИГРИ [1934], а отчасти и у Д. В. Наливкина [1932] подчеркивается пластообразная форма залежей. Но, как известно, «пластообразная» форма вовсе не является признаком первичного осадочного образования рудных тел. Уже почти сорок лет тому назад один из первых исследователей Бакала проф. П. А. Земятченский [1900] писал, что «признанием пластового характера еще не решается вопрос о происхождении руд». Пластообразная форма известна в различных по происхождению месторождениях. В контактово-метаморфическом месторождении Башмаковского и Богословского рудников Турьинской группы в Северном Урале медные руды образуют тоже пластообразные залежи; но никто никогда не приписывал им осадочного происхождения. Для доказательства осадочного происхождения важна не «пластообразная» форма, а то, что руда образует

¹ В своем докладе на XVII геологическом конгрессе М. О. Гарань (1937) высказывал мнение, что Зигазино-Комаровская свита является гораздо более молодой, чем Бакальская, налегая на Зигальгинские кварциты и песчаники, которые являются отвечающими надбакальской свите.

настоящий пласт со всеми свойственными пласту особенностями (характер выклинивания, отношение к лежащему и висячему боку, непрерывность в известных пределах, закономерное изменение состава и строения в зависимости от условий отложения и т. д.).

Что же в действительности представляют собой Бакальские месторождения? Железная руда не образует здесь непрерывного пласта. Это — группы отдельных участков того или другого из двух пластов, представленных в других частях доломитом или доломитовым известняком. Размеры этих рудных участков различны, иногда незначительны. Очертания их еще не достаточно хорошо выяснены на основании произведенных разведок, но, во всяком случае, они достаточно неправильны. Общее представление о разнообразии рудных участков пласта по величине и об их расположении дает уже первая опубликованная карта Бакальских месторождений, составленная Конюшевским и Ковалевым [1903]. Непосредственные контакты между рудой и сменяющим ее по простиранию известняком вскрыты в немногих местах, но они везде типичны. Мы имеем резкую границу, иногда несколько извилистую и проходящую почти всегда поперек пласта. Таким образом, доломит сменяет руду совсем не так, как сменяют один другого разные, отличающиеся по составу участки одного и того же пласта руды. Такой контакт доломита и руды хорошо наблюдается в северной части месторождения Буландихи (Ленинский рудник). В наиболее крупном из рудников горы Шуйды (ОГПУ № 4) среди руды находится совсем маленький участок, почти глыба, доломитизированного известняка, пересеченного жилой диабаза. Границы этой глыбы — несколько неправильные, почти вертикальные поверхности, пересекающие слоистость руды и доломита.

Все такие явления, давно объясняемые как признаки замещения, говорят как раз против образования формы рудных тел в результате накопления первичного осадка. Бакальские залежи, так же, как и метасоматические месторождения других стран, имеют пластообразную форму потому, что они являются результатом замещения отдельных частей пласта, но они не представляют собой одного пласта или выклинивающихся участков пласта. Как сказано (и также давно известно), оруденение не всегда ограничивается одним пластом известняка, но в некоторых местах захватывает и второй известняковый пласт, лежащий ниже. В большинстве случаев пласт известняка замещается рудой сверху до низу, но в Объединенном руднике можно было видеть сохранившиеся остатки известняка у лежащего бока.

К другим признакам метасоматического замещения мы вернемся в дальнейшем. Указанные сейчас особенности месторождения показывают, что именно форма залежей противоречит представлению о них как о происшедших путем первичного накопления осадочного материала.

В очерке железных месторождений (см. сборник ЦНИГРИ [1934]) справедливо отмечается, что наличие гнезд руды на ряду с «пластовыми залежами» указывали еще Краснопольский [1901] и Ковалев, не считая их доминирующей формой. Даже если это и не «доминирующая форма» залегания, то с точки зрения осадочного образования руд все же необходимо объяснить, как она получилась. Рудные гнезда на Бакале, как известно, ничем кроме своей формы (составом, структурой) не отличаются от «пластовых» залежей. Что же вызвало это различие в форме залегания и появление гнезд, столь не свойственных накоплениям осадков в водных бассейнах?

Ни в какой степени не может считаться доказательством такого образования и наличие в руде прослоек сланца, как это считает автор очерка. Среди пластообразных масс скарна в тех же Богословских рудниках тоже имеются прослойки метаморфизованных туфов; в хорошо известном по учебникам месторождении Бергисгюбель скарны переслаиваются с роговиками, но никто не думает, что эти прослойки могут рассматриваться как доказательство осадочного способа отложения скарнов.

Далее автор очерка считает указанием в пользу осадочного генезиса месторождений также большую относительную однородность их состава.

Во-первых, эта однородность действительно относительная, а, во-вторых, не меньшую однородность мы встречаем и в некоторых, например, притовых залежах, несомненно метасоматических, во вторичных кварцитах, происшедших и из изверженных пород, и из известняков. Эта однородность есть лишь следствие почти мономинерального состава залежей.

Наконец, последний довод автора — «полная и тесная связь месторождений с породами, в которых они залегают», требует разъяснения, что такое эта «полная» и «тесная» связь. Таким образом, я не нахожу ни у Д. В. Наливкина, ни в сборнике ЦНИГРИ доводов в пользу первичного накопления руды как осадка. Впрочем и сам автор осадочной гипотезы, повидимому, склонен также допускать диагенетическое превращение, может быть, известковых осадков в сидериты на дне морского бассейна еще до образования кровли пласта. Он приводит ссылку Беренда [Behrend, 1927] на опыт Сорби, наблюдавшего замещение карбоната кальция карбонатом железа, ссылается на теории образования доломитов указанным путем и заключает, что такое образование сидерита на ряду с доломитом и магнезитом «под действием морской воды на известковый осадок вполне допустимо и с теоретической стороны и в соответствии с наблюдаемыми в Бакальских месторождениях фактами».

В этих представлениях уже есть то общее с гипотезой метасоматического образования, что здесь также допускается реакция замещения известкового карбоната под действием железистых растворов. Факты должны подтвердить только, в каких условиях было вещество, подвергающееся замещению, и когда этот процесс происходил. Прежде чем обратиться к этим фактам и сопоставить их с двух разных точек зрения, посмотрим, все-таки, что говорят нам факты об условиях седиментации при образовании серии пород, вмещающих Бакальские месторождения. Я ограничусь только разрезом этой свиты в пределах самого Бакала, так как, повидимому, нег совершенно твердой уверенности даже в стратиграфическом положении этой свиты: одни считают, например, возможным Бакальскую свиту рассматривать как фациальное изменение Саткинской свиты, тогда как другие считают ее более молодой. М. О. Гарань [1936] и Саткинскую и Бакальскую свиты относит к докембрию. В низах Саткинской свиты около ст. Бердяуш были встречены остатки водорослей группы строматолитов, которые, по указанию А. Г. Вологодина [1937], очень напоминают *Collenia Undosa Walk* и дают некоторое основание приписывать этим слоям кембрийский возраст.

Заметим, что Саткинские доломиты литологически очень похожи на доломиты Миньярской свиты, которым приписывают тоже кембрийский возраст. Бакальская толща непосредственно следует за саткинскими доломитами, без всякого перерыва. Возможно, что и ее следует относить к кембрию.

СТРОЕНИЕ РУДОНОСНОЙ ТОЛЩИ

а) Нижняя карбонатно-сланцевая толща

На основании старых работ Конюшевского и Ковалева, а также наших более новых и более детальных исследований [1924], разрез Бакальской свиты (в ближайших окрестностях месторождения) представляется в таком виде. Внизу залегают сланцы, которые Конюшевский и Ковалев [1903] называли кварцито-глинистыми. Эти сланцы хорошо известны на Иркутскане и в северной части Шуйды. В рудниках на Буландихе и в южных месторождениях Шуйды они не доступны для наблюдения. «Кварцито-глинистые» сланцы имеют характерный тонкополосчатый вид, становясь в нижней части разреза Иркутскана более однородными темными. Тонкая полосчатость обычно представляет собой чередование прослоек алевритовой структуры с прослойками пелитовыми. Толщина тех и других измеряется всего несколькими миллиметрами, иногда она даже меньше. Как правило, нижняя граница алевритовых прослоек резкая, верхняя с посте-

пенным переходом в слой с преобладающим пелитовым материалом. Псаммитовый материал в составе этих сланцев распространен мало, примешиваясь к более тонким алевритовым частицам. По предложенной мной номенклатуре эти сланцы следует назвать алеврито-пелитовыми. В северной части Шуйды алевритовый материал преобладает; здесь в этих сланцах на плоскостях наслонения замечались местами плохо сохранившиеся следы трещин усыхания. На восточном склоне Буландихи (Буландинский рудник), повидимому, в верхах этих сланцев появляются тонкие карбонатные прослойки, и они переходят в известняково-глинистый сланец.

На описанной толще тонкополосчатых сланцев залегает так называемый нижний или второй пласт известняка. Он неизвестен в южных рудниках Шуйды. В северных рудниках этой горы его мощность около 60 м, но характер неизвестен, так как естественных обнажений нет. На западном склоне Буландихи в выходах он значительно окремнел, в верхней части заметна скорлуповатая текстура; в скважинах видно, что в этом известняке много прослоек сланца разной мощности. С такими же глинистыми прослойками его наблюдаем и на восточном склоне Буландихи. Хорошо прослеживается нижний известняк в районе Тяжелых рудников, где он массивный, серый, кремнистый; мощность его меняется от 15 до почти 50 м. Тот же серый доломитизированный известняк наблюдается и в Александровских рудниках.

Над нижним пластом известняка вновь залегают сланцы. На Буландихе как на восточном, так и на западном склонах в высшей степени характерны тонкие карбонатные прослои в этих сланцах. Эта толща переслаивающихся тонких слоев сланца и известняка была названа «перемежаемостью». Она может быть установлена и на северных рудниках Шуйды, где в сланцевых слоях появляются алевритовые прослойки, а в южных рудниках Шуйды известная здесь верхняя часть представлена полосатыми алеврито-пелитовыми сланцами, похожими на такие же сланцы более низких горизонтов, о которых уже говорилось.

В районе Тяжелых рудников перемежаемость также ясно выражена, но карбонатных слоев, повидимому, здесь меньше; они как будто бы выклиниваются и к северу и к югу. Восточнее, в районе Александровских и Ивановского рудников перемежаемость также заменяется кварцито-глинистыми сланцами, повидимому, без карбонатных прослоев. Мощность этих сланцев здесь значительно меньше, чем мощность перемежаемости с карбонатными прослойками, которая и на Тяжелых рудниках достигает 30—70 м.

Еще выше залегает верхний пласт известняка, иногда доломитизированного, к которому и приурочено главным образом оруденение в районе, хотя местами оно захватывает нижний пласт и даже карбонатные прослои «перемежаемости». Структура этого пласта в различных местах не одинакова: в нем встречаются иногда тонкие прослойки сланцев, обильные у лежачего бока в Объединенном руднике. В ряде мест Буландихи — в Объединенном руднике, в северной части Шуйды, на Иркутскане — порода и происходящая из нее руда обладают скорлуповатой конкреционной отдельностью, свойственной стереофитовым водорослевым известнякам. В нижнем пласте известняка такая структура наблюдается, наоборот, редко.

До сих пор во всей описанной толще не наблюдалось сколько-нибудь заметных следов перерыва в отложении. Можно определенно подметить некоторое фаціальное изменение, выражающееся особенно в изменении мощностей карбонатных слоев «перемежаемости», возрастающей как будто в направлении к северо-западу. Очень характерна полосатая структура алеврито-пелитовых сланцев, в которых тонкие прослоечки глинистого материала многократно чередуются с отложениями более крупных, измеряющихся сотнями миллиметра кварцевых частиц. Псаммитовый материал в этой толще играет, как уже сказано, вообще второстепенную роль.

Во-первых, эта однородность действительно относительная, а, во-вторых, не меньшую однородность мы встречаем и в некоторых, например, пиритовых залежах, несомненно метасоматических, во вторичных кварцитах, происшедших и из изверженных пород, и из известняков. Эта однородность есть лишь следствие почти мономинерального состава залежей.

Наконец, последний довод автора — «полная и тесная связь месторождений с породами, в которых они залегают», требует разъяснения, что такое эта «полная» и «тесная» связь. Таким образом, я не нахожу ни у Д. В. Наливкина, ни в сборнике ЦНИГРИ доводов в пользу первичного накопления руды как осадка. Впрочем и сам автор осадочной гипотезы, повидимому, склонен также допускать диагенетическое превращение, может быть, известковых осадков в сидериты на дне морского бассейна еще до образования кровли пласта. Он приводит ссылку Беренда [Behrend, 1927] на опыт Сорби, наблюдавшего замещение карбоната кальция карбонатом железа, ссылается на теории образования доломитов указанным путем и заключает, что такое образование сидерита на ряду с доломитом и магнезитом «под действием морской воды на известковый осадок вполне допустимо и с теоретической стороны и в соответствии с наблюдаемыми в Бакальских месторождениях фактами».

В этих представлениях уже есть то общее с гипотезой метасоматического образования, что здесь также допускается реакция замещения известкового карбоната под действием железистых растворов. Факты должны подтвердить только, в каких условиях было вещество, подвергающееся замещению, и когда этот процесс происходил. Прежде чем обратиться к этим фактам и сопоставить их с двух разных точек зрения, посмотрим, все-таки, что говорят нам факты об условиях седиментации при образовании серии пород, вмещающих Бакальские месторождения. Я ограничусь только разрезом этой свиты в пределах самого Бакала, так как, повидимому, нет совершенно твердой уверенности даже в стратиграфическом положении этой свиты: одни считают, например, возможным Бакальскую свиту рассматривать как фацциальное изменение Саткинской свиты, тогда как другие считают ее более молодой. М. О. Гарань [1936] и Саткинскую и Бакальскую свиты относит к докембрию. В низах Саткинской свиты около ст. Бердяуш были встречены остатки водорослей группы строматолитов, которые, по указанию А. Г. Вологодина [1937], очень напоминают *Collenia Undosa* Walk и дают некоторое основание приписывать этим слоям кембрийский возраст.

Заметим, что Саткинские доломиты литологически очень похожи на доломиты Миньярской свиты, которым приписывают тоже кембрийский возраст. Бакальская толща непосредственно следует за саткинскими доломитами, без всякого перерыва. Возможно, что и ее следует относить к кембрию.

СТРОЕНИЕ РУДОНОСНОЙ ТОЛЩИ

а) Нижняя карбонатно-сланцевая толща

На основании старых работ Конюшевского и Ковалева, а также наших более новых и более детальных исследований [1924], разрез Бакальской свиты (в ближайших окрестностях месторождения) представляется в таком виде. Внизу залегают сланцы, которые Конюшевский и Ковалев [1903] называли кварцитово-глинистыми. Эти сланцы хорошо известны на Иркутскане и в северной части Шуйды. В рудниках на Буландихе и в южных месторождениях Шуйды они не доступны для наблюдения. «Кварцитово-глинистые» сланцы имеют характерный тонкополосчатый вид, становясь в нижней части разреза Иркутскана более однородными темными. Тонкая полосчатость обычно представляет собой чередование прослоек алевроитовой структуры с прослойками пелитовыми. Толщина тех и других измеряется всего несколькими миллиметрами, иногда она даже меньше. Как правило, нижняя граница алевроитовых прослоек резкая, верхняя с посте-

пенным переходом в слой с преобладающим пелитовым материалом. Псаммитовый материал в составе этих сланцев распространен мало, примешиваясь к более тонким алевритовым частицам. По предложенной мной номенклатуре эти сланцы следует назвать алеврито-пелитовыми. В северной части Шуйды алевритовый материал преобладает; здесь в этих сланцах на плоскостях наслонения замечались местами плохо сохранившиеся следы трещин усыхания. На восточном склоне Буландихи (Буландинский рудник), повидимому, в верхах этих сланцев появляются тонкие карбонатные прослойки, и они переходят в известняково-глинистый сланец.

На описанной толще тонкополосчатых сланцев залегает так называемый нижний или второй пласт известняка. Он неизвестен в южных рудниках Шуйды. В северных рудниках этой горы его мощность около 60 м, но характер неизвестен, так как естественных обнажений нет. На западном склоне Буландихи в выходах он значительно окремнел, в верхней части заметна скорлуповатая текстура; в скважинах видно, что в этом известняке много прослоек сланца разной мощности. С такими же глинистыми прослоями мы его наблюдаем и на восточном склоне Буландихи. Хорошо прослеживается нижний известняк в районе Тяжелых рудников, где он массивный, серый, кремнистый; мощность его меняется от 15 до почти 50 м. Тот же серый доломитизированный известняк наблюдается и в Александровских рудниках.

Над нижним пластом известняка вновь залегают сланцы. На Буландихе как на восточном, так и на западном склонах в высшей степени характерны тонкие карбонатные прослои в этих сланцах. Эта толща переслаивающихся тонких слоев сланца и известняка была названа «перемежаемостью». Она может быть установлена и на северных рудниках Шуйды, где в сланцевых слоях появляются алевритовые прослойки, а в южных рудниках Шуйды известная здесь верхняя часть представлена полосатыми алеврито-пелитовыми сланцами, похожими на такие же сланцы более низких горизонтов, о которых уже говорилось.

В районе Тяжелых рудников перемежаемость также ясно выражена, но карбонатных слоев, повидимому, здесь меньше; они как будто бы выклиниваются и к северу и к югу. Восточнее, в районе Александровских и Ивановского рудников перемежаемость также заменяется кварцитово-глинистыми сланцами, повидимому, без карбонатных прослоев. Мощность этих сланцев здесь значительно меньше, чем мощность перемежаемости с карбонатными прослоями, которая и на Тяжелых рудниках достигает 30—70 м.

Еще выше залегает верхний пласт известняка, иногда доломитизированного, к которому и приурочено главным образом оруденение в районе, хотя местами оно захватывает нижний пласт и даже карбонатные прослои «перемежаемости». Структура этого пласта в различных местах не одинакова: в нем встречаются иногда тонкие прослойки сланцев, обильные у лежащего бока в Объединенном руднике. В ряде мест Буландихи — в Объединенном руднике, в северной части Шуйды, на Иркутскане — порода и происшедшая из нее руда обладают скорлуповатой конкреционной отдельностью, свойственной стереофитовым водорослевым известнякам. В нижнем пласте известняка такая структура наблюдается, наоборот, редко.

До сих пор во всей описанной толще не наблюдалось сколько-нибудь заметных следов перерыва в отложении. Можно определенно подметить некоторое фациальное изменение, выражающееся особенно в изменении мощностей карбонатных слоев «перемежаемости», возрастающей как будто в направлении к северо-западу. Очень характерна полосатая структура алеврито-пелитовых сланцев, в которых тонкие прослоечки глинистого материала многократно чередуются с отложениями более крупных, измеряющихся сотнями миллиметра кварцевых частиц. Псаммитовый материал в этой толще играет, как уже сказано, вообще второстепенную роль.

б) Верхняя кварцитовая толща

Вскоре после отложения верхнего известнякового пласта условия отложения нарушаются. Наблюдая время от времени за состоянием забоев рудника, удалось заметить очень интересные особенности налегания на верхний известняковый пласт более молодых слоев. На этом известняке, часто превращенном здесь в руду, залегают сланцы всякого бока. Они уже не имеют того характера, как тонкополосчатые сланцы более нижних горизонтов. Это глинистые сланцы, иногда пестро окрашенные (Тяжелые рудники), только изредка (северная часть Буландихи) содержащие кварцитовые прослой. Сланцы эти достигают значительной мощности на Шуйде и в северной части Буландихи, но вообще мощность их очень изменчива: от нескольких сантиметров до десятков метров. На северо-западном склоне Буландихи в районе Объединенного рудника можно видеть увеличение мощности этих сланцев к северу или северо-востоку; в противоположном направлении сланцы выклиниваются, и здесь на рудный пласт налегают непосредственно кварциты, лежащие над сланцами.

Очень интересные явления наблюдались там, где кварциты налегали непосредственно на руду. Особенно благоприятным для этих наблюдений было состояние Объединенного рудника лет 10—12 тому назад. В окисленной, но прекрасно сохраняющей бывшую структуру сидерита, руде у всякого бока пласта наблюдались «карманы», имеющие форму небольших карстовых углублений на верхней поверхности пласта. Эти карманы заполнены сверху тем же песчаным материалом, превращенным в кварцит, который образует всякий бок всего пласта руды. Иногда видно было, как слои кварцита спускаются в эти впадины у их краев; на дне некоторых находился глинистый материал. Слои кварцита над карманом лежат спокойно, без каких бы то ни было нарушений. Одним словом, здесь были образования, вполне сходные с теми карстовыми углублениями — карманами, которые образуются на поверхности корродируемых выветриванием известняков. Впоследствии они были занесены песком, образующим теперь кварциты. Размеры их измерялись обыкновенно несколькими метрами, глубина доходила до двух и больше метров. Эти карманы наблюдались и в других рудниках (например, в Буландинском). Впервые я видел их лет 20 тому назад в работающихся забоях Штоленного рудника на Шуйде (в настоящее время — группа рудников ОГПУ). В некоторых случаях такие карманы переходят в щелевидные трещины, заполненные кварцитом и подобные тем, какие наблюдаются на Ивановском руднике и были кратко описаны И. В. Пуаре [1929].

Такие карманы и трещины свойственны поверхности известняка, вышедшего из-под уровня воды и выветривающегося в прибрежной полосе. Их присутствие, несомненно, указывает на перерыв отложения. С этим же связана, вероятно, переменчивая мощность сланцев, залегающих между рудой и кварцитом.

Кварциты представляют псаммитовую породу, обыкновенно с хорошо окатанными песчинками, начиная с размеров около полумиллиметра; алевроитовый материал, нередко примешанный к песчинкам, состоит, как обычно, из мелких угловатых частиц. В основании кварцитов в восточной части района рудников залегают нетолстый пласт конгломерата из галек кварцита, к которым также присоединяются изредка плоские гальки сланцев. Эти конгломераты присутствуют и давно известны в большинстве рудников Иркутска; галька в них хорошо окатана, изредка достигает 10 см в поперечнике, чаще — несколько меньше, цемент кварцитовый, непосредственно сливающийся с веществом кварцита, налегающего здесь на конгломерат; изредка цемент более глинистый. Кварциты Бакальских рудников в нижних частях представляют собой однородную массивную породу, в которой не заметна слоистость. Выше в них появляются ясные плоскости наслоения, порода распадается при выветривании на плиты, и на плоско-

стях наслонения можно видеть характерные признаки прибрежных отложений: волноприбойные знаки (около южных рудников Шуйды и на юге Иркутскана), трещины усыхания (во многих местах), может быть, следы ползания червей (?); в одном из прослоев кварцитов Объединенного рудника в последнее время были встречены образования, похожие на следы фукоидных водорослей. Все эти особенности плоскостей наслонения более отчетливо видны там, где в кварцитах встречаются тонкие прослоечки сланцевого материала. В верхних частях кварцитовых скал число этих прослоек несколько увеличивается. Кварцитами заканчивается разрез осадочных отложений окрестностей Бакальских рудников.

Кварциты Бакала уже были описаны И. В. Пуаре [1929], и потому нет надобности останавливаться дальше на их особенностях. Отмечу только в качестве любопытной особенности кварцита нахождение в нем цилиндрических образований, наблюдающихся в заброшенных выработках Ельничного рудника и встреченных раньше при разработке Объединенного рудника. Они представляют собой отделяющиеся от окружающей массы кварцита цилиндрические тела из того же кварцита, иногда со слегка заметной концентрической отдельностью. Их толщина колеблется от толщины нескольких десятков см (на Ельничном руднике) до почти 2 м в диаметре (в бывших разработках Объединенного рудника). Цилиндры располагаются перпендикулярно к плоскостям наслонения. Об этих образованиях также упоминает И. В. Пуаре, пытаясь объяснить их как проявление тектонических напряжений. Без сомнения, эти кварцитовые цилиндры одинаковы с теми цилиндрическими структурами, которые описали Хоулей и Харт (Hawley and Hart, 1934) в потсдамских песчаниках окрестностей Кингстона. Они объясняются как некоторые конкреционные образования, обязанные своим происхождением действию струй воды, поднимающихся вертикально через слой песка и выходящих на поверхность в виде подводных источников.

Изложенные литологические особенности пород Бакальского района позволяют сделать заключения об условиях их образования более обоснованно, чем изображенная Д. В. Наливкиным [1931] картина большой реки, медленно текущей среди пустыни и выносящей в синее тропическое море колоссальные массы песка и ила.

ИСТОРИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ОСАДОЧНОЙ СЕРИИ БАКАЛА

История образования описанных отложений начинается с существования водного бассейна, в котором неоднократно чередовалось отложение глинистых частиц с несколько более крупными алевритовыми, редко псаммитовыми частицами. Повидимому, это чередование говорит о некоторой сезонности в отложениях, причем каждый раз отложение начиналось с приноса частиц, измеряемых сотыми миллиметра (редко крупнее), осаждение которых постепенно сменялось отложением более тонкого глинистого ила; после некоторого перерыва этот процесс повторялся. Так возникало тонкое асимметрическое переслаивание алевритовых и пелитовых слоев. Затем в северной части района периоды отложения кластического материала неоднократно сменялись отложением известкового вещества, закончившись образованием довольно мощного пласта известняка, вероятно, доломитового, наблюдающегося по всему району рудников и обнаруживающего местами скорлуповатую структуру, которая свидетельствует, повидимому, что он обязан своим происхождением деятельности известковых водорослей. Очень может быть, что известковые прослой более нижних слоев имеют то же происхождение. Вслед за образованием этого «нижнего» пласта известняка отложилась опять толща, представляющая собой переслаивание известковых и глинистых слоев. Известковые прослой этой толщи неодинаковы в разных местах района и по толщине, и по распространению, явно выклиниваясь на небольших расстояниях. Повидимому, и здесь наибольшее развитие известковых прослоев мы имеем в северо-западной части района.

Отложение карбонатного материала распространилось на весь район при образовании мощного верхнего пласта известняков или доломита, который также в ряде мест обнаруживает прекрасно выраженную скорлуповатую структуру, указывающую на жизнедеятельность известковых водорослей. Этот пласт известняка превращен в руду в гораздо большей степени, чем нижний, но скорлуповатые структуры достаточно хорошо сохраняются при его сидеритизации, и они позволили А. Г. Вологдину [1937] распознать в таких сидеритах формы строматолитов, напоминающих *Collenia*.

Второй пласт известняка был снова занесен илом, давшим начало сланцам висячего блока, но затем воды бассейна отступают. Глинистая покрывка известняков местами смыывается так, что известняк выходит на дневную поверхность и подвергается выветриванию и коррозии с образованием карстовых форм. Это поднятие не является здесь результатом значительных тектонических нарушений, так как незаметно несогласия в залегании описанной толщи и накрывающих ее кварцитов. Однако перерыв в отложениях здесь несомненен, и это дало основание М. О. Гараню [1937] для разделения толщ «бакальской» и «надбакальской».

Отложение кварцитов указывает на начало нового погружения. Выступившие на некоторое время из-под уровня воды известняки и глинистые породы заносились песком, отлагавшимся на плоском песчаном берегу и переработанным водой и ветром, как это показывает характер окатанности песчинок. В начале этого процесса погребения известняков и глин песком в юго-западной части района рудника накапливались небольшие толщи галечника из крупных, но хорошо окатанных галек и валунов. Если это были тоже отложения береговой линии, — а этому предположению литологические особенности конгломератов, происшедших из этих галечников, не препятствуют, — то мы можем определенно говорить о надвигании бассейна с северо-запада. Заметим, что как будто в этом направлении можно проследить также наиболее заметное изменение характера осадков и в более древних слоях.

Таким образом обстановка, в которой происходило отложение бакальских кварцитов, достаточно ясна. О ней красноречиво свидетельствуют все указанные выше особенности их наслоения, свойственные мелководным и прибрежным осадкам.

ОБ ОБРАЗОВАНИИ СИДЕРИТА ПУТЕМ ЗАМЕЩЕНИЯ ИЗВЕСТКОВОГО ВЕЩЕСТВА ОСАДКОВ

Процесс образования сидерита является основным вопросом генезиса Бакальских месторождений. Как же его решают сторонники осадочного происхождения? Д. В. Наливкин избавляется от этого вопроса следующим соображением, заключающимся в одной фразе: «Естественно, что соотношения между выделявшимся кальцитом и окислами железа могли быть самые различные и давать все типы осадков, начиная от чистого известняка, переходя к шпатоватому известняку и, наконец, к гематиту». В очерке Бакала в сборнике ЦНИГРИ, автор [1934] не ограничивается таким констатированием естественности процесса. «Что касается выпадения железа в форме карбоната, то, кроме осаждения в виде химического осадка, возможно еще образование сидерита в процессе раннего диагенеза известковистых осадков — замещение карбоната кальция карбонатом железа. . . Подобное замещение известкового материала сидеритом мыслимо и на дне Бакальской лагуны». Конечно, можно согласиться, что процесс замещения карбоната известия карбонатом железа «мыслим», но одна мыслимость его еще не является доказательством возможной реальности его в данном случае.

а) Структурные особенности залежей

Сторонники замещения известкового осадка сидеритом в морском бассейне полагают, что при таком допущении «хорошо объясняется соотноше-

ние между сидеритом и доломитизированным известняком, какое наблюдаем в Бакальских месторождениях».

Рассмотрим эти соотношения. Прежде всего, как уже было сказано, сидерит (вообще руда) не образует на Бакале сплошного пласта. Достаточно обратиться к опубликованной карте Коношевского и Ковалева [1903] и посмотреть на расположение руды в районе Иркускана. В масштабе карты особенности этого расположения изображены верно и достаточно ясно передают залегание руды в виде пятен — гнезд среди известняка. Мы видели уже, что такое залегание руды отдельными участками среди известняка является одним из препятствий допущения выпадения ее в виде химического осадка. Это препятствие неустранимо и при допущении диагенетического превращения известкового осадка в сидерит. Допустим, что будущий сидерит представлял собой известковый осадок на дне лагуны. Воды «лагуны» покрывали непрерывно весь этот слой, они содержали в растворе железо, и безусловно в этом одном водном бассейне концентрация железа была практически одинаковая. Одинаковы были, очевидно, и физические условия в близких точках бассейна. Почему же одни участки известкового ила подвергались замещению сидеритом, а другие в десятках метров отсюда оставались нетронутыми? Почему так различны размеры этих участков, почему границы их с прилегающим «известковым осадком» обыкновенно вертикальны и т. д. Все эти вопросы с точки зрения рассматриваемой гипотезы надо разрешить. Впрочем, для понимания действительного хода процесса замещения решение их отпадает прежде всего потому, что никакого известкового осадка, подвергавшегося замещению, никогда не было. Замещению подвергалась уже готовая порода. Это совершенно ясно видно из того, что структура сидерита сохраняет многие черты структуры соседних доломитовых известняков. Так, в тех случаях, где мы находим скорлуповатую структуру известняка, образованного, вероятно, известковыми водорослями, и шпатоватый железняк обладает той же скорлуповатой структурой: сидерит образует скорлуповатые псевдоморфозы по постройкам водорослей. Эта структура сохраняется и при превращении в окисленную руду (турьит, лимонит). Там, где известняк обладал толстоплитчатой слоистостью, и руда обнаруживает следы этого толстоплитчатого строения. Где слои руды тоньше — это одинаково выражено и в известняке или доломите. Достаточно сравнить руды Объединенного рудника, Ленинского и рудников Шуйды. Более того, даже характер отдельности доломитовых известняков сохраняется при замещении их сидеритом и дальнейшем их превращении в окисленную руду. Вид руды в забоях чрезвычайно типичен в этом отношении (южная часть Тяжелых рудников и др.). Все это показывает, что замещался не известковый осадок, а уже сформировавшиеся пласты горной породы. Остается вопрос о времени этого замещения.

б) О времени сидеритизации

Прежде всего мы в самой осадочной толще имеем указания, что в то время, когда началось образование висячего бока, на месте руды был еще известняк (или доломит). Это указание можно усматривать в тех карманах кварцита в руде, которые были описаны выше. Они представляют собой карстовые образования на поверхности выступившего из-под уровня воды карбонатного пласта. Если бы мы здесь имели дело с сидеритом, то, будучи неустойчивым в окислительной атмосфере воздуха и верхних слоев воды, он, вероятно, превратился бы в лимонит. Скорость такого процесса на Бакале можно наблюдать на глыбах сидерита и в старых отвалах. Лимонитовая «шляпа», выступив из-под воды, легко, конечно, могла размываться, но при этом невероятно образование карстовых форм, свойственных карбонатным и другим, относительно легко растворимым породам. Допустим, однако, что эти соображения мало убедительны, что случайно сидериты могли избежать окисления и дать карстовые формы. Обратимся тогда

к гораздо более поздним моментам геологической истории Бакала. В ней мы находим явное свидетельство, окончательно убивающее как осадочную гипотезу, так и гипотезу диагенетического образования сидеритовых руд на дне водного бассейна. Я хочу сказать о давно известных на Бакале диабазы и их отношении к руде. Эти диабазы наблюдались многими исследователями. Многие видели и описывали, как они пересекают руду. Если руда образовалась раньше диабазы, в эпоху седиментации или диагенеза, то диабазы, пересекая рудные толщи, должны оказывать на руду (в данном случае сидерит) контактовое воздействие. К счастью, мы избавлены от необходимости догадываться, какой род воздействий здесь возможен или мыслим. В природе имеются случаи пересечения шпатоватого железяка жилами диабазы и базальта. В этих случаях шпатоватый железяк превращается в магнетит. Об этом придется еще говорить несколько подробнее в дальнейшем. Сейчас достаточно только напомнить, что на Бакале такое образование магнетита отсутствует. Правда, в одном из описаний Бакала [1934] указывается, что в одном только месте, в руднике ОГПУ «в контакте с диабазами» встречен магнетит, «не только в виде вкрапленности, но и в виде небольших жилообразных тел», причем совершенно не описывается, как эта вкрапленность и жилки залегают и каково их структурное отношение к сидеритам. Это указание на нахождение магнетита как контактового материала отсутствует в описании месторождения в сборнике ЦНИГРИ [1934], и, нужно сказать, это вполне правильно. Магнетит встречался вкрапленным в сильно измененные, главным образом бруситовые, вероятно, бывшие карбонатные породы, а также в серпентизированном диабазе (пересекающем доломит.—А. З.). Именно здесь, в змеевике, было, по словам Мокшанова, неправильной формы гнездышко магнетита весом до 1 кг. Вообще же магнетит «образует рассеянные мелкие идиоморфные выделения в метаморфизованной карбонатной, в частности в бруситовой породе». Несомненно, мы имеем здесь дело с гидротермальным образованием, но не контактовым воздействием диабазы на сидерит. Вероятно аналогичные бруситовые агрегаты наблюдаются вдоль контакта диабазовой дайки и магнезита в месторождении на Волчьей горе. В 1915 г. в той же жиле диабазы на Бакале, где указывалось нахождение магнетита, я видел жилку какого-то водного магнезиального силиката, похожего на серпентин, густо пронизанного магнетитом. Эта жилка пересекала выветрелый диабаз. В отдельных случаях, впрочем, магнетит мог появиться и в доломитах или известняках под влиянием контакта с диабазами еще до оруденения и образования сидерита, но сохранение сидерита после внедрения в него диабазы представляется невероятным, если принять во внимание то, что нам известно о температурах разложения сидерита и плавления диабазы и о действительных контактах такого рода в природе. В очерке, изданном ЦНИГРИ, мы находим ссылку на то, что по наблюдениям Чернышева [1883] «воздействие диабазов на карбонатные породы было в большинстве случаев очень слабым». Чернышев наблюдал контакты с известняками, но ведь нельзя же думать, что сидериты в контакте с диабазами ведут себя так же, как известняки. Впрочем, в том же очерке автор находит возможным дать и другое объяснение отсутствию контактовых явлений около диабазов. Я приведу этот абзац целиком.

«Кроме того, как результат сильного бокового давления следует рассматривать развитие кливажа и диаклазов в сланцах, доломитах и других породах. Считаюсь с доказанной теперь большой текучестью горных пород, можно допустить подобного рода явления и в Бакальском районе, особенно при складкообразовании. Так, возможно, что этим можно объяснить некоторые совершенно «холодные» контакты диабазов с вмещающими осадочными породами».

Мы видим, следовательно, что для того, чтобы сохранить представление о более раннем образовании сидерита, приходится: 1) упустить из внимания то, что известно о контактах сидеритов с диабазами в других местах,

2) произвольно допустить, что нет разницы между сидеритами и известняками (доломитами) в их отношениях к контакту с диабазами и 3) выдвинуть гипотезу о «холодных» контактах диабазов вследствие текучести горных пород.

Мне кажется, что все это является хорошим доказательством от противного того положения, что руды (сидериты) образовались после внедрения диабазов.

ВОЗРАЖЕНИЯ ПРОТИВ МЕТАСОМАТИЗМА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД

Как видно из предыдущего, указанные доводы, приводимые в пользу осадочного происхождения руд сторонниками этой гипотезы, настолько не обоснованы, произвольны и не существенны, что невольно возникает вопрос: что же заставляет прибегать к столь мало обоснованной гипотезе? Мы находим на это следующий ответ. Сторонников этого прежде всего не удовлетворяет гипотеза метасоматического образования руд, которая, по их мнению, вызывает ряд возражений. Обратимся к этим возражениям. Некоторых из них мы уже касались выше; такова, например, пластообразная форма руд. Возражение, надо сказать, очень странное, особенно если вспомнить, как мы видели, что об этом писал П. А. Земятченский [1900]. Не менее странны и возражения, указывающие на существование прослоев в руде или на залегание рудных тел среди кварцитов, что, между прочим, для Бакала просто неверно.

а) Гипотетичность мощных терм

Некоторые авторы не соглашаются не столько с метасоматизмом, сколько с его гидротермальным характером и считают, что одним из наиболее слабых мест гипотезы гидротермального метасоматоза является «гипотетичность происхождения мощных терм» [1934]. В этой формулировке не совсем ясно, что же их смущает: то ли, что такие крупные месторождения могли образоваться термальными источниками, или то, что в районе теперешнего Бакала некогда могли существовать такие термальные источники. Разберем оба эти возможные сомнения. Что касается вопроса, могли ли не могли образоваться путем термального метасоматизма такие крупные месторождения, как Бакальские, мне представляется, что единственный способ решения его заключается в том, чтобы найти в других местах земного шара месторождения этого типа, не уступающего по размерам Бакалу. На Бакале считается во всех месторождениях 150 млн. т руды. Штирийский Эрцберг давно работает и в значительной части выработан; считая и выработанную его часть, он заключал более 200 млн. т [Beuschlag, Krusch, Vogt, 1912]. Бискайские месторождения (Бильбао и соседние) заключают около 300 млн. т [Rotaesche Ramon, 1926]. В трех месторождениях Алжирских того же типа около 110 млн. т [Geijer Per, 1927], не считая ряда других. Как мы видим, Бакал не представляет собой месторождения, запасы которого значительно превосходили бы запасы других месторождений, которым приписывают гидротермальное метасоматическое происхождение.

б) Термы и связь с изверженными породами

Обратимся теперь к возможности существования некогда терм в районе Бакала. Можно сказать, что в настоящее время считают, что для огромного большинства терм необходимым и достаточным условием является вулканическая деятельность. Термальные источники, как известно, являются последними отзвуками умирающего магматического очага. Есть ли на Бакале указания на имевшую здесь некогда место вулканическую деятельность? Ответ, как жетя, совершенно ясен. Многочисленные жилы диабазы на Бакале и сравнительно недалекий массив кислых и щелочных пород

около Бердяуша свидетельствуют о наличии здесь этой вулканической деятельности.

Выдвигается иногда требование каких-то достаточных фактов, чтобы «связывать сколько-нибудь мощные термы с диабазами» или «с гранитами Бердяуша». Это странное требование: можно сказать наверное, что вещество, вынесенное термальными источниками, не было заключено в теле тех же самых диабазовых дайк, которые выступают теперь на Бакале, и весьма сомнительно, чтобы оно могло заключаться в той магматической массе, которая застыла в виде Бердяушского штока, хотя все количество железа, которое сосредоточено в Бакальских месторождениях, составляет, наверное, меньше 0.1% массы Бердяушского штока, в чем легко убедиться простым арифметическим подсчетом.¹ Наличие изверженных пород в районе Бакала является лишь неоспоримым свидетельством существования магматического очага. Все, что мы знаем о природе магмы, заставляет предполагать, что при остывании этого очага здесь была термальная деятельность, а это все, что требуется доказать. Термы могут дать начало месторождению и могут не дать. Насколько они были «мощными», мы не знаем. Каковы соотношения между магматическим очагом, откуда происходили термы, дайками диабазов и гранитным штоком, мы тоже не знаем. Мы не знаем путей термальных вод, но в факте существования терм мы можем быть уверены.

Во всяком случае, их существование менее гипотетично, чем существование болот, из которых будто бы приносились железистые растворы в Бакальскую лагуну, или, по представлениям Наливкина, — железорудных месторождений где-то в пустынях Балтийского щита, откуда в ту же Бакальскую лагуну железо приносила полноводная река.

Уже давно Бержа [Bergeat, 1912] подчеркивал, что все рудные месторождения могут быть разделены на группы перимагматических и апомагматических. В первых отложение рудного вещества происходит настолько близко от магматического очага, что после застывания этой магматической массы и превращения ее в горную породу можно подметить территориальную связь между массивом этой породы и расположением рудных месторождений. В апомагматических месторождениях отложение рудного вещества происходит в местах, настолько удаленных от магматического очага, являющегося источником оруденения, что невозможно установить, какая именно масса изверженной горной породы, получившаяся вследствие застывания магмы этого очага, заключала раньше своего застывания вещество, вынесенное из нее и отложенное в рудном месторождении.

Бакальские месторождения и другие месторождения того же типа являются характерными апомагматическими месторождениями, и потому совершенно бесплодны споры на тему, какая масса изверженных горных пород, обнаруженная в районе, служит «источником оруденения». Появление изверженных горных пород, с одной стороны, и рудных месторождений — с другой, одинаково может быть результатом деятельности одного и того же очага. Вопрос о генетической связи горных пород и рудных месторождений может быть поставлен здесь таким образом: появились ли те и другие как следствие одного и того же магматического закономерного процесса, или нет. В районе Бакальских месторождений мы имеем дайки диабазов и в некотором отделении — Бердяушский массив. Последний является единственным в своем роде на Урале. Диабазовые дайки, наоборот, чрезвычайно распространены по всему западному склону Урала. Если бы было доказано, что Бакальские месторождения являются на Урале также единственными в своем роде, то это было бы серьезным доводом в пользу существования «причинной связи» между такими двумя геологическими явлениями, как бакальская руда и бердяушские изверженные

¹ По отношению к массе известных теперь на Бакале дайк диабазов, считая их до глубины одного километра, количество железа в рудах Бакала составляет около 20%.

породы. Если бы, наоборот, мы нашли другие месторождения такие же, как Бакал, в другом районе развития диабазовых даек, но значительно удаленные от Бакала, — мы могли бы утверждать, что все те геологические процессы, которые привели к возникновению Бердяушского штока, не имеют отношения к образованию руд Бакала, и, наоборот, появление диабазовых жил и образование железорудных месторождений находится в связи с одним и тем же магматическим процессом. Вот почему для решения поставленного вопроса такое важное значение имеют точное установление типа Зигазино-Комаровских месторождений и выяснение сходства и различия их с Бакалом. Я касался этого раньше в другой статье [1930], приводя известные тогда факты как указывающие на сходство Зигазиинских месторождений с Бакалом, так и отличающие эти месторождения. Позднейшие исследования М. Н. Доброхотова [1934], особенно обнаружение сидерита под бурьми железняками на Кухтурском руднике, — определенно склонили его к мысли о почти тождестве Бакальских и Зигазиинских месторождений. Разумеется, если первичной рудой Зигазиинских месторождений окажется сидерит, это значительно сблизит их с Бакалом, но все же пока вопрос об одинаковом типе этих месторождений не может считаться разрешенным, так как Зигазиинские месторождения далеко не достаточно изучены в своей первичной зоне. Поэтому столь интересующий некоторых исследователей вопрос о связи рудообразования с тем или другим типом изверженных пород не может быть в настоящее время решен указанным путем. Рассуждать в настоящее время на эту тему бесполезно, надо прежде обратиться к природе и спросить ее, т. е. произвести необходимые для разрешения данного вопроса исследования на месте и в лаборатории.

Заметим, что если появление диабазовых жил и образование рудных месторождений — два следствия одной причины, то вовсе не обязательно, чтобы оба эти следствия были всегда налицо совместно. Имеются такого типа месторождения в отсутствие диабазовых жил, и, наоборот, присутствие последних вовсе не есть указание на непременно нахождение здесь рудных месторождений. Нет поэтому необходимости искать и в районе Зигазиинских месторождений какие-то особые скрытые на глубине кислые интрузии, как это предполагает М. Н. Доброхотов [1934].

Для решения вопроса о связи между образованием рудных месторождений типа Бакала и другими проявлениями магматической деятельности, нам приходится выйти за пределы Урала и рассмотреть аналогичные месторождения в других местах земного шара. Этого мы коснемся несколько позднее; теперь нам необходимо перейти к возможности участия термальных вод в образовании Бакальских месторождений.

в) Пути минерализующих растворов

Указывается на то, что на Бакале «отсутствуют и такие доказательства, как минерализованные каналы (жилы), или каналы со стенками, измененными действием терм. . . Наоборот, все доступные трещины сбросов оказываются не имеющими следов подобных или других изменений».

Если согласиться, что для того, чтобы доказать гидротермальное происхождение Бакальских месторождений, необходимо обнаружить каналы, по которым поднимались растворы, то, очевидно, такое же требование нужно предъявить ко всем вообще метасоматическим месторождениям, образованным восходящими водами. Однако мы знаем, что такие случаи являются исключением; почему же Бакалу нужно предъявлять эти исключительные требования? Наоборот, в Бакальских месторождениях мы имеем ряд неблагоприятных для этого условий и прежде всего слабую обнаженность местности; обнажения лежащего бока месторождений почти совершенно отсутствуют. Микроскопического исследования пород около трещин и вдали от них не производилось, между тем как макроскопически изменения, вызван-

ные гидротермальными растворами, могут оставаться незамеченными. Вообще изменения в данном случае, вероятно, должны быть слабыми, как это указывает характер изменений боковых пород около самых залежей. Наличие таких изменений доказано; их проявление в кварцитах было, например, описано Пуаре; они наблюдались отчетливо в некоторых случаях и в сланцах, но в других местах они совершенно отсутствуют или незаметны для невооруженного глаза. Поэтому едва ли можно согласиться с утверждением о действительном отсутствии всяких признаков изменения около трещин вблизи месторождения. Было бы точнее сказать, что до сих пор они еще не обнаружены. Может быть, они и не будут обнаружены, потому что в некоторых случаях, как мы хорошо знаем, вообще изменения боковых пород даже около рудных жил не бывает. Тем более это возможно около трещин, бывших путями растворов, но не отложивших в них растворенного вещества.

Очень серьезное препятствие, которое мешает установить присутствие термальных изменений в боковых породах и характер этих изменений, мы встречаем там, где породы подверглись, кроме того, вторичному разложению под влиянием поверхностных агентов. На Бакале как раз это имеет место: диабазы в рудниках часто превращены в рыхлые глинистые породы, сохраняющие лишь первоначальную структуру. Очень трудно обнаружить в такой породе, является ли она продуктом выветривания свежего диабазы или диабазы, предварительно испытавшего воздействие термальных растворов. Это потребовало бы очень тонких исследований, а в Бакальских месторождениях в этом направлении почти никаких исследований не производилось.

О ФИЗИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ОТЛОЖЕНИЯ РУД И СОПРОВОЖДАЮЩИХ МИНЕРАЛОВ

Для суждения о физико-химических условиях образования рудных месторождений мы имеем главное основание в парагенезисе слагающих это месторождение минералов. На Бакале, кроме сидерита, мы имеем еще ряд других минералов, ассоциация которых настолько характерна, что для них даже сторонники осадочной гипотезы признают гидротермальное происхождение, связывая их «с термами, которые, несомненно, сопровождали диабазовую интрузию». Кстати заметим, что эти минералы обычно выполняют изолированные полости среди сидерита, и хотя они считаются гидротермальными образованиями, никто здесь не ищет каналов, по которым притекали гидротермальные растворы из диабазов.

Так как диабазы, как уже было сказано выше, не могли образоваться позже, чем руды, а, наоборот, по всем признакам старше их, то представление о связи позднейших фаз минерализации в рудных залежах с более молодыми, чем сидеритовые залежи, диабазами отпадает. Однако может быть поставлен вопрос, не является ли образование кварца, сульфидов, барита и других минералов действительно более поздним процессом, не связанным с образованием сидеритовых залежей. Что эти минералы образуются позднее сидерита, давно установлено; вопрос заключается лишь в том, представляет ли их образование особый, независимый от образования сидеритов процесс. Если будет доказано, что образование всей серии бакальских минералов закономерно связано с образованием залежей сидерита, то тем самым будет доказано гидротермальное происхождение самих сидеритовых залежей.

Каким же путем мы можем подойти к решению этого вопроса? Здесь мы можем идти в двух направлениях. Во-первых, следует рассмотреть структурные отношения и форму нахождения этих минералов на Бакале, разобравшись здесь в том, что обыкновенно называется разными генерациями минералов. Во-вторых, и это особенно важно, мы должны посмотреть, как дело обстоит в других месторождениях, сходных с Бакальскими.

Список почти всех характерных минералов Бакальских месторождений был дан еще Самойловым [1900]; он отметил, что совокупность этих минералов указывает на гидротермальное их происхождение. Через 25 лет после этого, изучая взаимоотношения минералов и структуру руд Бакальских месторождений, я мог наметить такие, следующие одна за другой, генерации минералов месторождений: 1) сидерит, 2) кварц и частью анкерит и бурый шпат с сульфидными рудами, 3) барит с железным блеском (было сделано предположение, что сюда же относится галенит, который до того времени встречался только в отдельных кусках и раньше наблюдался Самойловым в виде вкрапленности в руде); 4) арагонит, образование которого было отделено от образования предыдущих минералов значительным промежутком; этот минерал встречается здесь иногда в характерных формах железных цветов, очень похожих на известные железные цветы Эрцберга, но нарощие в трещинах доломитовых известняков; отношение арагонита к руде не было известно, и он условно был помещен в группу минералов, образованных восходящими водами в конце деятельности теплых источников; некоторое основание этому можно было усмотреть в находке кристалликов арагонита в полостях среди баритовых скоплений.

Минералогией Бакала затем занимался проф. Л. М. Миропольский [1932], опубликовавший две статьи. Главное содержание их заключается в разделении процессов образования месторождения на ряд последовательных этапов: 1) доломитизация, 2) сидеритизация, 3) «минерализация», 4) турьитизация и 5) лимонитизация.

а) Этап доломитизации проф. Миропольского

Концентрация магния в генетической связи с образованием бакальских сидеритов, доходящая вплоть до образования магнезитов, была известна и раньше [Заварицкий, 1935]. Указывалась также связь бакальских и саткинских магнезитов, образующих комплекс, сходный с ассоциацией месторождений Эрцберг-Фейч. Л. М. Миропольский [1932], произведя анализы доломитов и известняков около Бакальских залежей, обнаружил, что в образцах, взятых ближе к рудному телу, количество магнезии увеличивается, из чего он и вывел заключение о непосредственной связи доломитизации и образования железных руд. Основываясь на примерах, известных из некоторых американских месторождений и указываемых Хьюэтом [Hewett, 1928], он считает доломитизацию предшествующей образованию сидерита и на этом основании выделяет ее как особый этап. Непосредственных фактов, наблюдавшихся в Бакальских месторождениях, которые доказывали бы более ранний возраст доломитизации, чем образования сидерита, не приводится. Число анализов не велико, и нельзя сказать, чтобы выбор проб был систематичен; согласно устному сообщению Г. М. Мокшанова, в некоторых скважинах наблюдались и обратные соотношения. Несмотря на все это, указания Л. М. Миропольского на наличие доломитизации около месторождения представляет существенный интерес и требует дальнейшего изучения.

Во-первых, необходимы доказательства действительно более раннего образования доломита, без чего доломитизация не может быть выделена в отдельный «этап»; во-вторых, не совсем ясен источник магнезии. Я напомню мнение Ван дер Веена [Van der Veep, 1922], изучавшего столь похожее на Бакал месторождение Бильбао. «Образование доломита, который так часто находится вокруг метасоматических месторождений железа, свинца и цинка, представляет вообще результат переотложения карбоната магнезии, уже присутствующего в известняке, а не привноса нового вещества действующими на известняк растворами». В районе Бакала и Сатки доломитизация распространена очень широко и вне непосредственного соседства с месторождением. Имея это в виду, приходится внимательно отнестись к представлениям упомянутого голландского ученого.

б) Этап и зоны «минерализации» проф. Миропольского

Главным этапом образования месторождения является «этап сидеритизации» Миропольского, за которым следует «этап минерализации». Такое употребление терминов, впрочем, не совсем удачно и вызывает некоторые возражения. Нельзя произвольно называть «минерализацией» отложение только сульфидных руд; отложение сидерита тоже является определенной стадией «минерализации» в том смысле термина, как его обыкновенно понимают. Добавим, поэтому, к названию следующего за сидеритизацией этапа слово «сульфидной» и будем говорить о «сульфидной минерализации» на Бакале, следующей за образованием сидерита. Эта последовательность бесспорна, но, по мнению Миропольского, относительно парагенетических группировок минералов сульфидной минерализации существует некоторое расхождение взглядов. Необходимо принять во внимание, что никаких новых фактов Л. М. Миропольский не приводит. «Мне — пишет он, — в результате обзора всех минеральных ассоциаций гипогенного характера картина кажется несколько иной. Во-первых, нет той закономерности двух групп парагенетических ассоциаций, о которых говорит А. Н. Заварицкий, так как очень часты случаи, где мы имеем все минералы совместно выделившимися в известной последовательности. Во-вторых, нет той закономерности в последовательности генераций, на которую указывает А. Н. Заварицкий. На основе наблюдений я решаюсь утверждать для Бакальских месторождений следующую *зональную*¹ последовательность, начиная с более ранней: 1) первую карбонатную зону (бурый шпат — доломит — анкерит с Mg); 2) сульфидную зону (пирит — медный колчедан и сюда же, может быть, следует относить свинцовый блеск); 3) барито-кварцевую зону (барит, железный блеск и кварц); 4) вторую карбонатную зону (арагонит — кальцит — халцедон)». При этом Миропольский подчеркивает, что такую «смену генераций» он наблюдал только в одном руднике. «Гораздо же чаще в месторождениях мы находим отдельные звенья этой цепи, прерванные в своем образовании, где целый ряд минералов благодаря этому оказывается совершенно отсутствующим».

Не имея описания фактов, наблюдавшихся Л. М. Миропольским, на основе которых он утверждает приводимую им «зональную последовательность», очень трудно судить, чем его наблюдения отличаются от моих. Прежде всего остается неизвестным, чем последовательность генераций, о которой говорил я, отличается от «зональной последовательности» Миропольского и что такое «зональная последовательность» вообще. Это было бы понятно, если бы, например, речь шла о последовательности образования отдельных зон в каких-то зональных структурах, но, как известно, на Бакале никаких образований с зональной структурой вообще нет; там никто и нигде не наблюдал каких-либо «сульфидных» или «баритово-кварцевых» зон и т. п. (зона — пояс — полоса).

Те главнейшие факты, на основании которых я построил свою «последовательность» генераций, были мной описаны. Новых фактов Л. М. Миропольский не сообщает: если он иначе толкует факты, наблюдавшиеся мной (и моими сотрудниками в 1924 г.), то остаются неизвестными соображения, на которых это новое толкование основано. Поэтому, оставив пока в стороне указанную тем или другим из нас последовательность генерации или «зональную последовательность», вернемся вновь к фактам, тем более, что детальные исследования местных геологов за последнее время добавили еще действительно новые факты, и некоторая ревизия всех известных фактов теперь в целом желательна.

¹ Курсив мой. — А. З.

НАБЛЮДЕНИЯ, КАСАЮЩИЕСЯ ПАРАГЕНЕЗИСА МИНЕРАЛОВ В БАКАЛЬСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

Основная масса первичной руды Бакала — зернистый агрегат сидерита,¹ в котором в совершенно незначительном количестве, неодинаковом в разных местах месторождения, встречаются все остальные минералы. Основной интерес с генетической точки зрения представляют соотношения сидерита и этих минералов, ассоциация которых, по видимому, по мнению всех исследователей Бакала, указывает на их термальное происхождение.

а) Соотношение минералов рудных и нерудных

Главными, более обычными из этих минералов являются: 1) некоторые карбонаты извести, железа и магнезии, скорее всего — доломит или бурый шпат, а может быть и анкерит, как это указывал Самойлов; 2) кварц, 3) барит. Сульфиды — халькопирит, пирит и галенит — гораздо более редки, так же, как и железный блеск. Сначала отметим соотношения минералов той и другой групп. Прежде всего обращает на себя внимание тесная связь халькопирита и бурого шпата (или другого карбоната). Обыкновенно халькопирит встречается в виде включений в буром шпате, реже он выполняет пустотки между кристаллами этого минерала, и иногда попадаются идиоморфные вростки кристаллов халькопирита в буром шпате. Гораздо реже встречаются вростки халькопирита в кварце или на границе между кварцем и бурым шпатом, и мне ни разу не удалось видеть сростания халькопирита с баритом.

Пирит в виде очень мелких кристалликов попадает и в буром шпате, но, главным образом, и в кристаллах более крупных размеров, пирит и псевдоморфозы гегита по пириту находятся в кварце. В барите включения пирита очень редки.

В последнее время был найден галенит в виде зерен, вросших в кварце, который образует жилки вместе с карбонатом. Железный блеск ассоциируется главным образом, если не исключительно, с баритом, и нередко пластинки его слагают так называемые железные розы. Последние иногда нарастают и на более ранние минералы так же, как иногда на этих минералах нарастают кристаллы барита. Обычно пластинки железного блеска сростаются с баритом.

В Бакальских месторождениях попадались, кроме того, кристаллы горного хрусталя с вросшими в них табличками железного блеска, но те образцы, которые я видел, не позволяли с уверенностью заключить, имеем ли мы дело с кварцем более поздним, чем железный блеск, или, наоборот, пластинки последнего являются более поздними вростками — метасомами.

б) Взаимные отношения нерудных минералов

Что касается взаимоотношений бурого шпата (вообще карбоната), кварца и барита, то нужно сказать, что в немногих относительно случаях можно видеть эти отношения с достаточной ясностью. Бурый шпат всегда образует выполнение пустот и трещин в сидерите; если он не заполняет их совершенно, то мы можем видеть друзы кристаллов этого минерала, имеющего форму главного ромбоэдра с несколькими искривленными гранями. Кристаллы сидерита, встречающиеся внутри полостей в руде, имеют форму тупейшего ромбоэдра, и практически это различие кристаллических форм легче всего позволяет отличить сидерит от более позднего бурого шпата. Кварц и барит, иногда также выполняют полости в сидерите, но в других случаях можно

¹ Этот минерал на Бакале содержит в своем составе до 20% $MgCO_3$, в виде изоморфной примеси, и потому, как указано Л. М. Миропольским (1933), его правильнее относить к сидероплезиту. Я сохраняю название сидерит, рассматривая сидероплезит лишь как разновидность сидерита. См. Dolter-Handb. Mineralchemie, I, 423.

видеть, что они образовались позднее бурого шпата, облекая его или выполняя остатки полостей, на стенках которых раньше отложился бурый шпат.

Очень часто можно найти в рудниках образцы молочно-белого кварца с отпечатками тех кристаллов сидерита или бурого шпата, на которые кварц нарастал. Эти отпечатки можно видеть у основания кристалла или (очевидно, когда последний рос, располагаясь параллельно стенке полости) на призматических гранях с одной стороны кристалла, тогда как с другой стороны грани хорошо образованы. Среди таких отпечатков ромбоэдров карбонатов на кварце мы встречаем форму иногда тупейших ромбоэдров сидерита, иногда же — основных ромбоэдров бурого шпата.

Барит был встречен в кристаллах, выросших на кварце, но такие сростки можно найти редко, — там, где вообще наиболее развиты все рассматриваемые минералы, — особенно кварц, — именно в северной части рудников Шуйды. В более южных рудниках Шуйды, особенно богатых баритом, этот минерал непосредственно выполняет полости в сидерите, превращенном здесь в окисленную руду, главным образом в турьит. Гнездышки и прожилки барита, извлеченного из массы турьита, имеют на своей поверхности превосходные отпечатки кристаллов карбонатов, особенно тупейших ромбоэдров сидерита, выстилавших полость, заполненную потом баритом. Эти отпечатки совершенно похожи на те, которые мы видели на кварце. При разработке в средней части месторождений Шуйды из руды извлекались гнезда барита, иногда достигавшие метра в поперечнике, но здесь кварц вместе с баритом почти не встречается.

в) О порядке выделения минералов второй генерации

Из сказанного видно, что в Бакальских, так же как и в других месторождениях, нет каких-то резко прерывающихся и сменяющих друг друга периодов образования отдельных минералов, каких-то строго разграниченных «последовательных зон». Образование каждого минерала частью перекрывается началом образования другого, более нового, или концом образования предыдущего, и те генерации, или «зоны», которые мы выделяли, являются в определенной степени искусственно выделенными ассоциациями, характерными для разных стадий минералообразования. Это — только схемы. В зависимости от детализации при расчленении всей ассоциации минералов может измениться и число таких генераций. На Бакале можно, например, вторую из выделенных мной генераций (кварц и карбонаты с сульфидами) разделить на две: 1) бурый шпат (частью, быть может, доломит или анкерит) преимущественно с халькопиритом и 2) кварц с пиритом и, может быть, изредка с гематитом. Но никак нельзя, по моему мнению, отделить кварц от сульфидов, именно пирита, являющегося в Бакальских месторождениях преобладающим сернистым соединением. Поэтому для меня непонятно также, почему, например, все сульфиды помещаются в одной (2) группе с карбонатами, а в другой группе (3) (кварц, барит, железный блеск), то помещаются сульфиды со знаком вопроса, то совсем выбрасываются [Сборн. ЦНИГРИ, 1934]. Согласно с Миропольским, можно объединить в одну «зону» кварц и барит, но тогда туда же необходимо будет отнести и пирит, а частью и халькопирит, и трудно в этом случае отделить более раннюю «зону» бурого шпата с халькопиритом.

В последовательности появления рассматриваемых минералов можно подметить некоторую общую черту. В начале выделение их происходит в бескислородной, восстановительной среде: сера входит в состав сульфидов, в виде сульфида мы находим и железо, в дальнейшем появляется кислородное соединение серы в барите и железо в окисленном виде в железном блеске — восстановительная обстановка сменяется окислительной.

Как уже отмечалось мной и раньше, можно заметить некоторое пространственное обособление кварца и барита в рудниках Шуйды. Его нельзя не учитывать, группируя минералы Бакальских месторождений в парагенетические ассоциации.

г) Об арагоните

Резко обособленным во времени позднейшим образованием является арагонит.

Арагонит как большая редкость встречается в виде тонких кристалликов и пучков их в полостях, оставшихся незаполненными при кристаллизации минералов, перечисленных выше, включая и барит. Кристаллики арагонита попадались нарощими не только на барите, их можно встретить также на кварце и буром шпате. То обстоятельство, что такие кристаллы приурочены к пунктам отложения других гипогенных минералов, было некоторым основанием для предположения, что он относится также к этой группе минералов, являясь, во всяком случае, гораздо более поздним, отмечающим конец термальной деятельности. На Бикале более известна другая форма нахождения арагонита в виде лучистых пучков, аксиолитов и настоящих «железных цветов» Эрцбергского типа. Имеем ли мы здесь другую генерацию арагонита или он образовался одновременно в таких различных формах, я не берусь судить. Для решения этого вопроса некоторые указания можно было бы получить путем точных кристаллографических и, может быть, химических исследований, которые еще не производились. Для установления условий образования арагонита в виде «железных цветов» очень интересной является находка, сделанная в последнее время в выработке Верхнебуланского рудника, где арагонит был найден в форме «железных цветов» в пустоте среди окисленной руды. На основании этого арагонит считается теперь гипергенным образованием. Напомним, что еще Самойлов, исходя из находок включений угловатых кусочков бурого железняка, указывал, что арагонит, образующий корки на известняке около Верхнебуланского рудника, «отлагался здесь уже после того, как образовалась железная руда; превращение первоначального материала в бурый железняк ко времени отложения арагонита было уже совершившимся фактом». Выпадение углекислой извести в виде гипергенного арагонита, как известно, связывается с составом растворов, из которых этот минерал выделялся.

«Вторая карбонатная зона» Л. М. Миропольского (арагонит — кальцит — халцедон), может быть, уже полностью обнимает минералы гипергенного происхождения.

Таковы соотношения между теми минералами, образование которых издавна рассматривается как результат действия термальных растворов, а также минералами более поздними. Как уже было отмечено, для выяснения способа образования всего месторождения особенно важны отношения всех этих минералов к той зернистой массе сидерита, среди которой они находятся.

ОТНОШЕНИЕ МИНЕРАЛОВ ПОЗДНЕЙШИХ ГЕНЕРАЦИЙ К СИДЕРИТУ

а) Структура рудной массы

Как уже было сказано выше, наиболее характерным является нахождение всех рассмотренных минералов в виде выполнений небольших полостей, рассеянных в зернистой массе сидерита. Изредка эти минералы образуют жилки, а иногда и отдельную вкрапленность зерен. В виде таких отдельных вкрапленников Я. В. Самойлов [1899, 1900] наблюдал также и альбит, превращенный в каолин, среди руды окисленной и превращенной в турцит.

Решение вопроса о взаимоотношениях сидерита к позднейшим гипогенным минералам должно включить в себя выяснение природы и способа образования полостей, являющихся вмещителями этих минералов, и объяснение способа выполнения таких полостей. Форма интересующих нас полостей в сидерите подчас очень неправильна. О ней можно судить по форме тех кварцевых или баритовых выполнений их, какие являются как бы следами этих полостей. На таких «следах», а иногда и непосредственно в неза-

полненных местах полостей видно, что стенки их выстланы крупными кристаллами сидерита, образующими друзы. Кристаллы эти значительно крупнее, чем зерна вмещающей массы шпатового железняка, но нередко можно наблюдать, как зернистость последней становится грубее около полости, и мы имеем как бы непрерывный переход от среднерзистой и даже мелкозернистой сплошной массы к крупным кристаллам друз на стенках пустот, вышлосленных минералами последующей генерации. Образование подобных полостей встречается в разных частях месторождения и в неодинаковом развитии. Почти всегда к ним приурочено нахождение гипогенных минералов, более поздних по времени отложения.

Для того чтобы приблизиться к выяснению происхождения таких образований, мне представляется наиболее рациональным обратиться к другим аналогичным образованиям, которые мы встречаем в природе. При этом невольно приходят на память те пирометасоматические породы и руды, которые мы можем наблюдать в некоторых контактовых месторождениях. В скарнах внешней зоны г. Магнитной наблюдается очень похожая картина [А. Н. Заварицкий, 1922]. В сплошной зернистой массе гранатовой породы местами встречаются небольшие полости, выстланные друзами более крупных кристаллов граната; около них увеличиваются и размеры зерен вмещающей гранатовой породы. Самые полости часто выполнены кварцем вместе с железным блеском или с силикатами — актинолитом, хлоритом. Подобное друзовое сложение наблюдается и в рудах г. Магнитной, в которых небольшие пустоты усажены крупными кристаллами магнетита. Ту же самую текстуру мы нередко наблюдаем и в других контактово-метаморфических месторождениях, например, в скарнах г. Высокой. В эпидозитах Богословского рудника наблюдались полости с друзами кристаллов эпидота, выполненные кварцем с пиротином. Подобные же явления встречаются и в метасоматических породах, образовавшихся при низких температурах, — в некоторых вторичных доломитах, даже во вторичных кварцитах, где в пустотках попадают друзы хороших кристалликов кварца. Одним словом, возникновение друзовой структуры подобной той, какую мы имеем в бакальских сидеритах, является довольно обычным при метасоматизме. В приведенных примерах таких высокотемпературных образований, как скарны, можно наблюдать также со всей очевидностью, как возникающие таким путем полости служат местами отложений минералов позднейшей генерации. Я думаю, что нечто подобное имело место и на Бакале. Структурные соотношения здесь совершенно одинаковые.

б) Явления в боковых породах

Иного рода явления на Бакале свидетельствуют о том, что образование сидерита не является чем-то совершенно отличным от образования других сопровождающих его минералов. В рудной массе сидерит настолько преобладает в количественном отношении над всеми остальными минералами, что, естественно, получается резкое различие в формах нахождения. Но в боковых породах, где процессы минерализации происходили в неизмеримо меньшем масштабе, чем в известняке, подвергшемся метасоматизму, мы можем наблюдать очень поучительные в этом отношении явления. Они широко распространены в кварцитах всяческого бока месторождений; в своем распространении они ограничены пределами развития рудных залежей, так что ясно, что они вызваны той же причиной, которая привела к образованию месторождений. Эти явления уже были кратко описаны И. В. Пуаре [1929].

Во многих местах на Бакале кварциты всяческого бока принимают местами своеобразный облик, на основании чего они получили название пятнистых кварцитов. Когда они подвергаются выветриванию, то видно, как в массе породы выступают бурые пятнышки, окрашенные окислами железа; размеры их обыкновенно несколько миллиметров, но иногда и значительно больше. Эти пятнышки образованы лимонитом, пропитывающим породу.

В свежих образцах можно видеть, что лимонит здесь произошел за счет окисления, с одной стороны, пирита, а с другой — сидерита. Эти пиритовые и сидеритовые гнездышки в кварците можно видеть в свежем состоянии в ряде рудничных выработок. В последние годы разработки Объединенного рудника пиритовые стяжения в кварцитах всяческого бока составляли обыкновенное явление. Развитие сидерита прекрасно наблюдалось в Верхнебуланском руднике, в Буландинском и других. Пирит и сидерит являются здесь минералами, отложившимися в кварците, замещая его метасоматически. Замещение начинается обыкновенно с цемента. Рисунок такого кварцита, в котором песчинки кварца были заключены в цемент алевритовой структуры, в значительной степени замещенном кристаллическим сидеритом, приведен в статье Пуаре. При дальнейшем развитии метасоматического процесса сидерит разъедает и самые песчинки, замещает их так, что от них остаются только маленькие обрывки в теле метасоматического сидерита, и, наконец, остатки песчинок совершенно исчезают. Подобная же картина метасоматического развития в кварците наблюдается и в пиритовых скоплениях. В очерке, помещенном в сборнике ЦНИГРИ [1934], указывается, что «переход сидерита в всяческом боку в пятнистый кварцит (зерна кварцита и сидерита)» может быть объяснен осадочным накоплением сидерита и возникновением его под действием морской воды на известковый осадок. Как мы видим, взаимоотношения минералов, которые можно видеть под микроскопом, и несомненное замещение кварца сидеритом или, в других случаях, пиритом, свидетельствуют о процессах совсем другого рода и не могут быть объяснены выпадением сидерита в виде осадка на песчаном дне бассейна. Кроме сидерита и пирита, в бакальских кварцитах уже отмечалось раньше нахождение (изредка) халькопирита; в Верхнебуланском руднике наблюдался также и свинцовый блеск; в южной части рудников Шуйды был встречен барит и притиски и между песчинками кварца. Наконец, было отмечено и присутствие тонких кварцевых жилков.

Мы видим, следовательно, что в кварцитах всяческого бока присутствуют все те минералы, которые входят в состав рудных залежей. Мы видим их метасоматическое образование в массе кварцита и среди минералов, замещающих кварцит, — тот самый сидерит, происхождение которого является предметом дискуссии.

Таким образом, в пользу предположения, что сидерит на Бакале образовался, как и другие минералы, из гидротермальных растворов, говорят две чрезвычайно характерные особенности месторождения: 1) структурные отношения гипогенных минералов к сидериту в рудах одинаковы с теми отношениями более поздних минералов к минералу, образующему главную массу, какие наблюдаются в метасоматических образованиях вообще, и 2) способ отложения сидерита в боковых породах таков же, как и способ отложения пирита, частью халькопирита и других минералов, причем метасоматическое образование сидерита не вызывает никаких сомнений.

Противоположное мнение, что сидерит отложился каким-то совсем другим способом, чем все другие гипогенные минералы Бакала, основано на гипотезе, что появление последних представляет собой результат термальной деятельности, связанной с интрузией диабазов более молодых, чем залежи сидерита. Этот более молодой возраст диабазов опровергается фактами, наблюдаемыми при исследовании контактов диабазов в сидерите. Поэтому возможность большого промежутка времени между отложениями сидерита и других минералов является совершенно произвольным предположением.

БАКАЛЬСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ДРУГИЕ ИМ ПОДОБНЫЕ

Очевидная генетическая связь между сидеритом, с одной стороны, и сульфидами — с другой, подтверждается тем, что и в других месторождениях, подобных Бакалу, о которых уже не раз приходилось упоминать,

именно в месторождениях Штирии, Бискайи, Алжира и Туниса, мы встречаем ту же или близкие ассоциации минералов сидеритовых месторождений, причем и там, так же, как на Бакале, эта ассоциация минералов проявляется вслед за отложением сидеритов.

В Штирийском Эрпберге [Beck, 1922] встречены пирит, халькопирит, мышьяковый колчедан, свинцовый блеск, киноварь и блеклая руда. В другом мелком месторождении того же типа в этой области, около Хиршванга, Бек [1922] указывает в качестве еще более ясных доказательств термального происхождения присутствие отдельных прожилков кварца с медным колчеданом и блеклой рудой и более молодой генерации сидерита и барита. В месторождениях Бискайи, по Ван-дер Вееву [Van der Veen, 1922], более молодые жилочки свинцового блеска, цинковой обманки и пирита встречаются в телах железных руд. В месторождениях Алжира и Туниса также встречаются иногда кварц, барит и сульфидные соединения меди, свинца, цинка и мышьяка. Заметим, что следы мышьяка указываются и в анализах Бакальских месторождений.

Совершенно естественно возникает вопрос, почему же в столь различных пунктах земного шара в месторождениях сидерита, похожих на Бакальские, постоянно появляется ассоциация минералов, очень близких к той, что мы видим на Бакале и в тех же отношениях к сидериту по времени образования? Можно ли предполагать, что появление этих минералов связано с процессами, не имеющими ничего общего с образованием сидеритов, как это предполагают сторонники осадочного образования бакальских железных руд? Не естественнее ли допустить, что появление сульфидов, кварца, барита связано причинной зависимостью с образованием сидерита?

Изучение Бискайских и североафриканских месторождений, так похожих на наш Бакал, представляет для нас огромный интерес и с другой точки зрения. В этих месторождениях мы имеем сравнительно молодые образования, не имеющие очень долгой истории существования с ее возможными влияниями. При изучении рудных месторождений как геологических образований такое сравнительное изучение сходных, однотипных образований разного возраста имеет огромное значение, может быть еще не достаточно оцененное. В полной мере этот процесс нашел признание при изучении осадочных образований, где мы часто в явлениях современных ищем ключ к разгадке прошлого. При изучении древних вулканических пород нам приходится обращаться к явлениям современного вулканизма.

Мы не можем полностью с тем же методом подойти к явлениям, совершающимся на большой глубине, но сравнительное изучение древних образований и хотя бы не современных явлений, но аналогичных древним более молодых образований, могут пролить свет на первые. Так, для изучения ряда месторождений железных руд известных в архейских породах, без сомнения, чрезвычайно важно изучение таких палеозойских месторождений, как наши горы Высокая и Благодать. Я в другой работе указывал, какие новые представления о генезисе уральских колчеданных месторождений возникают при сопоставлении их с молодыми сульфидными залежами, например, Японии.

С той же точки зрения сравнительного изучения сходства образований разного возраста мы можем подойти и к Бакальским месторождениям. Я напомню только некоторые черты знакомых мне по собственным наблюдениям месторождений Бильбао, гораздо более молодых, чем Бакальские.

Даже при беглом знакомстве с теми и другими месторождениями бросается в глаза прежде всего удивительное сходство руд: мы находим в Бильбао и известные нам на Бакале сидеритовые руды (карбонаты), и типичные окисленные руды с их характерной тонкопористой структурой с псевдоморфозами по сидериту, такие же легкие (вена), и те же самые натечные руды со всеми их особенностями (рубно); может быть, только бискайские «камшаниль» несколько отличаются от наших окисленных руд, представляя

своеобразную разновидность руд, которую я назвал на Бакале смешанными рудами. Эта разновидность несколько плотнее наших типичных окисленных руд, но в общем обладает их структурой. Рудные залежи, так же как на Бакале, образуют пластообразные массы, прикрываясь только не древнепалеозойскими сланцами и кварцитами, а глинистыми сланцами верхнемелового возраста. Горные породы так же разбиты сбросами, и так же широко распространены диабазовые интрузии, но возраст этих интрузий относят к третичному периоду. Происхождение месторождений Бильбао приписывают гидротермальной деятельности. По всему району еще и теперь выходит значительное число горячих источников около пересечений двух систем сбросов. «Вся геологическая история района находится в соответствии, — пишет Ван дер Вееп [Van der Veep, 1922] — с гидротермальным происхождением руд. Последние еще живые отзвуки вулканической деятельности с их слабыми журчащими звуками заявляют свое право на признание их связи с металлогенией провинции».

Конечно, мы не можем наблюдать непосредственно образование руд на глубине в земной коре, но здесь мы почти присутствуем, в геологическом смысле, при этом процессе, и у нас больше оснований ссылаться на этот пример почти современной вулканической деятельности, чем на образование сидеритовых осадков в лагуне, подобной Каспийскому морю, как это делает Д. В. Наливкин.

Связь между рудными залежами, сбросами, молодой вулканической деятельностью и термальными источниками, подобная той, которую указывают в Бискайе, отмечается Гейером [Geijer 1927] и для североафриканских месторождений, где мы имеем дело с еще более молодыми проявлениями вулканизма.

ЕЩЕ ОБ УСЛОВИЯХ ОБРАЗОВАНИЯ РУД БАКАЛЬСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Признавая гидротермальное происхождение Бакальских месторождений, проф. Л. М. Миропольский [1932] считает, что образование сидерита произошло «при несколько иных термодинамических условиях», чем образование сульфидов и других минералов, с которыми сульфиды связаны. Какие же основания имеются для такого предположения проф. Миропольского? Вот, буквально, что он пишет: «Мне кажется, что этапы доломитизации и сидеритизации протекали при относительно низкой температуре (порядка интервала 50—70°), этап же минерализации — при более возвышенной температуре (порядка интервала 150—200°), а может быть, даже и несколько большей, которая к концу процесса стала понижаться». Этим ограничиваются все доводы. Поскольку суждение проф. Миропольского относительно кажущейся ему разницы в температурах образования сидерита и других минералов не сопровождается никакими доказательствами, оно не требует рассмотрения, так же, как не требует и признания какой-либо его основательности, хотя сам по себе вопрос о температурах и вообще о физико-химических условиях образования месторождения представляет, конечно, огромный интерес.

Геологическая термометрия — очень ответственная часть геологического исследования, но, к сожалению, во многих случаях мы лишены возможности использовать ее. Но для дальнейшего роста науки мне представляется все-таки более полезным отчетливое сознание пределов наших сведений в данной области, чем введение в рассуждение некоторых кажущихся величин.

Для суждения о возможных температурах образования рудных месторождений пытаются использовать, как известно, парагенезис минералов и характер изменений боковых пород под влиянием рудоносных растворов. Мы очень мало знаем об этих изменениях боковых пород Бакальских месторождений. В кварцитах мы видели только метасоматическое развитие рудных минералов. В сланцах всякого бока под микроскопом можно

видеть развитие серицита и, повидимому, хлорита. Они иногда принимают «тальковатый» облик, но вследствие позднейших супергенных изменений, — а главным образом вследствие недостаточной изученности этих сланцев, — трудно судить о роли гидротермального метаморфизма в создании их облика. Во всяком случае, многие образцы сланцев всякого бока под микроскопом представляют типичную картину серицитового сланца, состоящего из субпараллельно расположенных довольно крупных чешуек серицита, и очень похожи на серицитизированные глинистые сланцы, какие мы встречаем обыкновенно около рудных жил. Серицитизация иногда сопровождается появлением отдельных зерен и кристаллов карбоната.

Еще яснее действие гидротермального метаморфизма видно в тонких прослойках сланца в руде, встречающихся в средней части месторождения Шуйды. Здесь порода превращена в сланец яркозеленого цвета, часто с несовершенной сланцеватостью. По своему цвету порода очень напоминает наиболее ярко окрашенные зеленые разновидности лиственитов, какие можно видеть, например, в Благодатных рудниках в Среднем Урале или около Каскына в Миасской даче. Микроскопическое исследование некоторых образцов этих зеленых сланцев показало, что они состоят главным образом из бесцветной под микроскопом слюды и примеси кварца. Они всего скорее действительно являются продуктами термального метаморфизма, и очень может быть, что яркая зеленая окраска слюды, являющейся главным минералом породы, зависит от тех же причин, что и зеленая окраска мусковита лиственитов, которая в свое время привлекала внимание В. В. Никитина [1907]. Появление зеленых сланцев в сидеритах Бакала не находится в какой-либо видимой связи с сульфидной минерализацией. Эти сланцы представляют собой тонкие прослойки, заключенные в сидерите, и вероятнее всего их изменение связано с образованием масс сидерита. В этом случае температура сидеритизации едва ли могла быть значительно ниже той, при которой отлагались сульфиды. Развитие зеленого мусковита в других месторождениях как Урала, так и других местностей (напр., в золотых месторождениях Калифорнии) характерно для месторождений «мезотермальных». На Бакале мы имеем указание на гидротермальные изменения и в других породах. Породы, очень похожие на упомянутые зеленые сланцы, местами пересекают толщу руды и, может быть, представляют собой продукты изменения диабазов. В явных диабазах наблюдается значительное развитие хлорита, обильно развивается светлая слюда, карбонаты, появляется пренит и т. д. «Слюдистое перерождение (тонкоаггратный светлый биотит) предположительно диабазового вещества», о котором упоминает Д. С. Белянкин [1937], исследовавший некоторые образцы бакальских диабазов, также, вероятно, гидротермального происхождения. Во всяком случае, такие изменения невозможно приписывать выветриванию.

В некоторых образцах диабазов среди руды, особенно в Тяжелых рудниках, наблюдается под микроскопом обильное развитие бесцветной слюды, замещающей полевой шпат на ряду с карбонатизацией авгита; вместе с этим присутствует немного хлорита и в виде отдельных вкраплений, иногда сидеритовые кристаллы, превращенные в окислы железа. Такого рода изменения очень характерны именно для гидротермального разложения породы.

К сожалению, изменения в боковых породах Бакальских месторождений почти совсем не изучены, хотя, несомненно, их изучение даст гораздо больше оснований для суждения о физических условиях рудообразования, чем необоснованные догадки о возможных температурах этого процесса.

Утверждение проф. Миропольского, что отложения сульфидов происходят при более высоких температурах, чем отложения сидерита, совершенно произвольно, но оно, очевидно, связано с другим его представлением, именно — о повышении температуры в связи с интрузией диабазов, и следовательно, о возрасте диабазов более молодом, чем возраст железных руд. Вопрос об относительном возрасте диабазов является действительно

кардинальным в решении всей задачи о происхождении Бакальских месторождений. Хотя раньше уже были указаны основания для решения этого вопроса, но в виду его важности следует еще раз на нем остановиться.

О КОНТАКТОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ДИАБАЗОВ НА РУДУ

Проф. Л. М. Миропольский [1932] считает диабазы более молодыми, и влиянию диабазовой интрузии он приписывает превращение бакальских руд — как сидеритов, так и лимонитов — в турьиты. На этом основании он выделяет особый «этап турьитизации».

Как известно, зародыш этой идеи принадлежит Я. В. Самойлову [1900], который весьма осторожно высказал догадку, что образование турьита как гидрата с меньшим относительным содержанием воды могло быть вызвано высокой температурой. «Для Бакальских рудников источником относительно высокой температуры могли служить находящиеся в контакте с рудными залежами массивные породы (диабазы)». Таким образом, как мы видим, догадка о более молодом возрасте диабазов и турьитизации руд под их влиянием была высказана очень давно, но само собой разумеется, что прежде чем делать дальнейшие выводы из этой догадки, ее надо проверить: доказать или опровергнуть.

Л. М. Миропольский в качестве доказательства влияния диабазов приводит то соображение, что будто бы турьиты распространены больше там, где больше жил диабаз; но, как известно [1934], это совпадение чисто случайное. Развитие турьитов связано с поверхностью, и на глубине жилы диабазы «не производят обжига сидерита». Справедливо обращается внимание также на химическую сторону турьитизации, которая прежде всего заключается в окислении сидерита. Но еще более убедительное опровержение возможности турьитизации под влиянием контакта с диабазами дал сам проф. Миропольский. Сделав это предположение и убедившись в результате непосредственных наблюдений, что турьитизации подвергается не только сидерит, но и лимонит, — и при этом в типичных натечных формах в виде сталактитов и корок, — Миропольский должен был заключить, что интрузия диабазы произошла после того, как часть руды была превращена в лимонит. Однако и на Бакале, и в бесчисленных месторождениях всего света установлено, что лимонит из сидерита образуется вблизи земной поверхности под влиянием земной атмосферы. Напомним при этом, что еще Земятченский, а также и другие исследователи Бакала, основываясь на вертикальном расположении сталактитов бурого железняка, установили, что после образования лимонита месторождение не подвергалось тектоническим нарушениям. Следовательно, по Миропольскому, выходит, что диабазы извергались здесь совсем недавно, когда месторождения не только претерпели уже все тектонические нарушения, но и были почти вскрыты эрозией. Таким образом, вывод получился совершенно несообразный с самыми элементарными сведениями о геологии Урала, и заключение, вытекающее из гипотезы Миропольского, представляет прекрасный пример опровержения ее тем путем, какой в логике называется *reductio ad absurdum*.

На то, что турьиты могут образоваться из сидеритов без всякого участия диабазовых интрузий, указывал акад. А. Д. Архангельский [1935]. Известен [1934] ряд примеров нахождения турьитов в месторождениях выветривания и осадочных, где нет никаких диабазов. К этому можно было бы прибавить ряд примеров железных шпал Уральских месторождений (в Таналык-Баймакском районе, в Бляве и др.). Но наиболее интересным фактом в этом отношении является, пожалуй, нахождение лимонита и турьита одновременно в несомненно окисленной корке выветривания на глыбах сидерита, добытых из одного из Бакальских рудников (с северной части Буландихи). Это было показано несколько лет тому назад с помощью кри-вых нагревания и обезвоживания в дипломной работе студ. Горного института Сахарова. Вероятно, и лимонит, и турьит образуются на Бакале

в настоящее время, и, может быть, повышенная температура, о которой писал Самойлов, вовсе не нужна для образования турьита вместо лимонита, а причина этого кроется в чем-то другом. Во всяком случае, развитие турьитизации на Бакале не есть доказательство более молодого возраста диабазов, чем возраст руд.

Но помимо этого, попытки проверки гипотезы более молодого возраста диабазов положительным методом, приводят к опровержению этой гипотезы. На первом месте в ряду фактов, опровергающих ее, стоит, конечно, сравнение явлений, наблюдающихся в контактах руды и диабазов на Бакале, с теми которые наблюдаются в других местах, где более молодой возраст диабазов не оспаривается. Об этом уже было сказано выше, но в виду важности таких наблюдений необходимо напомнить эти известные факты.

а) Некоторые геологические факты

Пересечение сидеритовых жил диабазами и базальтами наблюдалось в известных месторождениях Зигерланда, и явления контакта диабазов с шпатоватым железняком были там подробно изучены. Превращение сидерита в контакте с базальтом в магнетит было открыто в Зигерландских месторождениях в руднике Альте-Бирке уже 135 лет тому назад Ульманом [1803], описывалось Шмидтом [Schmidt, 1848] и наблюдалось позднее в других местах другими авторами. Эти явления настолько существенны, что не лишне будет вспомнить некоторые подробности на двух позднее изученных примерах.

В руднике Луиза [Busz, 1901] сидеритовая жила пересечена базальтовой дайкой мощностью около метра. Базальт очень основной, близкий к лимбургиту. Сидерит жилы, пересекаемой этой дайкой, образует довольно грубозернистый агрегат светлого буровато-серого цвета. Измененная около базальта зона относительно узкая, около 15—20 см. Изменения начинаются с того, что окраска руды становится темнее; в этой черновато-серой зоне, толщиной около 10 см, еще сохраняется спайность и блеск спайных плоскостей сидерита. Затем окраска становится черной при сохранении спайности; здесь наблюдаются тонкие кварцевые жилки. Непосредственно прилегающая к базальту зона, всего 2—3 см мощностью, представляет собой матовую черную массу магнетита без следов спайности сидерита. Под микроскопом видно, что сначала сидерит мутнеет от пылинок развивающегося в нем магнетита, местами, особенно по спайности сидерита, скучивающихся. Ближе к контакту количество магнетитовой пыли увеличивается, зернышки магнетита вдоль трещин спайности сидерита сливаются в сплошные линии, наконец, вся масса превращается в сплошной агрегат магнетита.

В руднике Гласкофф [Lotz, 1907] сидеритовая жила пересечена дайкой диабаза мощностью около 4—5 м. В контакте с ней (к северу) магнетит развивается в сидерите на расстоянии, начиная от 7—8 м от дайки. Руда здесь становится темной, почти черной, и вязкой, сохраняя кристаллическую структуру железного шпата. При этом руда становится сильно магнитной, и содержание железа увеличивается: вместо 46—48% в сидерите до 54% в измененной руде, в которой кроме магнетита еще сохранились остатки карбоната. По другую сторону диабазовой дайки, а также в других местах наблюдалось окварцевание сидерита.

Приведенные наблюдения ясно указывают на гораздо более высокие температуры, чем те, при которых может происходить образование турьита. Мы знаем и непосредственно из опыта, что при температуре даже ниже 350° турьит теряет воду. Эта температура, может быть, несколько повышается на глубине при более высоком давлении, но, конечно, она гораздо ниже той температуры, близкой приблизительно к 1000°, при которой начинается кристаллизация базальтовой (диабазовой) магмы. Под влиянием интрузии диабазовых жил турьит превратился бы в магнетит или в железный блеск.

Указанные факты разложения сидерита и превращения его в магнетит в контактах с диабазовыми и базальтовыми дайками, как мы уже видели, упускаются из виду. Указывая на несостоятельность предположения «об этапе турьитизации», придуманном Миропольским и Мокшановым, один из авторов, будучи сторонником осадочной гипотезы, сам указывает, что «на глубине жилы диабаз не обжигают сидерита», и тем не менее, он должен считать диабазы более молодыми, исходя из своих представлений об осадочном происхождении руд. Он выходит из противоречия, как мы уже упоминали, при помощи замечания, что «контактовое воздействие диабазов на карбонатные породы было в большинстве случаев очень слабым». Такого рода замечание, при наличии упомянутых фактов превращения сидерита в таких контактах в магнетит, непременно требует объяснения, почему в данном случае на Бакале такие совершенно естественные и понятные явления отсутствуют. Ответа на это мы не находим, и если мы обратимся к тому, что знаем о свойствах диабазовой магмы вообще, с одной стороны, и о свойствах сидерита — с другой, то увидим, что замечание о слабом действии диабаза на сидерит не только произвольно, но и неправильно.

б) Некоторые физико-химические соображения

Мы знаем, что диабазовая (базальтовая) магма имеет наиболее высокую температуру кристаллизации за исключением таких мономинеральных редких пород, как дуниты, анортозиты и т. д. Точных цифр мы с уверенностью указать не можем, но, во всяком случае, температура диабазовой магмы во время интрузии была приблизительно около 1000° , и до такой примерно температуры при непосредственном контакте с дайкой нагревались и стенки трещины, в которую проникала диабазовая магма.

С другой стороны, температура разложения сидерита при давлении углекислоты в 1 атм. равна приблизительно $450\text{--}500^{\circ}$, меняясь в зависимости от состава карбоната [Friedrich, 1912]. В атмосфере азота она падает даже до $150\text{--}200^{\circ}$. Очень интересны наблюдения Шнейдерхена [Schneiderhöhn, 1923], который считает, что превращение сидерита в гематит происходит при температуре не выше $350\text{--}400^{\circ}$. Он основывается на том, что при таких именно температурах в нагреваемом сидерите наблюдаются первые изменения. По этому поводу Боуен [Bowen, 1928] замечает, что при наличии термальных растворов превращение сидерита в гематит может происходить при гораздо более низких температурах.

Д. С. Коржинский [1935], исходя из теоремы Нернста, вычислил кривые взаимозависимости температуры и давления реакции превращения сидерита в магнетит. Для давления около 3000 атм., т. е. значительно превосходящего те, при которых можно предполагать образование диабазов, температура по кривой около 500° . Она на несколько сот градусов ниже температуры застывания диабаза. Выше 500° сидерит существовать не может и превращается в магнетит, как это действительно и показывают наблюдения.

Таким образом, тот факт, что в Бакальских месторождениях сидерит не превращается в магнетит в контакте с диабазовыми жилами, должен быть принят как доказательство того, что интрузия диабазов не могла быть после образования руды, а произошла раньше него.

Как мы видели, указывается очень интересный факт появления брусита в контакте диабаза. Брусит, как известно, обычно образуется как гидротермальный минерал. Его присутствие, указывает, с одной стороны, на действие в прошлом термальных вод, с другой — оно может быть указанием на состав пород бывших здесь в то время, — именно в этих породах, быть может, был источник магния брусита. Если это так, то бруситовые породы могут быть указанием на нахождение в то время на месте руды доломита, послужившего источником магния. Разумеется, это предположение не исключает возможности другого объяснения источника магния,

но, во всяком случае, не вероятно предположение, что брусит является продуктом метаморфизма сидерита,

ДИАБАЗЫ И ТЕКТОНИКА

Относительный возраст рудообразования и интрузии диабазов устанавливается достаточно определенно на основании явлений, наблюдаемых в контактах. Несколько труднее решить вопрос об отношении интрузии диабазовой магмы к тектоническим явлениям, взятым во всей их совокупности.

Со времен разведок Эрна и исследований Л. А. Краснопольского [1901], Л. Коношевского и П. Ковалева [1903] известно, что некоторые диабазовые дайки следуют трещинам, по которым произошли сбросы. Указываются также некоторые нарушения самих диабазовых жил. Почти все сбросы на Бакале устанавливаются на основании геологической карты, поэтому в большинстве случаев остается неизвестным падение сбрасывающей трещины. Там, где можно непосредственно наблюдать, трещины сбросов вертикальны и явно моложе складчатости. Весьма вероятно поэтому, что интрузия диабазов произошла по трещинам разломов, частью по трещинам сбросов, возникших после складчатости. Заметим, что интрузия в уже сложенную в складки толщу доломитов наблюдается в классическом обнажении в сел. Саткинского завода у моста через р. Сатку, где диабазы повторяют все изгибы складок доломитов, что едва ли могло было бы быть, если бы интрузия диабазов подвергалась смятию вместе с доломитами, столь отличающимися от диабазов по механическим свойствам; кроме того, в структуре диабазов этого обнажения отсутствуют следы динамических воздействий.

С достоверностью мы не можем указать значительных сбросовых перемещений, происходивших после оруденения, хотя, возможно, мелкие перемещения имели место, как это показывают встречающиеся иногда зеркала скольжения на сидеритах. Связывая интрузию диабазов с разломами и сбросами, происходившими главным образом после складчатости, тем более приходится считать, что и образование руд моложе, чем складчатость.

Признание оруденения более молодым, чем складчатость, влечет за собой следствие, имеющее и практическое значение. В этом случае формы складчатости могли контролировать распределение оруденения, и, как мы знаем по другим месторождениям, особенно благоприятными местами для отложения руд из восходящих растворов являются антиклинали. На Бакале, действительно, месторождения известны именно в антиклиналях. Правда, промежутки между ними, в синклиналях, не разведывались, но, если указанное предположение справедливо, то шансы встретить здесь руду невелики.

Нами рассмотрены процессы образования первичных руд, представленных сидеритом. Дальнейшие явления их окисления и гидратизации по существу не вызывают особых разногласий за исключением уже рассмотренного выше и, как мы видели, совершенно невероятного предположения Самойлова, Миропольского и Мокшанова об образовании турьитов под влиянием диабазовой интрузии. Я еще раз хотел бы только подчеркнуть, что совершенно такие же окисленные и вторичные руды возникают и в других аналогичных Бакалу месторождениях, например, в месторождениях Бильбао и североафриканских. Останавливаться дальше на этих процессах мы не будем.

О ВЕЩЕСТВЕННОМ СОСТАВЕ БАКАЛЬСКИХ РУД

а) Сходство состава бакальских руд с осадочными сидеритами

Вещественный состав руд Бакала был предметом рассмотрения в статьях акад. А. Д. Архангельского и Е. В. Копченовой, с одной стороны, и проф. Д. С. Белянкина и В. В. Лапина — с другой.

В работе А. Д. Архангельского и Е. В. Копченовой [1935] сообщаются очень интересные результаты химического исследования железных руд ряда месторождений осадочного происхождения и на основании этих исследований делаются важные выводы относительно особенностей химического состава осадочных железных руд, образовавшихся в разных условиях. Совершенно определенно различаются два типа руд:

1) руды, образовавшиеся в кислородной среде и представленные окислами и силикатами, и

2) руды, образовавшиеся в бескислородной среде и первоначально представленные сидеритами. Между теми и другими существует разница в химическом составе, указанная в табл. 1.

Таблица 1

Различия в химическом составе руд, образовавшихся в кислородной и бескислородной средах

	Руды кислородной среды	Руды бескислородной среды
Mn	Содержится в большом количестве, иногда даже преобладает над железом.	Примерно в том же количестве, как в кислородной среде, но неизвестны накопления с преобладанием марганца над железом.
P	Значительное количество, доходящее до 2—3%.	Относительно бедны фосфором вплоть до следов. Редко содержание повышается до 0.5—1%.
V, As	Присутствуют почти везде в тысячных и сотых долях процента.	Как правило, отсутствуют или встречаются в виде следов
Cr	Присутствует в большинстве руд в тысячных и сотых долях процента.	Нередко также отсутствует
Ni, Co, Cu	Встречаются реже, чем предыдущие примеси, будучи связанными с нахождением в районах основных пород.	Никель и кобальт в большинстве отсутствуют, медь в малых количествах часто встречается.

На ряду с заведомо осадочными рудами в той же статье рассмотрен и состав руд Бакальских и Зигазино-Комаровских месторождений, отнесенных в группу руд, условия образования которых еще не вполне выяснены. Особенности химического состава этих руд близки к особенностям состава первично сидеритовых осадочных руд, образующихся в бескислородной зоне. Так как на основании изложенных выше геологических фактов мы вынуждены признать, что бакальские руды не могли быть отложены в виде осадка на дне водного бассейна и вообще не существовали до интрузии диабазов, то, естественно, возникает вопрос о сходстве состава руд других подобных Бакальским месторождений, которым не приписывают осадочного происхождения, с теми же осадочными рудами бескислородной зоны и, наконец, вообще о сходстве с ними разных типов руд, кроме осадочных. К сожалению, такие подробные анализы железных руд, как это дано

в настоящее время, и, может быть, повышенная температура, о которой писал Самойлов, вовсе не нужна для образования турьита вместо лимонита, а причина этого кроется в чем-то другом. Во всяком случае, развитие турьитизации на Бакале не есть доказательство более молодого возраста диабазов, чем возраст руд.

Но помимо этого, попытки проверки гипотезы более молодого возраста диабазов положительным методом, приводят к опровержению этой гипотезы. На первом месте в ряду фактов, опровергающих ее, стоит, конечно, сравнение явлений, наблюдающихся в контактах руды и диабазов на Бакале, с теми которые наблюдаются в других местах, где более молодой возраст диабазов не оспаривается. Об этом уже было сказано выше, но в виду важности таких наблюдений необходимо напомнить эти известные факты.

а) Некоторые геологические факты

Пересечение сидеритовых жил диабазами и базальтами наблюдалось в известных месторождениях Зигерланда, и явления контакта диабазов с шпатоватым железняком были там подробно изучены. Превращение сидерита в контакте с базальтом в магнетит было открыто в Зигерландских месторождениях в руднике Альте-Бирке уже 135 лет тому назад Ульманом [1803], описывалось Шмидтом [Schmidt, 1848] и наблюдалось позднее в других местах другими авторами. Эти явления настолько существенны, что не лишне будет вспомнить некоторые подробности на двух позднее изученных примерах.

В руднике Луиза [Busz, 1901] сидеритовая жила пересечена базальтовой дайкой мощностью около метра. Базальт очень основной, близкий к лимбургиту. Сидерит жилы, пересекаемой этой дайкой, образует довольно грубозернистый агрегат светлого буровато-серого цвета. Измененная около базальта зона относительно узкая, около 15—20 см. Изменения начинаются с того, что окраска руды становится темнее; в этой черновато-серой зоне, толщиной около 10 см, еще сохраняется спайность и блеск спайных плоскостей сидерита. Затем окраска становится черной при сохранении спайности; здесь наблюдаются тонкие кварцевые жилки. Непосредственно прилегающая к базальту зона, всего 2—3 см мощностью, представляет собой матовую черную массу магнетита без следов спайности сидерита. Под микроскопом видно, что сначала сидерит мутнеет от пылинок развивающегося в нем магнетита, местами, особенно по спайности сидерита, скучивающихся. Ближе к контакту количество магнетитовой пыли увеличивается, зернышки магнетита вдоль трещин спайности сидерита сливаются в сплошные линии, наконец, вся масса превращается в сплошной агрегат магнетита.

В руднике Гласкопф [Lotz, 1907] сидеритовая жила пересечена дайкой диабаза мощностью около 4—5 м. В контакте с ней (к северу) магнетит развивается в сидерите на расстоянии, начиная от 7—8 м от дайки. Руда здесь становится темной, почти черной, и вязкой, сохраняя кристаллическую структуру железного шпата. При этом руда становится сильно магнитной, и содержание железа увеличивается: вместо 46—48% в сидерите до 54% в измененной руде, в которой кроме магнетита еще сохранились остатки карбоната. По другую сторону диабазовой дайки, а также в других местах наблюдалось окварцевание сидерита.

Приведенные наблюдения ясно указывают на гораздо более высокие температуры, чем те, при которых может происходить образование турьита. Мы знаем и непосредственно из опыта, что при температуре даже ниже 350° турьит теряет воду. Эта температура, может быть, несколько повышается на глубине при более высоком давлении, но, конечно, она гораздо ниже той температуры, близкой приблизительно к 1000°, при которой начинается кристаллизация базальтовой (диабазовой) магмы. Под влиянием интрузии диабазовых жил турьит превратился бы в магнетит или в железный блеск.

Указанные факты разложения сидерита и превращения его в магнетит в контактах с диабазовыми и базальтовыми дайками, как мы уже видели, упускаются из виду. Указывая на несостоятельность предположения «об этапе турьитизации», придуманном Мировольским и Мокшановым, один из авторов, будучи сторонником осадочной гипотезы, сам указывает, что «на глубине жилы диабаз не обжигают сидерита», и тем не менее, он должен считать диабазы более молодыми, исходя из своих представлений об осадочном происхождении руд. Он выходит из противоречия, как мы уже упоминали, при помощи замечания, что «контактовое воздействие диабазов на карбонатные породы было в большинстве случаев очень слабым». Такого рода замечание, при наличии упомянутых фактов превращения сидерита в таких контактах в магнетит, непременно требует объяснения, почему в данном случае на Бакале такие совершенно естественные и понятные явления отсутствуют. Ответа на это мы не находим, и если мы обратимся к тому, что знаем о свойствах диабазовой магмы вообще, с одной стороны, и о свойствах сидерита — с другой, то увидим, что замечание о слабом действии диабазы на сидерит не только произвольно, но и неправильно.

б) Некоторые физико-химические соображения

Мы знаем, что диабазовая (базальтовая) магма имеет наиболее высокую температуру кристаллизации за исключением таких мономинеральных редких пород, как дуниты, анортозиты и т. д. Точных цифр мы с уверенностью указать не можем, но, во всяком случае, температура диабазовой магмы во время интрузии была приблизительно около 1000° , и до такой примерно температуры при непосредственном контакте с дайкой нагревались и стенки трещины, в которую проникала диабазовая магма.

С другой стороны, температура разложения сидерита при давлении углекислоты в 1 атм. равна приблизительно $450-500^{\circ}$, меняясь в зависимости от состава карбоната [Friedrich, 1912]. В атмосфере азота она падает даже до $150-200^{\circ}$. Очень интересны наблюдения Швейдехена [Schneiderhöhn, 1923], который считает, что превращение сидерита в гематит происходит при температуре не выше $350-400^{\circ}$. Он основывается на том, что при таких именно температурах в нагреваемом сидерите наблюдаются первые изменения. По этому поводу Боуэн [Bowen, 1928] замечает, что при наличии термальных растворов превращение сидерита в гематит может происходить при гораздо более низких температурах.

Д. С. Коржинский [1935], исходя из теоремы Нернста, вычислил кривые взаимозависимости температуры и давления реакции превращения сидерита в магнетит. Для давления около 3000 атм., т. е. значительно превосходящего те, при которых можно предполагать образование диабазов, температура по кривой около 500° . Она на несколько сот градусов ниже температуры застывания диабазы. Выше 500° сидерит существовать не может и превращается в магнетит, как это действительно и показывают наблюдения.

Таким образом, тот факт, что в Бакальских месторождениях сидерит не превращается в магнетит в контакте с диабазовыми жилами, должен быть принят как доказательство того, что интрузия диабазов не могла быть после образования руды, а произошла раньше него.

Как мы видели, указывается очень интересный факт появления брусита в контакте диабазы. Брусит, как известно, обычно образуется как гидротермальный минерал. Его присутствие, указывает, с одной стороны на действие в прошлом термальных вод, с другой — оно может быть указанием на состав пород бывших здесь в то время, — именно в этих породах, быть может, был источник магния брусита. Если это так, то бруситовые породы могут быть указанием на нахождение в то время на месте руд доломита, послужившего источником магния. Разумеется, это предположение не исключает возможности другого объяснения источника магния

в настоящее время, и, может быть, повышенная температура, о которой писал Самойлов, вовсе не нужна для образования турьита вместо лимонита, а причина этого кроется в чем-то другом. Во всяком случае, развитие турьитизации на Бакале не есть доказательство более молодого возраста диабазов, чем возраст руд.

Но помимо этого, попытки проверки гипотезы более молодого возраста диабазов положительным методом, приводят к опровержению этой гипотезы. На первом месте в ряду фактов, опровергающих ее, стоит, конечно, сравнение явлений, наблюдающихся в контактах руды и диабазов на Бакале, с теми которые наблюдаются в других местах, где более молодой возраст диабазов не оспаривается. Об этом уже было сказано выше, но в виду важности таких наблюдений необходимо напомнить эти известные факты.

а) Некоторые геологические факты

Пересечение сидеритовых жил диабазами и базальтами наблюдалось в известных месторождениях Зигерланда, и явления контакта диабазов с шпатоватым железняком были там подробно изучены. Превращение сидерита в контакте с базальтом в магнетит было открыто в Зигерландских месторождениях в руднике Альте-Бирке уже 135 лет тому назад Ульманом [1803], описывалось Шмидтом [Schmidt, 1848] и наблюдалось позднее в других местах другими авторами. Эти явления настолько существенны, что не лишне будет вспомнить некоторые подробности на двух позднее изученных примерах.

В руднике Луиза [Busz, 1901] сидеритовая жила пересечена базальтовой дайкой мощностью около метра. Базальт очень основной, близкий к лимбургиту. Сидерит жилы, пересекаемой этой дайкой, образует довольно грубозернистый агрегат светлого буровато-серого цвета. Измененная около базальта зона относительно узкая, около 15—20 см. Изменения начинаются с того, что окраска руды становится темнее; в этой черновато-серой зоне, толщиной около 10 см, еще сохраняется спайность и блеск спайных плоскостей сидерита. Затем окраска становится черной при сохранении спайности; здесь наблюдаются тонкие кварцевые жилки. Непосредственно прилегающая к базальту зона, всего 2—3 см мощностью, представляет собой матовую черную массу магнетита без следов спайности сидерита. Под микроскопом видно, что сначала сидерит мутнеет от пылинок развивающегося в нем магнетита, местами, особенно по спайности сидерита, скучивающихся. Ближе к контакту количество магнетитовой пыли увеличивается, зернышки магнетита вдоль трещин спайности сидерита сливаются в сплошные линии, наконец, вся масса превращается в сплошной агрегат магнетита.

В руднике Гласкопф [Lotz, 1907] сидеритовая жила пересечена дайкой диабаза мощностью около 4—5 м. В контакте с ней (к северу) магнетит развивается в сидерите на расстоянии, начиная от 7—8 м от дайки. Руда здесь становится темной, почти черной, и вязкой, сохраняя кристаллическую структуру железного шпата. При этом руда становится сильно магнитной, и содержание железа увеличивается: вместо 46—48% в сидерите до 54% в измененной руде, в которой кроме магнетита еще сохранились остатки карбоната. По другую сторону диабазовой дайки, а также в других местах наблюдалось окварцевание сидерита.

Приведенные наблюдения ясно указывают на гораздо более высокие температуры, чем те, при которых может происходить образование турьита. Мы знаем и непосредственно из опыта, что при температуре даже ниже 350° турьит теряет воду. Эта температура, может быть, несколько повышается на глубине при более высоком давлении, но, конечно, она гораздо ниже той температуры, близкой приблизительно к 1000°, при которой начинается кристаллизация базальтовой (диабазовой) магмы. Под влиянием интрузии диабазовых жил турьит превратился бы в магнетит или в железный блеск.

Указанные факты разложения сидерита и превращения его в магнетит в контактах с диабазовыми и базальтовыми дайками, как мы уже видели, упускаются из виду. Указывая на несостоятельность предположения «об этапе турьитизации», придуманном Миропольским и Мокшановым, один из авторов, будучи сторонником осадочной гипотезы, сам указывает, что «на глубине жилы диабаз не обжигают сидерита», и тем не менее, он должен считать диабазы более молодыми, исходя из своих представлений об осадочном происхождении руд. Он выходит из противоречия, как мы уже упоминали, при помощи замечания, что «контактовое воздействие диабазов на карбонатные породы было в большинстве случаев очень слабым». Такого рода замечание, при наличии упомянутых фактов превращения сидерита в таких контактах в магнетит, непременно требует объяснения, почему в данном случае на Бакале такие совершенно естественные и понятные явления отсутствуют. Ответа на это мы не находим, и если мы обратимся к тому, что знаем о свойствах диабазовой магмы вообще, с одной стороны, и о свойствах сидерита — с другой, то увидим, что замечание о слабом действии диабаза на сидерит не только произвольно, но и неправильно.

б) Некоторые физико-химические соображения

Мы знаем, что диабазовая (базальтовая) магма имеет наиболее высокую температуру кристаллизации за исключением таких мономинеральных редких пород, как дуниты, анортозиты и т. д. Точных цифр мы с уверенностью указать не можем, но, во всяком случае, температура диабазовой магмы во время интрузии была приблизительно около 1000° , и до такой примерно температуры при непосредственном контакте с дайкой нагревались и стенки трещины, в которую проникала диабазовая магма.

С другой стороны, температура разложения сидерита при давлении углекислоты в 1 атм. равна приблизительно $450-500^{\circ}$, меняясь в зависимости от состава карбоната [Friedrich, 1912]. В атмосфере азота она падает даже до $150-200^{\circ}$. Очень интересны наблюдения Шнейдерхена [Schneiderhöhn, 1923], который считает, что превращение сидерита в гематит происходит при температуре не выше $350-400^{\circ}$. Он основывается на том, что при таких именно температурах в нагреваемом сидерите наблюдаются первые изменения. По этому поводу Боуэн [Bowen, 1928] замечает, что при наличии термальных растворов превращение сидерита в гематит может происходить при гораздо более низких температурах.

Д. С. Коржинский [1935], исходя из теоремы Нернста, вычислил кривые взаимозависимости температуры и давления реакции превращения сидерита в магнетит. Для давления около 3000 атм., т. е. значительно превосходящего те, при которых можно предполагать образование диабазов, температура по кривой около 500° . Она на несколько сот градусов ниже температуры застывания диабаза. Выше 500° сидерит существовать не может и превращается в магнетит, как это действительно и показывают наблюдения.

Таким образом, тот факт, что в Бакальских месторождениях сидерит не превращается в магнетит в контакте с диабазовыми жилами, должен быть принят как доказательство того, что интрузия диабазов не могла быть после образования руды, а произошла раньше него.

Как мы видели, указывается очень интересный факт появления брусита в контакте диабаза. Брусит, как известно, обычно образуется как гидротермальный минерал. Его присутствие, указывает, с одной стороны, на действие в прошлом термальных вод, с другой — оно может быть указанием на состав пород бывших здесь в то время, — именно в этих породах, быть может, был источник магния брусита. Если это так, то бруситовые породы могут быть указанием на нахождение в то время на месте руды доломита, послужившего источником магния. Разумеется, это предположение не исключает возможности другого объяснения источника магния,

но, во всяком случае, не вероятно предположение, что брусит является продуктом метаморфизма сидерита,

ДИАБАЗЫ И ТЕКТОНИКА

Относительный возраст рудообразования и интрузии диабазов устанавливается достаточно определенно на основании явлений, наблюдаемых в контактах. Несколько труднее решить вопрос об отношении интрузии диабазовой магмы к тектоническим явлениям, взятым во всей их совокупности.

Со времен разведок Эрн и исследований Л. А. Краснопольского [1901], Л. Конюшевского и П. Ковалева [1903] известно, что некоторые диабазовые дайки следуют трещинам, по которым произошли сбросы. Указываются также некоторые нарушения самих диабазовых жил. Почти все сбросы на Бакале устанавливаются на основании геологической карты, поэтому в большинстве случаев остается неизвестным падение сбрасывающей трещины. Там, где можно непосредственно наблюдать, трещины сбросов вертикальны и явно моложе складчатости. Весьма вероятно поэтому, что интрузия диабазов произошла по трещинам разломов, частью по трещинам сбросов, возникших после складчатости. Заметим, что интрузия в уже сложенную в складки толщу доломитов наблюдается в классическом обнажении в сел. Саткинского завода у моста через р. Сатку, где диабазы повторяют все изгибы складок доломитов, что едва ли могло было бы быть, если бы интрузия диабазов подвергалась смятию вместе с доломитами, столь отличающимися от диабазов по механическим свойствам; кроме того, в структуре диабазов этого обнажения отсутствуют следы динамических воздействий.

С достоверностью мы не можем указать значительных сбросовых перемещений, происшедших после оруденения, хотя, возможно, мелкие перемещения имели место, как это показывают встречающиеся иногда зеркала скольжения на сидеритах. Связывая интрузию диабазов с разломами и сбросами, происшедшими главным образом после складчатости, тем более приходится считать, что и образование руд моложе, чем складчатость.

Признание оруденения более молодым, чем складчатость, влечет за собой следствие, имеющее и практическое значение. В этом случае формы складчатости могли контролировать распределение оруденения, и, как мы знаем по другим месторождениям, особенно благоприятными местами для отложения руд из восходящих растворов являются антиклинали. На Бакале, действительно, месторождения известны именно в антиклиналях. Правда, промежутки между ними, в синклиналях, не разведывались, но, если указанное предположение справедливо, то шансы встретить здесь руду невелики.

Нами рассмотрены процессы образования первичных руд, представленных сидеритом. Дальнейшие явления их окисления и гидратизации по существу не вызывают особых разногласий за исключением уже рассмотренного выше и, как мы видели, совершенно невероятного предположения Самойлова, Миропольского и Мокшанова об образовании турьитов под влиянием диабазовой интрузии. Я еще раз хотел бы только подчеркнуть, что совершенно такие же окисленные и вторичные руды возникают и в других аналогичных Бакалу месторождениях, например, в месторождениях Бильбао и североафриканских. Останавливаться дальше на этих процессах мы не будем.

О ВЕЩЕСТВЕННОМ СОСТАВЕ БАКАЛЬСКИХ РУД

а) Сходство состава бакальских руд с осадочными сидеритами

Вещественный состав руд Бакала был предметом рассмотрения в статьях акад. А. Д. Архангельского и Е. В. Копченовой, с одной стороны, и проф. Д. С. Белянкина и В. В. Лапина — с другой.

В работе А. Д. Архангельского и Е. В. Копченовой [1935] сообщаются очень интересные результаты химического исследования железных руд ряда месторождений осадочного происхождения и на основании этих исследований делаются важные выводы относительно особенностей химического состава осадочных железных руд, образовавшихся в разных условиях. Совершенно определенно различаются два типа руд:

1) руды, образовавшиеся в кислородной среде и представленные окислами и силикатами, и

2) руды, образовавшиеся в бескислородной среде и первоначально представленные сидеритами. Между теми и другими существует разница в химическом составе, указанная в табл. 1.

Таблица 1

Различия в химическом составе руд, образовавшихся в кислородной и бескислородной средах

	Руды кислородной среды	Руды бескислородной среды
Mn	Содержится в большом количестве, иногда даже преобладает над железом.	Примерно в том же количестве, как в кислородной среде, но неизвестны накопления с преобладанием марганца над железом.
P	Значительное количество, доходящее до 2—3%.	Относительно бедны фосфором вплоть до следов. Редко содержание повышается до 0,5—1%.
V, As	Присутствуют почти всегда в тысячных и сотых долях процента.	Как правило, отсутствуют или встречаются в виде следов
Cr	Присутствует в большинстве руд в тысячных и сотых долях процента.	Нередко также отсутствует
Ni, Co, Cu	Встречаются реже, чем предыдущие примеси, будучи связанными с нахождением в районах основных пород.	Никель и кобальт в большинстве отсутствуют, медь в малых количествах часто встречается.

На ряду с заведомо осадочными рудами в той же статье рассмотрен и состав руд Бакальских и Зигазино-Комаровских месторождений, отнесенных в группу руд, условия образования которых еще не вполне выяснены. Особенности химического состава этих руд близки к особенностям состава первично сидеритовых осадочных руд, образующихся в бескислородной зоне. Так как на основании изложенных выше геологических фактов мы вынуждены признать, что бакальские руды не могли быть отложены в виде осадка на дне водного бассейна и вообще не существовали до интрузии диабазов, то, естественно, возникает вопрос о сходстве состава руд других подобных Бакальским месторождений, которым не приписывают осадочного происхождения, с теми же осадочными рудами бескислородной зоны и, наконец, вообще о сходстве с ними разных типов руд, кроме осадочных. К сожалению, такие подробные анализы железных руд, как это дано

в работе акад. А. Д. Архангельского и Е. В. Копченовой, обыкновенно не делаются, и мы не можем провести полного их сравнения. Так, например, данные о содержании титана часто отсутствуют. Впрочем, и по отношению к Бакалу здесь имеется неясность. В работе А. Д. Архангельского и Е. В. Копченовой содержание титана в среднем составляет 19.8 десяти тысячных от содержания железа, тогда как у Д. С. Белянкина и В. В. Лапина подчеркивается полное отсутствие титана в рудах, причем в обеих статьях указываются одни и те же части месторождения. Наиболее надежны, конечно, цифры содержания марганца и фосфора, и, как видно из табл. 1, они вместе с тем наиболее характерны. Для сравнения в табл. 2 приведены данные по Бакалу из работ акад. Архангельского и Копченовой, а также Белянкина и Лапина, а в табл. 3—некоторые цифры, относящиеся и к другим месторождениям. Чтобы видеть пределы колебаний для Бакала, даны не только средние цифры, но и отдельные анализы.

Таблица 2

Характеристика бакальских руд (цифры в десяти тысячных)

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P/Fe	2	0	2.8	0	0	9	0	0	4.1	1.9	3.0	0
Mn/Fe	1085	508	0	863	247	201	0	34.7	1621	154	424	251
№	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
P/Fe	0	2.8	0.8	0.6	0	0.6	0.5	1.4	1	1.1	не опред	
Mn/Fe	195	193	220	0	100	56	130	310	380	290	320	235

Примечание. Анализы 1—5—бурый железняк, 6—10—турьит и 11 и 12—сидерит по Архангельскому и Копченовой, 13—19—окисленные руды и 20—24—сидериты, по Белянкину и Лапину.

Таблица 3

Характеристика железных руд различных месторождений (цифры в десяти тысячных)

	P : Fe	Mn : Fe
Среднее по Бакалу, согласно Архангельскому и Копченовой	2.4	549
Среднее по Бакалу, согласно Белянкину и Лапину	0.9	203
Бильбао, по Крушу, разн. сорта:		
Карбонато	4.1	226
Кампаниль	1.9	235
Вева	2.7	150
Рубио	4.7	96
Бильбао по Ван дер Веену:		
Карбонато	4.5—4.7	175—185
Кампаниль	1.9	196
Вена	0.6	114
Рубио	4.8	79
Среднее по Бильбао из Путеводителя экска. XIV Конгресса:	11.2	170
(указывается присутствие As)		
Эрцберг (Штирия)	5.2	553
Зигерландские жилы	8.0	1900

Некоторые заведомо осадочные сидериты:

Майкопские сидериты ¹	173.7	1239.9
Юрские сидериты Кавказа ¹	25.8	190.1
Приокские сидериты ¹	65.0	612.8
Алапаевские руды ¹	24.7	44.6
Меловые сидериты: Мюнстерского бассейна	185	50
Осадочные сидериты Скании (Швеция)	26	87
Вестфальские сидериты	65—73	200—250
Английские руды типа Blackband	150—300	250—300

¹ По Архангельскому и Копченовой.

Юрские сидеритовые руды Англии разных сортов:			
A		185	75
B		118	145
C		100	91
D		96	110
E		137	420
Руды другого происхождения (отдельные примеры)			
Оспенные руды г. Благодати		5.9	460
Кируна, разные типы:			
A		2.9	52
C ₁		38	13
D		330	—
F		470	15
Геливаре A		2.9	18
	C ₁	33	15
	D	226	15
Гронгсберг магнетит		205	24
» гематит		232	11
Зидварангер		25	53
Верхнее озеро:			
Месаби		10	140
Вермильон		7.8	17.2
Гобейн		10	130
Маркетт		33	121
Миномини		13.4	36.5

Приведенные цифры действительно показывают, что, как и следовало ожидать, наиболее близкими по относительному содержанию фосфора и марганца к Бакальским рудам являются руды Билбао и Эрцберга; они даже ближе, чем сидериты разных осадочных месторождений, именно они исключительно бедны фосфором и в этом отношении приближаются к шпатоватым железнякам Зигерландских жил, которые, однако, более марганцовисты. Эта бедность сидеритовых месторождений фосфором, впрочем, давно уже была отмечена в литературе, например, в известной работе Вейшлага, Круша и Фогта. Вместе с тем приведенные выше цифры показывают, насколько подвержено колебаниям содержание фосфора и марганца, характеризующее типы руд. Сопоставляя все это, нельзя не прийти к заключению, что вопрос о генезисе железных руд не может быть решен на основании одного химического состава. Решающими должны здесь быть факты геологические. При сравнении состава руд сидеритовых, осадочных и гипогеновых, даже таких, как жильные сидериты Зигерланда, возникает, естественно, другой вопрос, не является ли обобщение, сделанное в статье А. Д. Архангельского и Е. В. Копченовой о значении для состава руд бескислородного характера среды, из которой выпадал сидерит, еще более широким, охватывая руды, как супергенного, так и гипогенного происхождения. В этом отношении представляют интерес отмеченные уже нами указания на бескислородный состав рудоносных растворов Бакала до конца сульфидной минерализации.

О МИНЕРАЛОГИИ БАКАЛЬСКИХ РУД ПО ПРОФ. БЕЛЯНКИНУ И ЛАПИНУ

В работе Д. С. Белянкина и В. В. Лапина [1937] приведены интересные данные о минералогическом составе руд Бакала. Исследование богатых сидеритовых руд показало, что примеси углекислой магнезии и извести содержатся в сидерите, образуя с ним смешанные кристаллы.

Это наблюдение, впрочем, не является новым. Л. М. Миропольский [1933] первый установил, что сидериты Бакала содержат значительное количество карбоната магния в виде твердого раствора, как это показывают оптические свойства карбоната. Количество $MgCO_3$, в среднем около 20%, а потому Л. М. Миропольский считает, что правильнее было бы называть минерал этот сидероплезитом. Он предполагает, что сидероплезит является здесь продуктом замещения доломита и доломитизированного известняка.

Более богатые магнезией пистомезиты, встречающиеся на Бакале, представляют собой, по мнению Миропольского, продукты замещения «магнезитизированных доломитов» и магнезитов. По указанию Белянкина и Лапина, в бедных сидеритах появляется примесь железистого доломита в виде особой фазы. В окисленных рудах количество магнезии убывает, очевидно, удаляясь нисходящими растворами, а известь выпадает в виде кальцита. Кроме руд, был анализирован один образец известняка, в котором было обнаружено более значительное, чем в рудах, количество силикатовой примеси и небольшое содержание титана (0.182).

Эти немногие факты приводят Белянкина и Лапина к заключению о возможности на Бакале как первичноосадочного, так и метасоматического образования. Это положение, высказанное в очень осторожной форме, далеко не так осторожно по существу. В отношении так подробно изученного химически и минералогически материала, описанного Д. С. Белянкиным и В. В. Лапиным, далеко не ясно, например, какое геологическое положение занимает анализированный известняк по отношению к руде. Нельзя упускать из вида, что при метасоматозе в Бакальских месторождениях происходит настолько существенное изменение состава замещаемой породы, что рискованно искать в нем даже следов этого состава, как это показывают описанные уже в нашей литературе факты сидеритизации бакальских кварцитов [Пуаре, 1929]. Придавая, повидимому, большое значение содержанию титана, авторы, однако, совсем не останавливаются на расхождении своих цифр в этом отношении с данными Архангельского и Копченовой. Не зависит ли это от неравномерного распределения этого элемента в месторождении и от места взятия проб? Едва ли основательно утверждать, что процессы метаморфизации диабаза не имели отношения к «метасоматическому рудообразованию» на Бакале. Какому же процессу обязано перерождение «предположительно диабазового вещества» в «оруденелый сланец», состоящий преимущественно из «тонкоагрегатного светлого биотита»? Подробного описания этой породы нет, но, как уже отмечалось, естественно подозревать здесь действие термальных растворов. Справедливо, что «выветривание диабазов не находится в какой-либо непосредственной связи с рудообразованием Бакала», но нет никаких оснований отрицать эту связь для следов действия термальных вод на диабазы. Эти явления почти не изучались, и о трудностях такого изучения мы уже говорили.

Для суждения о возможности первичноосадочного рудообразования на Бакале не безинтересно отметить, что именно в тех рудниках Шуйды (ОГПУ), откуда происходят образцы, описанные проф. Д. С. Белянкиным, наблюдались уже давно жилы диабаза, секущие руду и не оказывающие на нее контактового влияния. Эти жилы упоминались еще в 1903 г. Л. К. Конюшевским.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из всего сказанного видно, что нет серьезных оснований изменять те представления об образовании месторождений Бакала, которые уже давно получили широкое распространение и вошли в наши учебники.

Почти все новые работы внесли некоторые новые факты, иногда очень интересные и существенные, несмотря на то даже, что взгляды авторов на генезис месторождения не подтверждаются всей совокупностью известных теперь фактов. Но, пожалуй, было высказано разных мнений еще больше, чем приведено фактических данных. Мы рассматривали и мнения и также аргументацию этих мнений авторами. Не повторяя отдельных примеров, укажем, что в некоторых работах последнего времени о Бакале можно заметить общую черту, заключающуюся в способе доказательства выдвигаемых авторами положений. Сравнительно редко здесь имеются ссылки на наблюдения, сопровождаемые сколько-нибудь точным описанием фактов. Чаще всего авторы, излагая свои представления, стремятся подтвердить их

лишь указаниями на то, что такие представления «возможны», «мыслимы», «естественны»; иногда даже на то, что это так «кажется» автору.

Вместе с тем мы видим, что некоторые авторы, писавшие о Бакале, упускают из внимания очень существенные факты, имеющие решающее значение в вопросе о способе образования руды. Прежде всего мне представляется необходимым обратить внимание на следующие факты:

1. Сохранение в руде основных черт текстуры соседних доломитовых известняков, при этом различной в разных частях месторождения.

2. Псевдоморфозы сидерита по постройкам водорослей (типа *Collenia*).

3. Характер контакта руды с известняком там, где они соприкасаются.

4. Остатки пласта незамещенного доломитового известняка среди руды.

5. Отсутствие контактового метаморфизма в сидерите около диабазовых жил, и следовательно, более молодой возраст сидерита.

6. Выраженная в структуре руды тесная связь с сидеритом сопровождающих руду минералов, для которых принимается гидротермальное происхождение.

7. Сходство Бакальских месторождений с другими железными месторождениями на земном шаре, принадлежащими к тому же типу (Бильбао, Эрцберг и др.).

В новейших работах о Бакале мы видим значительное разнообразие мнений о том, как должны были образоваться руды, но в общем не много труда положено на дальнейшее детальное изучение и объяснение указанных и других фактов.

Такое разнообразие различных гипотез и представлений, опирающихся только на то, что они считаются автором возможными, эта сквозящая в некоторых работах уверенность, что «все мыслимое — реально» и недооценка значения искания новых фактов, — внушает некоторые сомнения в том, что исследование Бакала в последнее время стояло на вполне правильном пути. И невольно вспоминаются следующие строки: «Формой развития естествознания, поскольку оно мыслит, является гипотеза. Открывается новый факт, делающий непригодным прежний способ объяснений, относящихся к той же самой группе фактов. С этого момента возникает потребность в новых способах объяснения, опирающегося сперва только на ограниченное количество фактов и наблюдений. Дальнейший опытный материал приводит к очищению этих гипотез устраняет одни из них, исправляет другие, пока наконец не будет установлен в чистом виде закон». [Энгельс, 1936].

ЛИТЕРАТУРА

- Архангельский А. Д. и Копченова Е. В. К познанию химического состава железных руд СССР. Тр. Научно-иссл. инст. геол. и мин., в. II, 1935.
- Белянкин Д. С. и Лапин В. В. К минералогии и химии железных руд и вмещающих их горных пород Бакальских месторождений. Тр. конференции по генезису руд железа и др. Акад. Наук, 1937.
- Богданович К. И. Железные руды России. СПб. Изд. Геол. ком., 1913.
- Вологдин А. Г. О кембрии Урала. Изв. Акад. Наук, сер. геол., 4, 1937.
- Гарань М. И. Район Бакал—Сатка—Куса (Ю. Урал). Межд. XVII Геол. конгр. Уральская экспедиция, 1937.
- Гарань М. И. Докембрийские отложения западного склона Ю. Урала и связь с ними полезных ископаемых. Докл. XVII Межд. Геол. конгр. Москва, 1937.
- Доброхотов М. Н., Горяинова О. П., Фалькова З. А., Панкуль Л. И., Утехин Д. Н. К изучению Зигаино-Комаровского и Инзерского железорудных месторождений. Баш. АССР. Башкирский Геол.-разв. трест. Матер. по общ. и прикл. геол., в. 2, 1933.
- Доброхотов М. Н., Горяинова О. П., Фалькова З. А., Панкуль Л. И., Утехин Д. Н. Железорудные месторождения Баш. АССР. Сб. Главные железорудные месторождения СССР. ЦНИГРИ, 1934.
- Заварицкий А. Н. Комарово-Зигазинские месторождения в Ю. Урале и задачи их исследования. Вестн. Главн. геол.-разв. управл., 7—8, 1930.

- Заварицкий А. Н. О железных рудах Бакальских месторождений на Урале. Вестн. Геол. ком., 4, 1935.
- Заварицкий А. Н. Гора Магнитная и ее месторождения железных руд. Тр. Геол. ком., (н. с.) в. 122, 1—695, 1922.
- Земятченский П. А. О генезисе железных руд на Урале. Зап. мин. общ. (2), 88, 1900.
- Конюшевский Л. и Ковалев П. Бакальские месторождения железных руд. Тр. Геол. ком., в. 6, 1903.
- Коржинский Д. С. Термодинамика и геология некоторых метаморфических реакций с выделением газовой фазы. Зап. Мин. общ., 64, 1, 1935.
- Краснопольский Л. А. Бакальские, Инзерские, Белорецкие, Авзяно-Петровские месторождения руд в Ю. Урале. Изв. Геол. ком., 20, 1901.
- Мирополюцкий Л. М. К изучению Бакальских железорудных месторождений на Урале. Изв. Акад. Наук, 4, 1932.
- Мирополюцкий Л. М. Магнетит на Бакале. Изв. Акад. Наук, 6, 1932.
- Мирополюцкий Л. М. Сидероплезит и пистомезит в качестве первичных железных руд на Бакале (Ю. Урал). Докл. Акад. Наук, 1933.
- Наливкин Д. В. Об условиях образования древних немых толщ Зап. склона Ю. Урала. Изв. Главн. геол.-разв. упр., в. 70, 1931.
- Наливкин Д. В. Учение о фациях. 1932.
- Никитин В. В. Геологические исследования центральной группы дач Верхнеисетских заводов и др. Тр. Геол. ком., в. 22, 1907.
- Пуаре И. В. Кварциты Бакала и возможное объяснение их особенностей. Изв. Геол. ком., 67, 8, 1929.
- Самойлов Я. В. Турьит и сопровождающие его минералы из Успенского рудника в Ю. Урале. Бюлл. Моск. общ. испыт. прир., 18, 1899.
- Самойлов Я. В. Углекислые минералы из Бакальских рудников в Ю. Урале. Зап. Мин. общ. (2), 88, 1900.
- Самойлов Я. В. К минералогии Бакальского рудного месторождения в Ю. Урале. Зап. Мин. общ. (2), 89, 1900.
- Самойлов Я. В. Бариты некоторых русских месторождений. Зап. Мин. общ. (2), 88, 1900.
- Сборник «За недра Урала». Свердловск, 1934.
- Сборник «Главные железорудные месторождения СССР». ЦНИГРИ, 1934.
- Чернышев Ф. Н. Контакты диабазов с осадочными породами на зап. склон Урала. Зап. Мин. общ., 18, 1883.
- Энгельс Ф. Диалектика природы, 7 изд., стр. 6. Партиздат, 1936.
- Beck-Berg. Abriss der Lehre von den Erzlagerstätten. Berlin, 1922.
- Behrend F. u. Berg G. Chemische Geologie. Stuttgart, 1927.
- Bergeat A. Epigenetische Erzlagerstätten u. Eruptivgesteine. Fortschr. für Min., 182, 1912.
- Berg G. Die Struktur u. Entstehung der lothringer Minetteerze. Abh. Deutsch. Geol. Ges., 1921.
- Berg G. Entstehung der sedimentären Eisenerze. Geol. Rund. 15, 1924.
- Beyschlag F., Krusch P., Vogt I. H. L. Die Lagerstätten der nutzbaren Mineralien u. Gesteine, Bd. 2, 1912.
- Bowen N. L. Geologic Thermometry. The Laboratory Investigations of Ores. New York, 1928.
- Busz K. Ueber die Umwandlung von Spateisenstein im Magneteisen durch Kontakt von Basalt. Cbl. Min. Geol. Palaeont., 1901.
- Caueux. Les mineraux de fer oolithique de France. Etude des gites minéraux de la France. Paris, 1909.
- Friedrich K. Beiträge zur Kenntnisse der thermischen Dissoziation u. der Konstitution leicht zerlegbarer Mineralien. Zbl. Min., Geol. Palaeont., 1912.
- Gartner A. Ueber Vivianite u. Eisenspath in mecklenburgischen Mooren. Diss. 1897. Ref. N. Jb. Min. 1, 218, 1899.
- Geijer Per Geological Relations of the Nort African Iron Ores. Econ. Geol. 22, 6, 1927.
- Hadding A. The Pre-Quaternary sedimentary rocks of Sweden. Kungl. Fisiografiska Sällskapets Handlingar Lund N. F. 88, 5.
- Hawley J. E. a. Hart R. C. Cylindrical structures in sandstones. Bull. Geol. Soc. Amer. 6, 45, 1934.
- Hewett D. F. Dolomitisation a. Ore deposition. Econ. Geol., 28, 8, 1928.
- Kegel W. Zur Kenntnis der devonischen Eisenerzlager in der südl. Lahamulde. Z. prakt. Geol., 1—4, 1923.
- Lotz H. Alter der Siegerländer Erzgänge. Z. prakt. Geol., 252—257, 1907.
- Moore E. S. a. Maynard. Solution, Transportations a. Precipitations of Iron a. Silica. Econ. Geol., 4—6, 1929.
- Naumann E. Om järnets förekomstätt i limniska avlagringar. Sver. Geol. Undersök., Stockholm, Ser. C. 289, 1918.
- Naumann E. Ueber die See-Sumperze Süd- u. Mittelschwedens. Ihre Genesis. Vorkommen u. praktische Bedeutung. Sver. Geol. Undersök., Ser. C, 297, 1919.

- Palmquist Sven. Geochemical Studies of the iron-bearing Liassic Series in Southern Sweden. Medd. Lunds geol. min. inst. **60**, 1935.
- Rotaeche Ramon M. Minas de Bilbao. Exc. C-2. XIV. Congr. Geol. Int., Madrid, 1926.
- Schmidt F. W. E. Die Basaltgänge in den rheinischwestphalischen Schiefergebirge etc. Arch. Min., Geog. Bergbau u. Hüttenkunde. Hrsrg. v. Karstens u. Dechen. **32**, Berlin, 1848.
- Schneiderhöhn H. Vorläufige Mitteilung über pyrometamorphe Paragenesen in der Siegerländer Spateisensteinzügen. Z. Krist., **58**, 1923.
- Vander Veen R. M. Origin of the Bilbao, Almeria a. Santander Iron Ores. Econ. Geol., **17**, 7, 1922.

A. N. ZAVABITZKY

TO THE QUESTION OF THE ORIGIN OF IRON ORES OF BAKAL

S u m m a r y

In the work are considered various points of views concerning the formation of Bakali iron ore deposits, expressed by different authors during the past decade, and, also, certain new data on the composition and structure of the deposits is communicated. The author is of the opinion that in stating various surmises as to formation of the Bakal deposits, very often many essential facts are overlooked, from the number of which he draws particular attention to the following: the preservation in the ore of the peculiarities of the structure of dolomites which the ore had replaced, pseudomorphs on the structure of algae (collonia), the peculiarities of the contact of the ore with dolomite, the remnants of unreplaced dolomite within the ore, the absence of contact metamorphism of siderite under the influence of diabase veins, structural relation of minerals, similarity to other deposits of the same type. From the consideration of various points of view and the factual data on hand, a conclusion is arrived at that there are no sufficient grounds to alter essentially the most prevalent hypothesis of metasomatic formation of ores by the agency of rising thermal solutions.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение	1
Представления проф. Наливкина об осадочном образовании руд Бакала . . .	1
Некоторые замечания об условиях образования сидерита как морского осадка	2
О некоторых доводах в пользу осадочного способа образования бакальских руд	3
Несколько замечаний об осадочных железных рудах вообще	4
Геологические аргументы в пользу осадочного образования железных руд	6
Бакала	6
а) Стратиграфическое положение	6
б) Форма залегания	6
Строение рудоносной толщи	8
а) Нижняя карбонатно-сланцевая толща	8
б) Верхняя кварцитовая толща	10
История образования осадочной серии Бакала	11
Об образовании сидерита путем замещения известкового вещества осадков . .	12
а) Структурные особенности залежей	12
б) О времени сидеритизации	13
Возражения против метасоматизма под действием термальных вод	15
а) Гипотетичность мощных терм	15
б) Термы и связь с изверженными породами	15
в) Пути минерализующих растворов	17
О физических условиях отложения руд и сопровождающих минералов	18
а) Этап доломитизации проф. Миропольского	19
б) Этап и зоны «минерализации» проф. Миропольского	20
Наблюдения, касающиеся парагенезиса минералов в Бакальских место-	21
рождениях	21
а) Соотношения минералов рудных и нерудных	21
б) Взаимоотношения нерудных минералов	21
в) О порядке выделения минералов второй генерации	22
г) Об арагоните	23
Отношение минералов позднейших генераций к сидериту	23
а) Структура рудной массы	23
б) Явления в боковых породах	24
Бакальские месторождения и другие им подобные	25
Еще об условиях образования руд Бакальских месторождений	27
О контактовом воздействии диабазов на руду	29
а) Некоторые геологические факты	30
б) Некоторые физико-химические соображения	31
Диабазы и тектоника	32
О вещественном составе бакальских руд	32
а) Сходство состава бакальских руд с осадочными сидеритами	32
О минералогии бакальских руд по проф. Белянкину и Лапину	35
Заключение	36
Литература	37

Редактор *И. Н. Мушенко*

Техн. ред. *П. А. Савельев* и *В. М. Юрова*

Корректор *В. Г. Богословский*

Сдано в набор 10/XII 1938 г.

Подписано к печати 26/IV 1939 г.

Формат 70 × 108^{1/16}. Объем 2^{1/2} п. л., бум. л. 1^{1/4}. Уч. авт. л. 3.64. В 1 п. л. 58000 печ. зн.

Тир. 1000 экз. Уполном. Главлита А. 8679. РИСО № 916. АНИ № 1182. Заказ № 1928

Типо-литография Издательства Академии Наук СССР. Ленинград, В. О., 9 л., 12.

ОПЕЧАТКИ

<i>Стр.</i>	<i>Строка</i>	<i>Напечатано</i>	<i>Следует</i>	<i>По чьей вине</i>
19	27 сверху	1935	1925	редактора
38	2 "	1935	1925	"

Труды ИГЕН, вып. 13.

Цена 1 руб. 70 коп.

К — 659