

ЖЕЛЕЗИСТО-МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ КАРБОНАТЫ И ВАРИАЦИИ ИЗОТОПОВ УГЛЕРОДА И КИСЛОРОДА НА ГИДРОТЕРМАЛЬНО-ОСАДОЧНОМ КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ ОЗЕРНОЕ (Забайкалье)

К.Р. Ковалев, Г.С. Рипп *, Э.Г. Дистанов, М.В. Баулина

Институт геологии ОИГГМ СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Коптюга, 3, Россия

** Геологический институт СО РАН, 670047, Улан-Удэ, Сахьяновой, ба, Россия*

На гидротермально-осадочном колчеданно-полиметаллическом месторождении Озерное в Западном Забайкалье распространены Fe-Mg-карбонаты, более всего сидериты, которые слагают две основные генетические группы сидеритовых руд — гидротермально-осадочные и перекристаллизованные их разновидности. Они различаются по структурно-морфологическим и минералого-геохимическим признакам. Гидротермально-осадочные сидеритовые руды образуют пластовые тела, слагают сульфидно-сидеритовые ритмиты, имеют тонкозернистое строение и представляют собой полиминеральные кремнисто-сульфидно-карбонатные образования. Сидериты этого типа руд обогащены цинком. Вторую генетическую группу сидеритовых руд слагают залежи сложной морфологии вдоль юго-восточного крыла рудоносной Озерной синклинали на флангах кремнещелочных метасоматитов. Они располагаются на различных стратиграфических уровнях и пространственно совмещены со стратифицированными телами сульфидных и сульфидно-сидеритовых руд. В экзо- и эндоконтактных зонах сидеритовых залежей распространены крупнокристаллические сидерит-барит-сульфидные руды.

Изотопный состав углерода и кислорода сидеритов, анкеритов и доломитов гидротермально-осадочных руд, хемогенных и рифогенных известняков рудовмещающего разреза в целом отвечает изотопному составу разновозрастных морских карбонатов. $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ в них варьируют соответственно в пределах $-1,6...+2\%$ и $+15...+22\%$. Роль органического углерода при формировании гидротермально-осадочных руд незначительна. Перекристаллизованные при наложенных метасоматических процессах сидериты, образованные за счет осадочных, в основном унаследуют изотопный состав последних. Значительные вариации изотопного состава углерода и кислорода выявляются в пределах более масштабной Озернинско-Васильевской рудоносной структуры, вмещающей Озерное месторождение. В рудовмещающем разрезе этой структуры выявлен тренд утяжеления изотопного состава углерода и кислорода карбонатов руд и рудовмещающих пород от основания к кровле стратиграфического разреза, совпадающий с трендом утяжеления изотопного состава серы сульфидов руд. В карбонатах гидротермально-осадочных железоксидных руд, ассоциирующих с сульфидными, устанавливается значительное облегчение изотопного состава углерода ($-0,5...-5\%$) и кислорода ($-2...+5\%$). Выявляется зависимость изотопного состава углерода и кислорода от содержания марганца в железисто-магнезиальных карбонатах.

Гидротермально-осадочные сульфидные полиметаллические руды, Fe-Mg-карбонаты, изотопы углерода и кислорода.

Fe-Mg CARBONATES AND VARIATIONS IN ISOTOPIC COMPOSITIONS OF CARBON AND OXYGEN AT THE OZERNOE HYDROTHERMAL-SEDIMENTARY PYRITE-POLYMETALLIC DEPOSIT (Transbaikalia)

K.R. Kovalev, G.S. Ripp, E.G. Distanov, and M.V. Baulina

The Ozernoe hydrothermal-sedimentary pyrite-polymetallic deposit in western Transbaikalia abounds in Fe-Mg-carbonates (predominantly siderites), which make up two major genetic groups of siderite ores: hydrothermal-sedimentary ores and their varieties recrystallized during hydrothermal-metasomatic processes. These groups of ores differ in structure, morphology, mineralogy, and geochemistry. Hydrothermal-sedimentary siderite ores form sheet bodies, make up sulfide-siderite rhythmities, have a fine-grained texture, and are polymineral siliceous-sulfide-carbonate formations. Siderites of these ores are Zn-enriched. Recrystallized ore varieties form deposits of complex morphology along the southeastern limb of the Ozernoe syncline on the flanks of silicic-alkaline metasomatites. These ores occur at different stratigraphic levels and coexist with stratified bodies of sulfide and sulfide-siderite ores. Exo- and endocontact zones of siderite deposits abound in coarse-crystalline siderite-barite-sulfide ores.

The isotopic compositions of carbon and oxygen of siderites, ankerites, and dolomites of hydrothermal-sedimentary ores and chemogenic and reef limestones of the ore-bearing section are generally the same as the isotopic compositions of coeval marine carbonates: $\delta^{13}\text{C} = -1.6...+2.0\%$ and $\delta^{18}\text{O} = +15...+22\%$. Carbon plays a minor role in the formation of hydrothermal-sedimentary ores. Siderite varieties produced through recrystallization of sedimentary siderites during superposed metasomatic processes inherit the isotopic composition of their predecessors. Great variations in isotopic compositions of carbon and oxygen are observed within the large Ozernoe-Vasil'evskoe ore-bearing structure enclosing the Ozernoe deposit. The isotopic compositions of carbon and oxygen in carbonates of ores and ore-hosting rocks of this structure become heavier from base to roof of its section. The isotopic composition trends of carbon and oxygen are similar in behavior to that of sulfur in ore

sulfides. Carbonates of hydrothermal-sedimentary iron oxide ores associated with sulfide ores have significantly lighter isotopic compositions of carbon (-0.5...-5‰) and oxygen (-2...+5‰). It is shown that the isotopic compositions of carbon and oxygen depend on the content of Mn in Fe-Mg-carbonates.

Hydrothermal-sedimentary sulfide-polymetallic ores, Fe-Mg-carbonates, carbon and oxygen isotopes

ВВЕДЕНИЕ

На гидротермально-осадочных месторождениях железа, марганца, свинца и цинка широко распространены железисто-магнезиальные карбонаты. Они отлагаются совместно с рудами, формируют макро- и микрорудные ритмы и латеральные ряды минералого-геохимической зональности. Изотопный состав углерода и кислорода карбонатов зачастую характеризуется значимыми вариациями, что позволяет использовать их для решения ряда генетических вопросов, установления источников вещества. Некоторые общие закономерности пространственного распределения минеральных разновидностей карбонатов и изотопного состава углерода и кислорода в пределах Озернинского рудного узла (ОРУ) были рассмотрены нами ранее. На Озерном колчеданно-полиметаллическом месторождении, расположенном в пределах этого узла, железисто-магнезиальные карбонаты распространены широко и представлены различными генетическими разновидностями [1—6]. В последние годы авторами проведены более детальные исследования карбонатов, рассмотрена их позиция в рудообразующем процессе, изучен изотопный состав углерода и кислорода карбонатов руд и карбонатсодержащих пород рудовмещающего разреза и характер распределения изотопных величин в пределах крупной рудоносной Озернинско-Васильевской грабен-синклинали структуры, вмещающей Озерное месторождение. Результаты исследований сопоставлены с ранее полученными данными по Озернинскому рудному узлу.

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И ПРОЦЕССЫ КАРБОНАТООБРАЗОВАНИЯ В ОЗЕРНИНСКОМ РУДНОМ УЗЛЕ

Озернинский рудный узел расположен на территории Западного Забайкалья (рис. 1) в одноименном останце нижнекембрийских вулканогенно-осадочных пород площадью около 200 км² среди гранитоидов средне- и верхнепалеозойского возраста. В рудном узле известно более 20 месторождений и рудопроявлений сульфидно-полиметаллических и сульфидно-железооксидных гидротермально-осадочных руд, а также контактово-метаморфизованных их разновидностей, расположенных в различных тектонических блоках. В пределах ОРУ выделяется внутриостроводужная депрессионная структура протяженностью около 15 км, в локальных палеодепрессиях которой размещаются пластовые залежи сульфидных и железоксидных руд. Наиболее крупными запасами сульфидных полиметаллических руд обладает Озерное месторождение, расположенное в осевой зоне внутриостроводужной структуры. Процессы рудоотложения сопровождали этапы раннекембрийской вулканической активности и проходили на фоне интенсивного карбонатонакопления с формированием хемогенных и рифогенных известняков [7, 8]. В пределах

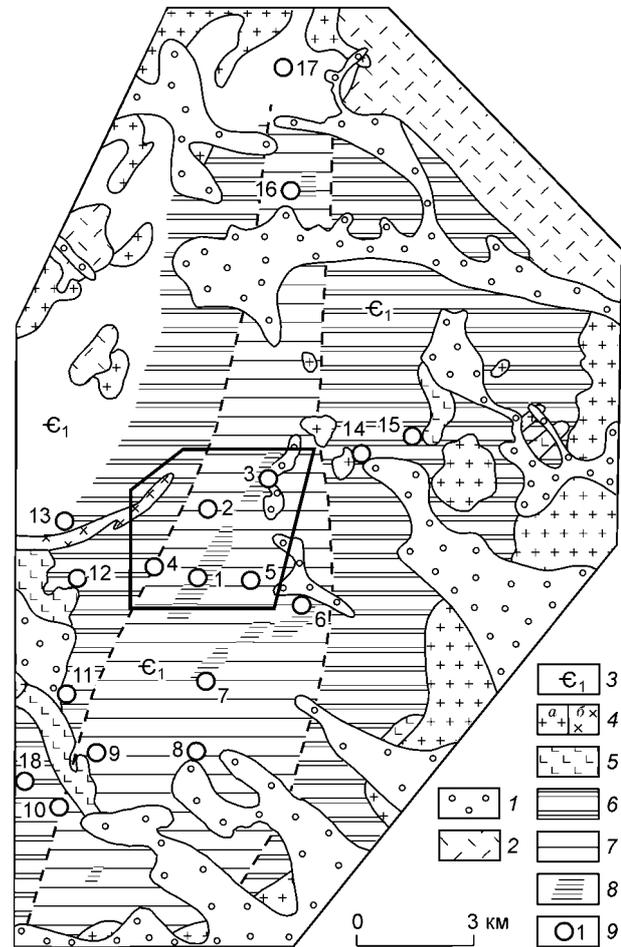
Озернинского рудного узла Г.С. Риппом с соавторами было установлено зональное распределение карбонатов (рис. 2). Центральная часть зоны трассируется телами сидеритов и наиболее железистых анкеритов, шире распространены анкериты и железистые доломиты и, наконец, на периферийных участках прогиба в основном представлены доломиты. Такое расположение различных типов карбонатов рассматривалось с позиции фациальной зональности, обуславливаемой разгрузкой гидротерм в осевой зоне депрессии в условиях восстановительной обстановки. На более поздних стадиях процесса рудоотложения, как и по периферии депрессии, в более окислительных условиях отлагались железистые доломиты. Это хорошо согласуется с описываемой фациальной рудной зональностью, которая проявляется в преиму-



Рис. 1. Схема расположения Озернинского рудного узла.

Рис. 2. Схема распределения железисто-магнезиальных карбонатов в ОРУ.

1 — современные рыхлые отложения; 2 — вулканогенные образования мезозойского возраста; 3 — вулканогенно-осадочные образования нижнекембрийского возраста; 4 — граниты (а) и граносиениты (б) верхнепалеозойского возраста; 5 — диориты, гранодиориты верхнепалеозойского возраста; 6 — доломиты и железистые доломиты с $(\text{FeO} + \text{MnO})/\text{MgO} < 1$; 7 — анкериты и железистые доломиты с $(\text{FeO} + \text{MnO})/\text{MgO} > 1$; 8 — сидериты; 9 — месторождения и рудопроявления: 1 — Озерное, 2 — Васильевское, 3 — Октябрьское, 4 — Перевальное, 5 — Восточное, 6 — Звездное, 7 — Аришинское, 8 — Гундуй, 9 — Солнечное, 10 — Туркул, 11 — Гурвунур, 12 — Северный Гурвунур, 13 — Таежное, 14 — Солонго, 15 — Назаровское, 16 — Ульзутуй-II, 17 — Ульзутуй-I, 18 — Западный Туркул.



существенной приуроченности сульфидных месторождений и рудопроявлений к осевой зоне рудного узла, сульфидно-железооксидных — к промежуточной и существенно оксидных — к фланговым участкам [6]. Установлено однонаправленное изменение изотопов $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ в хемогенных известняках в интервале значений нижнепалеозойских морских карбонатов. Близкие к ним значения установлены в сидеритах, анкеритах и доломитах рудного узла [6, 9]. Отмечалась некоторая общая обедненность тяжелым изотопом кислорода известняков по сравнению с одновозрастными морскими карбонатами. В целом можно говорить о достаточно широких вариациях изотопного состава углерода и кислорода в пределах ОРУ. В табл. 1 по данным 188 анализов приведены средние значения и вариации изотопного состава

Таблица 1. Средние значения (над чертой) и вариации (под чертой) изотопного состава углерода и кислорода карбонатов месторождений и рудопроявлений Озернинского рудного узла

Номер месторождения (по рис. 2)	Месторождение, рудопроявление	Кол-во анализов	$\delta^{13}\text{C}$, ‰ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$, ‰ (SMOW)
1	2	3	4	5
1	Озерное, I рудоносный горизонт	66	<u>-0,02</u> -2,4...+2,1	<u>17,18</u> 12,0 – 24,5
	II и III рудоносные горизонты	40	<u>-1,04</u> -3,54...+0,3	<u>15,34</u> 8,5 – 18,2
2	Васильевское	14	<u>-1,12</u> -3,48...+0,8	<u>6,61</u> -1,6 – 17,0
3	Октябрьское	2	<u>0,86</u> -1,9...+0,8	<u>17,34</u> 17,3 – 17,37
4	Перевальное	2	<u>-2,3</u> -3,0...-1,6	<u>16,85</u> 16,6 – 17,1
5	Восточное	2	<u>-1,55</u> -1,6...-1,5	<u>14,4</u> 13,7 – 15,1
6	Звездное	5	<u>-0,57</u> -2,7...+2,0	<u>13,57</u> 12,26 – 15,86
7	Аришинское	5	<u>-3,02</u> -4,22...-1,52	<u>10,38</u> 9,18 – 11,54
8	Гундуй	2	<u>-0,75</u> -0,8...-0,7	<u>16,45</u> 14,8 – 18,1

1	2	3	4	5
9	Солнечное	7	-1,2 -2,95...-0,01	16,28 14,2 - 17,96
10	Туркул	16	-0,46 -2,53...+0,41	13,12 8,3 - 14,72
12	Северный Гурвунур	6	-1,36 -3,5...-0,1	13,72 12,99 - 14,32
14	Солонго	2	-1,23 -1,25...-1,2	11,75 10,8 - 12,7
15	Назаровское	8	0,31 -1,8...+1,9	13,86 9,16 - 16,8
16	Ульзутуй-II	4	-0,87 -1,3...-0,82	18,43 17,8 - 19,0
17	Ульзутуй-I	6	0,86 -0,57...+2,03	17,98 16,38 - 19,52
18	Западный Туркул	1	-3,1	10,8

Примечание. Анализы выполнены в Аналитическом центре ОИГГМ СО РАН (г. Новосибирск, аналитик А.П. Перцева) и Бурятском геологическом институте БНЦ СО РАН (г. Улан-Удэ, аналитик В.Г. Куницын).

углерода и кислорода карбонатов руд и вмещающих пород из различных рудных участков. Средние значения $\delta^{13}\text{C}$ варьируют в интервале от $-3,2$ до $+0,31$ ‰, а $\delta^{18}\text{O}$ — от $+6,61$ до $+18,43$ ‰.

ОЗЕРНИНСКО-ВАСИЛЬЕВСКАЯ РУДОНОСНАЯ СТРУКТУРА

Озернинско-Васильевская грабен-синклиналиальная структура располагается в центральной части осевой зоны внутриостроводужного прогиба. Она вмещает собственно Озерное месторождение и Васильев-

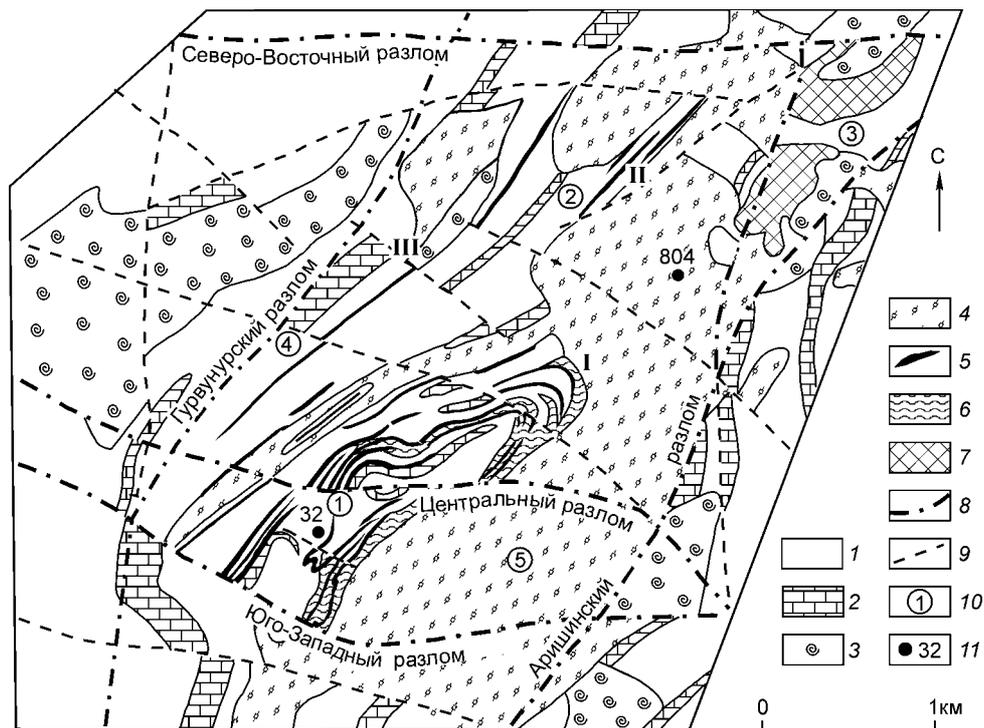
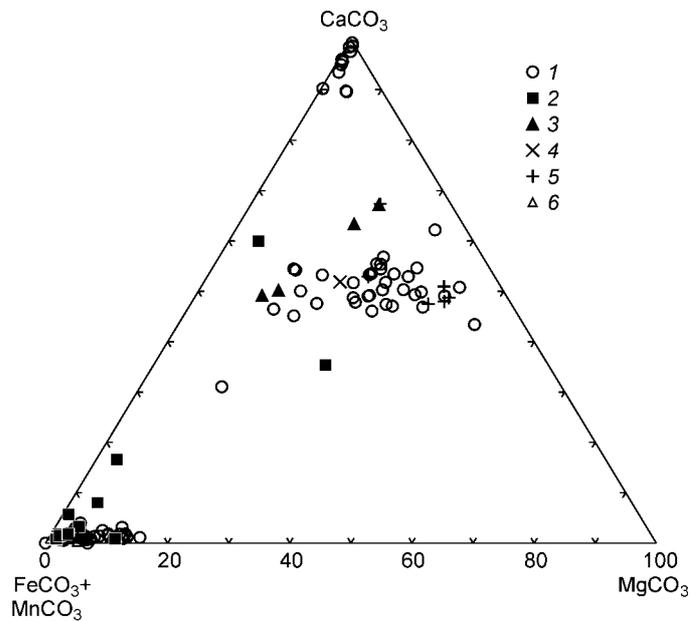


Рис. 3. Схема геологического строения Озернинско-Васильевской грабен-синклиналиальной структуры.

1—3 — нижнекембрийские вулканогенно-осадочные отложения: 1 — туфогенно-терригенные, 2 — известняки хемогенные, 3 — известняки рифогенные; 4 — туфогенно-терригенно-карбонатные породы, измененные процессами кремнещелочного метасоматоза; 5 — пластовые тела сульфидных полиметаллических руд; 6 — перекристаллизованные сидериты; 7 — зона окисления сидеритовых руд; 8 — разломы; 9 — разрывные нарушения; 10 — месторождения и рудопроявления (см. рис. 2); 11 — скважина и ее номер. Римские цифры — номер рудоносного горизонта.

Рис. 4. Состав карбонатов месторождений и рудопроявлений Озернинско-Васильевской грабен-синклиналильной структуры.

Месторождения: 1 — Озерное; 2 — Озерное, глубокие горизонты; 3 — Васильевское; 4 — Восточное; 5 — Перевальное; 6 — Октябрьское.



ское, Перевальное, Октябрьское и Восточное рудопроявления, которые как бы трассируют три (р.г., I, II и III) стратифицированных рудоносных горизонта (рис. 3). Озерное месторождение фиксирует верхний наиболее продуктивный горизонт, остальные рудопроявления приурочены к нижерасположенным малопродуктивным 2- и 3-му рудоносным уровням. Рудоносная структура ограничивается рифогенными и хемогенными известняками, имеет длину около 5 км и ширину до 2,5 км. Мощность рудовмещающего разреза составляет не менее 1,6 км, который представлен туфогенно-терригенно-карбонатными породами турбидитового строения. Рудоносные горизонты, расположенные на глубинах 0—350, 817—893 и 1349—1367 м, представлены сульфидными, железокarbonатными и железоксидными гидротермально-осадочными рудами. К осевой зоне структуры тяготеют сульфидные и сульфидно-железокarbonатные руды, а на ее северо-восточном фланге в переслаивании с сульфидными рудами встречаются железоксидные магнетитовые руды. Юго-восточный фланг Озернинско-Васильевской структуры ограничивается разломом, вдоль которого проявлены процессы окварцевания, альбитизации, адуляризации и серицитизации.

Озерное месторождение располагается в брахисинклиналинной структуре третьего порядка и имеет размеры 2,5 × 1,5 км [10]. В разрезе туфогенно-терригенно-карбонатных пород до глубины 350 м выделяется 12 ярусно расположенных пологозалегающих залежей сульфидных полиметаллических руд. Рудный горизонт представляет переслаивание пластов массивных сульфидных и сидеритовых руд, горизонтов седиментационных рудных брекчий, пачек слабоуглеродистых ($C_{орг}$ 0,5 %) известковистых алевропелитов, известняков и туффитов. Анализ карбонатов из различных рудных участков Озернинско-Васильевской структуры указывает на преобладающее развитие железисто-магнезиальных разностей (рис. 4).

ЖЕЛЕЗИСТО-МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ КАРБОНАТЫ ОЗЕРНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Основная масса руд пластовых залежей Озерного месторождения имеет ритмично-слоистое строение. Ритмины представлены чередованием пиритовых, галенит-сфалеритовых, сидеритовых, анкеритовых, кальцитовых, доломитовых и алевропелитовых прослоев мощностью от нескольких миллиметров до десятков сантиметров. Отмечается возрастание сидеритовой компоненты от подошвы к кровле рудоносного горизонта. Железисто-магнезиальные карбонаты образуют также самостоятельные пропластки мощностью до десятков сантиметров среди туфогенно-терригенных пород. Обломки сидеритовых, анкеритовых, сульфидно-сидеритовых руд и рифогенных известняков встречаются также в седиментационных брекчиях. В юго-восточном крыле Озерной синклинали протягивается зона сидеритов и сидеритизированных пород шириной 300 м. В ее пределах на разных стратиграфических уровнях выделяется 5 сидеритовых залежей (рис. 5, 6). Переслаиваясь с колчеданными рудами, они образуют на месторождении смешанный колчеданно-сидеритовый минеральный тип. В контакте с колчеданными рудами сидеритовые залежи содержат неравномерную прожилково-вкрапленную галенит-сфалерит-халькопиритовую, баритовую и иногда флюоритовую минерализацию.

Сидериты пластовых рудных тел представляют собой сульфидсодержащие полиминеральные кремнисто-карбонатные гидротермально-осадочные образования (табл. 2). Они имеют скрытокристаллическое строение и насыщены тонкозернистыми сульфидами. Для них характерны значительные колебания содержания кремнезема. Массивные сидериты юго-восточного фланга месторождения отличаются мономинеральным составом, содержат меньше кремнезема, цинка и более высокие концентрации марганца

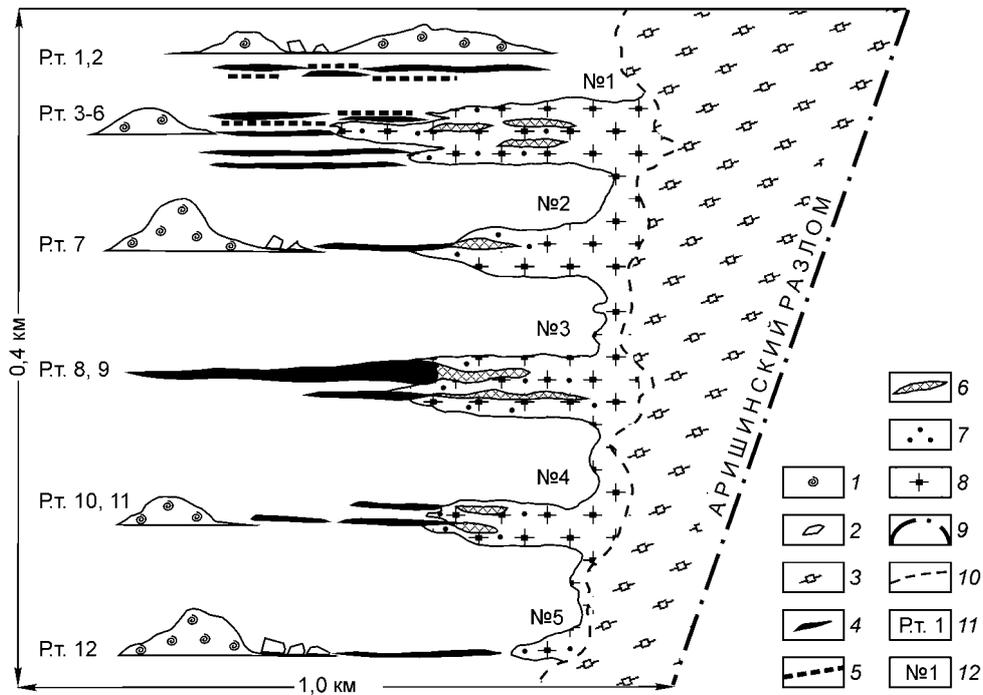


Рис. 5. Схема, иллюстрирующая в разрезе соотношение пластовых тел сульфидных полиметаллических руд с залежами перекристаллизованных сидеритовых руд на Озерном месторождении.

1 — известняки рифогенные; 2 — околорифовые обломочные фации; 3 — туфогенно-терригенно-карбонатные породы, измененные процессами кремнeshелочного метасоматоза; 4 — пластовые тела сульфидных полиметаллических руд; 5 — пластовые тела сидеритов; 6 — перекристаллизованные сульфидные полиметаллические руды; 7 — сульфидная вкрапленность в перекристаллизованных сидеритах; 8 — перекристаллизованные сидериты; 9 — разлом; 10 — граница сидеритовых залежей с измененными вмещающими породами; 11 — номер пластовых рудных тел; 12 — номер сидеритовых залежей.

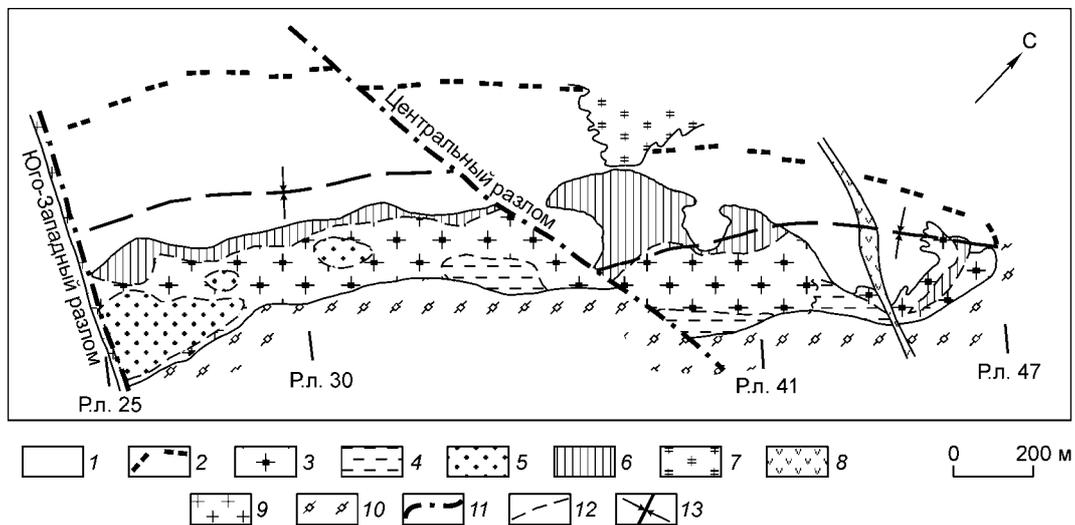


Рис. 6. Проекция на горизонтальную плоскость сидеритовой залежи №3 на Озерном месторождении (по данным Удино-Витимской ГРЭ, 1969).

1 — выходы пластовых тел сульфидных полиметаллических руд; 2 — граница выхода нижних рудных залежей в контуре Озерной брахисинклинали; 3 — наиболее мощная часть сидеритовой залежи; 4 — участки слияния сидеритовых залежей №2 и 3; 5 — сидериты со стороны всячего и лежащего боков пластовых тел сульфидных полиметаллических руд; 6 — пластовые рудные тела 8 и 9 в контуре сидеритовой залежи №3; 7 — дацитовые порфиры; 8 — дайка андезитовых порфиритов; 9 — дайка сиенит-порфира; 10 — измененные процессами кремнeshелочного метасоматоза туфогенно-терригенно-карбонатные породы; 11 — разломы; 12 — геологические границы; 13 — осевая зона Озерной брахисинклинали. Р.л. — разведочная линия и ее номер.

Таблица 2. Химический состав (мас. %) сидеритовых руд Озерного месторождения

Номер		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O	П.п.п.	ZnO	Сумма	S _{сульф}
п/п	образца																
<i>Гидротермально-осадочные кремнисто-сидеритовые руды</i>																	
1	ШГ-1258	11,30	0,18	4,30	8,79	34,92	2,74	4,15	0,61	0,10	0,21	0,07	0,14	30,16	2,00	99,67	6,11
2	ШГ-1253	19,50	0,30	5,20	10,37	30,17	2,40	3,62	0,50	0,09	0,19	0,10	0,13	26,15	1,20	99,93	6,38
3	О-209	15,70	0,13	5,60	7,64	32,90	4,82	3,27	0,61	0,11	0,23	0,08	0,19	27,52	1,70	100,47	2,33
4	О-208	16,50	0,19	6,40	9,36	30,18	4,08	2,89	0,49	0,12	0,33	0,09	0,12	26,13	2,40	99,28	6,00
5	В-1-12	38,10	0,21	5,10	4,97	24,14	3,33	2,89	0,44	0,07	0,19	0,08	0,13	19,08	0,90	99,63	2,34
6	О-476-911	41,00	0,12	3,60	12,2	16,02	5,28	0,58	0,82	0,13	1,63	0,05	Не обн.	19,47	0,02	99,91	7,63
7	О-476-918	41,80	0,17	4,80	7,72	16,82	5,44	0,62	0,82	0,14	2,71	0,06	0,05	18,09	0,02	98,96	5,34
	Среднее	26,27	0,21	4,86	8,72	26,45	4,01	2,57	0,61	0,11	0,63	0,08	0,11	23,80	2,22	99,72	5,16
<i>Перекристаллизованные сидеритовые руды</i>																	
8	К5-227	1,20	Сл.	0,20	2,50	48,14	5,64	2,37	2,10	0,14	0,26	0,01	0,12	37,51	0,03	100,25	0,11
9	О-317-22	1,70	Не обн.	0,20	1,90	39,23	7,42	7,08	3,46	0,14	0,25	0,02	0,33	38,31	0,04	100,09	0,19
10	ШГ-133	4,80	0,10	3,60	6,85	40,81	5,97	2,65	1,64	0,11	0,26	0,07	0,21	32,80	0,16	100,06	2,05
	Среднее	2,57	0,03	1,33	3,75	42,73	6,34	4,03	2,40	0,13	0,25	0,03	0,22	36,21	0,08	100,33	0,78

Примечание. Анализы выполнены в Аналитическом центре ОИГГМ СО РАН (аналитик И.М. Фоминых).

Таблица 3. Химический состав (мас. %) сидеритов Озерного месторождения

Номер		FeO	MgO	CaO	MnO	ZnO	CO ₂ (теор.)	Сумма
п/п	образца							
<i>Сидериты из гидротермально-осадочных руд</i>								
1	ШХ-1-34	53,87	2,39	0,86	4,19	0,59	38,00	99,91
2	О-313-19	50,47	3,11	0,74	5,62	0,35	38,00	98,30
3	ШГ-1047	49,21	5,68	0,99	4,81	0,87	38,00	99,54
4	О-208	49,79	1,87	1,11	8,66	0,51	38,00	99,94
5	О-300	55,22	2,16	0,63	4,06	0,26	38,00	100,32
6	К-4-20	53,23	2,76	1,14	3,65	0,56	38,00	99,33
7	О-511	51,72	3,80	0,38	4,50	1,73	38,00	100,13
8	О-501	52,37	1,94	1,24	6,18	0,06	38,00	99,78
	Среднее	51,99	2,96	0,88	5,21	0,62	38,00	99,66
<i>Сидериты из перекристаллизованных руд</i>								
9	О-79-175	49,72	2,36	0,84	9,79	0,01	38,00	100,73
10	К-4-74	47,57	2,30	2,48	9,90	0,01	38,00	100,27
11	К-5-227	55,56	1,37	0,39	5,99	Не обн.	38,00	101,31
12	ШГ-1044	44,43	7,75	0,73	8,03	0,02	38,00	98,96
13	О-317	44,76	7,54	0,60	8,50	0,04	38,00	99,43
14	К-5-Б7	45,40	6,70	1,90	7,01	0,08	38,00	99,10
15	ШГ-935	53,36	2,52	0,74	5,80	0,04	38,00	99,45
16	К-14-10	46,22	6,54	0,70	7,97	0,01	38,00	99,45
	Среднее	48,38	4,6	1,04	7,87	0,03	38,00	99,84

Примечание. Анализы выполнены на рентгеноспектральном анализаторе Самеса в ОИГГМ СО РАН (аналитик Л.Н. Поспелова).

(см. табл. 2). Анализы сидеритов из обеих морфогенетических разновидностей представлены в табл. 3. В осадочных сидеритах постоянно присутствует ZnO (до 1,73 мас.%). Перекристаллизованные сидериты характеризуются повышенными содержаниями магния и марганца.

На Озерном месторождении распространены также анкериты и железистые доломиты (см. рис. 4). Они, как и сидериты, встречаются в ритмичном переслаивании с сульфидами в гидротермально-осадочных рудах либо образуют гнездово-прожилковую минерализацию гидротермально-метасоматического облика. Анализ распространения анкеритов и железистых доломитов в пределах Озерной синклинали показал, что они преимущественно приурочены к ее северо-западному крылу.

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ УГЛЕРОДА И КИСЛОРОДА КАРБОНАТОВ

Нами проанализирован изотопный состав углерода и кислорода в 126 пробах карбонатов руд и карбонатсодержащих пород, представляющих глубокие горизонты и фланги Озернинско-Васильевской грабен-синклинали структуры и собственно Озерное месторождение. Анализы выполнены в Геологическом институте СО РАН и Аналитическом центре ОИГГМ СО РАН. Разложение карбонатов проводилось в 102%-й ортофосфорной кислоте, измерения — на приборах МИ 1201В и Finnigan MAT Delta с использованием изотопных стандартов KN-2 и МСА-7. По изотопному составу углерода и кислорода

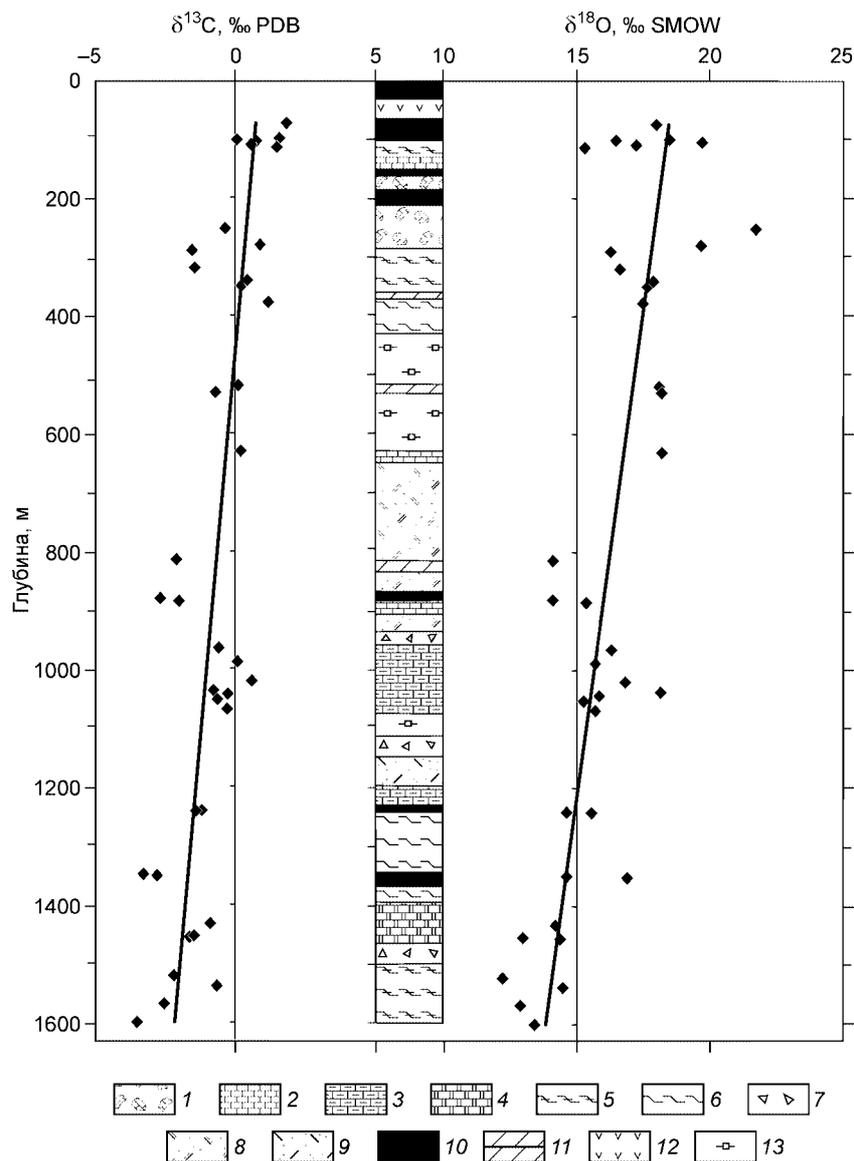


Рис. 7. Вариации изотопного состава углерода и кислорода карбонатов в рудовмещающем разрезе Озернинско-Васильевской структуры, по скв. 32.

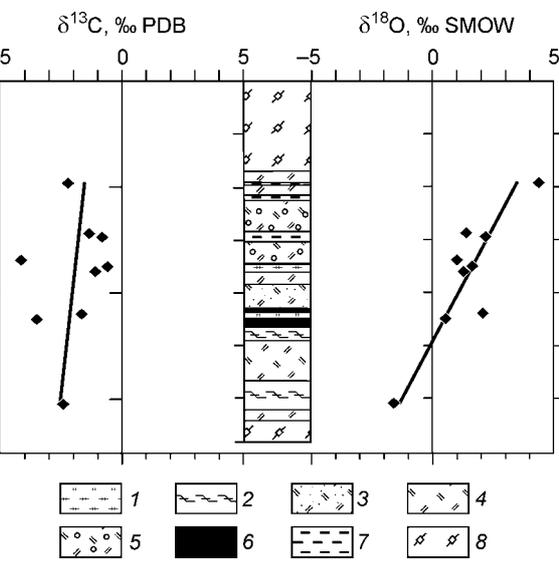
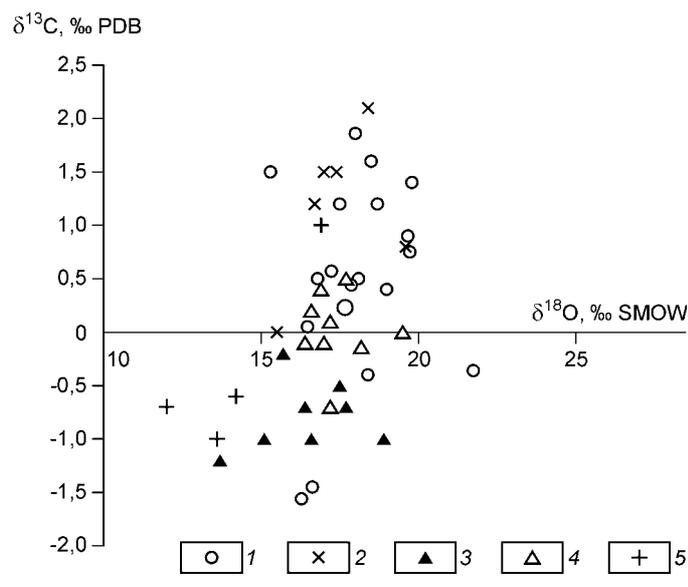
1 — седиментационные известняковые брекчии; 2 — известняки; 3 — известняки с примесью туфогенного материала; 4 — известняки углеродистые; 5 — алевропелиты кремнисто-карбонатные; 6 — алевропелиты кремнистые; 7 — лавобрекчии андезит-базальтовых порфиров; 8 — песчаники вулканомиктовые; 9 — алевролиты вулканомиктовые; 10 — сульфидные полиметаллические руды; 11 — кремнисто-сидеритовые отложения; 12 — диабазовые порфиры; 13 — туфогенно-терригенные породы, измененные процессами кремнещелочного метасоматоза.

Рис. 8. Вариации изотопного состава углерода и кислорода карбонатов в рудовмещающем разрезе, по скв. 804.

1 — туффиты основного состава; 2 — алевропелиты кремнисто-карбонатные; 3 — песчаники вулканомиктовые; 4 — гравелиты вулканомиктовые; 5 — брекчии вулканомиктовые; 6 — сульфидные руды; 7 — магнетитовые руды; 8 — туфогенно-терригенные породы, измененные процессами кремнещелочного метасоматоза.

выделяются две группы. Основная масса проанализированных проб располагается в интервалах значений $\delta^{13}\text{C}$ $-3,5 \dots +2,1$ ‰ и $\delta^{18}\text{O}$ $+13,4 \dots +21,7$ ‰. Другую меньшую группу представляют карбонаты с облегченным углеродом ($\delta^{13}\text{C}$ $-4,1 \dots -0,2$ ‰) и кислородом ($\delta^{18}\text{O}$ $-1,6 \dots +8,5$ ‰). Такие значения характерны для карбонатсодержащих рудовмещающих пород Васильевского рудопоявления, где наряду с сульфидными рудами встречаются и карбонатно-магнетитовые. По результатам опробования глубоких горизонтов скв. 32 показано поведение изотопного состава углерода и кислорода (рис. 7) в карбонатсодержащих породах по мощности рудовмещающего разреза. Устанавливается однонаправленное изменение значений $\delta^{13}\text{C}$ от -3 до $+2$ ‰ и $\delta^{18}\text{O}$ от $+13$ до $+22$ ‰ от нижних к верхним частям стратиграфического разреза. Такой же тренд выявляется и в карбонатсодержащих породах Васильевского рудопоявления (рис. 8). Значения $\delta^{13}\text{C}$ в них варьируют от -5 до $-0,5$ ‰, а $\delta^{18}\text{O}$ от -2 до $+5$ ‰. Таким образом, в обоих случаях устанавливаются тренды синхронного изменения изотопного состава углерода и кислорода с возрастанием доли тяжелого изотопа в направлении наращивания стратиграфического разреза. Изотопный состав кислорода в магнетите и кальците в двух проанализированных образцах слоистых карбонатно-магнетитовых руд составляет соответственно $+2,3$ и $+10,8$ и $+7,1$ и $+4,4$ ‰.

Результаты анализов изотопного состава углерода и кислорода железисто-магнезиальных карбонатов, рифогенных и хемогенных известняков Озерного месторождения нанесены на диаграмму рис. 9. Значения $\delta^{13}\text{C}$ в известняках варьируют от $-1,6$ до $+2,0$ ‰ и $\delta^{18}\text{O}$ от $+15$ до $+22$ ‰. Основная масса их располагается в более узком интервале $\delta^{18}\text{O}$ — от $+16$ до $+20$ ‰. По сравнению с нижними рудоносными горизонтами известняки и известковистые породы Озерного месторождения несколько обогащены тяжелыми изотопами углерода и кислорода. Более локализованные участки на диаграмме занимают различные типы железисто-магнезиальных карбонатов. Анкериты характеризуются наиболее тяжелым изотопным составом углерода ($\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = +1,18$ ‰) по сравнению с доломитами ($\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -0,33$ ‰) и осадочными



($\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -0,79$ ‰) и перекристаллизованными ($\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -0,11$ ‰) сидеритами. В свою очередь, доломиты имеют более легкий кислород ($\delta^{18}\text{O}_{\text{cp}} = +14,18$ ‰) по сравнению с другими карбонатами. Различается изотопный состав гидротермально-осадочных и перекристаллизованных сидеритов. Последние имеют более гомогенный состав и обогащены тяжелым изотопом углерода. Изотопный состав углерода ($-8,58$ ‰) углеродистого вещества из прослоя известковистого алевропелита в слоистой сульфидной руде, скорее всего, указывает на его неорганическое происхождение.

Рис. 9. Данные изотопного состава углерода и кислорода карбонатов Озерного месторождения.

1 — известняк; 2 — анкерит; 3 — сидерит осадочный; 4 — сидерит перекристаллизованный; 5 — доломит.

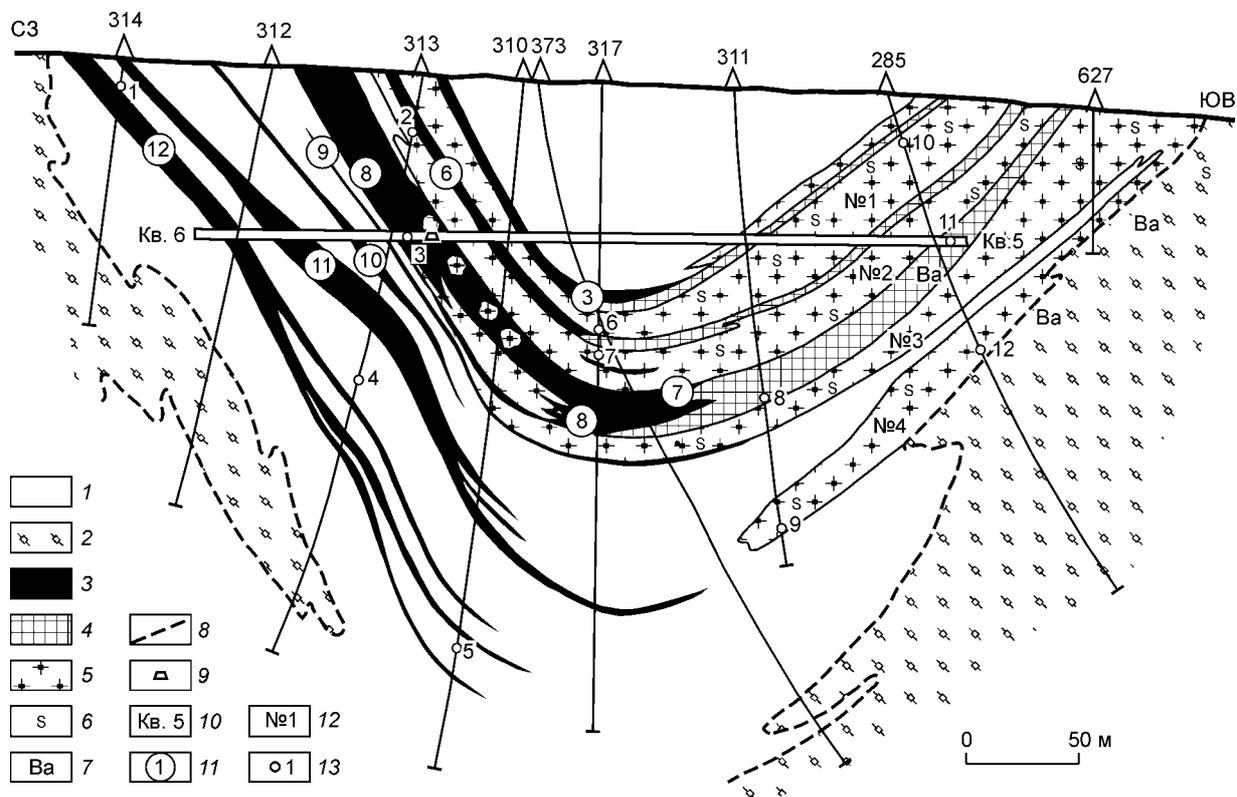


Рис. 10. Схематизированный геологический разрез по разведочной линии 41, иллюстрирующий места отоборования карбонатов на изотопный анализ углерода и кислорода (составлен по данным [10]).

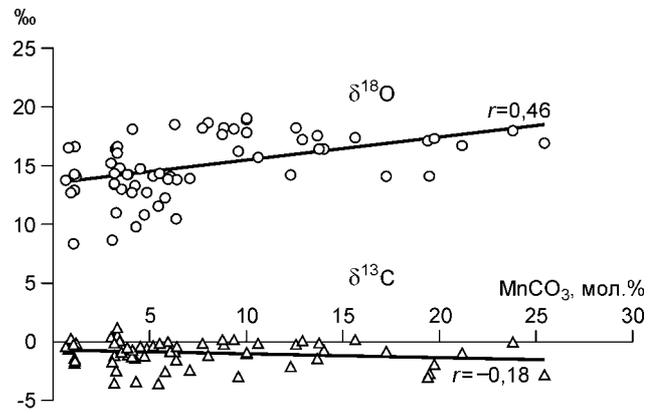
1 — туфогенно-терригенно-карбонатные породы; 2 — те же породы, измененные процессами кремнещелочного метасоматоза; 3 — пластовые тела сульфидных полиметаллических руд; 4 — перекристаллизованные сульфидные полиметаллические руды; 5 — сидериты; 6 — прожилково-вкрапленная сульфидная минерализация; 7 — баритовая минерализация; 8 — геологические границы; 9 — штольня; 10—13 — номера: 10 — вершлага, 11 — пластовой рудной залежи, 12 — сидеритовой залежи, 13 — точки отоборования.

На Озерном месторождении с северо-запада на юго-восток от анкеритовой зоны до зоны перекристаллизованных сидеритов нами проанализированы 12 образцов карбонатов из руд и вмещающих пород

Таблица 4. Изотопный состав углерода и кислорода карбонатов из пород и руд по разведочному профилю 41 Озерного месторождения

Номер		Описание	$\delta^{13}\text{C}$, ‰ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$, ‰ (SMOW)
на профиле	образца			
1	O-314-3	Известняк органогенный	-0,6	17,0
2	O-313-9	Анкерит	1,5	17,4
3	ШГ-1253	Сидерит осадочный из ритмично-слоистой сульфидной руды	-1,0	15,1
	ШГ-1258	»	-0,2	15,7
	ШГ-1258a	»	-1,0	16,6
	ШГ-1318	»	-1,2	13,7
	В-1-12	»	-0,5	17,5
4	O-313-49	Доломит	-1,0	13,6
5	O-310-49	Анкерит	2,1	18,4
6	O-317-14	Сидерит перекристал.	0,5	17,7
7	O-317-22	»	-0,1	16,4
8	O-311-11	»	0,2	16,6
9	O-311-20	Анкерит	1,5	17,0
10	O-285-1	Сидерит перекристал.	-0,7	17,2
11	Кв 5-227	»	-0,1	16,4
12	O-285-17	»	0,4	16,9

Рис. 11. Зависимость между изотопным составом углерода и кислорода карбонатов и содержанием в них марганца.



(рис. 10). Результаты анализов представлены в табл. 4. Каких-либо принципиальных различий в изотопном составе углерода и кислорода карбонатов пластовых сульфидных залежей, вмещающих пород северо-западного фланга и массивных залежей сидеритовых руд юго-восточного фланга не выявляется. Устанавливается зависимость изотопного состава углерода и кислорода от концентрации марганца в железисто-магнезиальных карбонатах (рис. 11).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В Озернинско-Васильевской структуре процессы рудоотложения, связанные с поствулканической гидротермальной деятельностью, происходили синхронно с накоплением вмещающих нижнекембрийских туфогенно-терригенно-карбонатных пород. Сульфидные и полиметаллические руды отлагались в условиях нестабильного окислительно-восстановительного потенциала и перемежались с отложением анкеритов, сидеритов и железистых доломитов. Железисто-магнезиальные карбонаты приурочены к трем основным рудоносным уровням стратиграфического разреза, которые отвечают главным циклам вулканической активности [10]. В пределах Озерного месторождения, представляющего верхний наиболее продуктивный горизонт, широко распространены сидериты, меньше анкериты и доломиты. Сторонниками гидротермально-метасоматического происхождения Озерного месторождения сидериты рассматривались как дорудные метасоматиты, предшествующие отложению сульфидных руд [1]. По данным Ю.А. Нуварьевой [2], сульфидные и железисто-магнезиальные карбонаты представляют фации единого процесса гидротермально-осадочного рудоотложения. Нами выделяются две генетические группы железисто-магнезиальных карбонатов. Сидериты первой группы, в меньшей степени анкериты и доломиты, формировались гидротермально-осадочным путем синхронно с сульфидными полиметаллическими рудами. Отложение их сопровождалось также поступлением кремнезема в бассейн седиментации. С сидеритами соосаждались марганец и цинк. Зональное расположение анкеритов и сидеритов по латерали в Озерной синклинали может указывать на возможное расположение источников подводной гидротермальной деятельности вдоль юго-восточного фланга вблизи Аришинского разлома. Вторая морфогенетическая группа сидеритов представлена залежами сложной морфологии и несет черты гидротермально-метасоматического облика. С одной стороны, они могут представлять продукты рудо-подводящего канала, содержащие кварц-барит-халькопиритовую минерализацию с флюоритом, с другой — сидеритовые залежи также располагаются на определенных стратиграфических уровнях и по простиранию переходят в отдельные пластовые тела сульфидных и сульфидно-сидеритовых руд. В эндо- и экзоконтактах сидеритовых залежей широко представлена регенерированная сульфидная минерализация и сохраняются реликты гидротермально-осадочных руд. Все это позволяет относить сидериты второй морфогенетической группы к продуктам перекристаллизации гидротермально-осадочных сидеритов. При перекристаллизации первичные сидериты освобождались от примесей цинка, а вторичные — обогащались марганцем и магнием. Халькопирит-баритовая минерализация, как и на других рудных участках Озернинского узла, являлась наложенной и контролировалась зонами долгоживущих разломов [6, 11].

Изотопно-геохимические исследования в пределах Озернинско-Васильевской грабен-синклинальной структуры позволили выявить некоторые закономерности и тенденции пространственно-временного их распределения. В целом изотопный состав углерода основной массы карбонатов руд и пород варьирует в пределах $-2...+2$ ‰, а кислорода $+15...+20$ ‰. Эти значения могут указывать на единый источник углерода и кислорода как для карбонатов гидротермально-осадочных руд, так и хемогенных и рифогенных известняков рудовмещающего разреза и в целом характерны для морских карбонатов кембрийского времени ($\delta^{13}\text{C}$ от -4 до $+3$ ‰ и $\delta^{18}\text{O}$ от $+18$ до $+25$ ‰) [12]. Вместе с тем во всех карбонатах Озернинского рудного узла отмечается некоторое общее обеднение тяжелым изотопом кислорода. В сравнении с ними морские сидериты и сидериты в вулканогенно-осадочных толщах позднекембрийского и фанерозойского возрастов характеризуются более высокими значениями $\delta^{18}\text{O}$ (от $+21$ до $+30$ ‰) [13].

Тренды изотопного состава углерода и кислорода, выявленные в рудовмещающем разрезе Озеринско-Васильевской рудоносной структуры, можно было бы объяснить процессами преобразований на стадии литификации. Установлено, что химическое уплотнение сопровождается облегчением $\delta^{18}\text{O}$ [14]. На примере Никопольского месторождения также было показано обеднение карбонатов тяжелыми изотопами углерода и кислорода на позднедиагенетической стадии [15]. Такое же облегчение может происходить и при процессах контактового термального метаморфизма [16]. Вместе с тем явных различий в масштабах изменений пород основания и кровли рудовмещающего разреза в пределах рассмотренной структуры не устанавливается. Скорее всего, тренды стабильных изотопов обусловлены эволюцией условий рудоотложения и седиментации, в том числе режима окислительно-восстановительного потенциала. На эволюционное развитие рудообразующей системы указывает ранее выявленный тренд утяжеления изотопного состава серы за счет вклада серы сульфатов морской воды от нижних рудоносных горизонтов к верхним [17].

Несомненно также, что на процессы осадко- и рудонакопления влияла поствулканическая гидротермальная деятельность, сопровождаемая привнесом в морской бассейн двуокиси углерода и регулирующая величину окислительно-восстановительного потенциала и кислотность—щелочность среды — основных факторов, определяющих фракционирование изотопов углерода и кислорода. С геологических позиций возрастание роли тяжелых изотопов углерода и кислорода во времени можно также объяснить прогрессирующим карбонатоотложением и рифообразованием в условиях поствулканической гидротермальной активности. На гидротермальных месторождениях одной из причин обогащения тяжелым изотопом углерода карбонатов от ранних стадий к поздним считается возрастание поступления CO_2 [18]. Однако утяжеленный углерод в рифогенных известняках по сравнению с морскими Э.М. Галимовым [19] рассматривался с позиции интенсивной аэрации воды в зоне развития рифов и обмена с воздушной средой CO_2 .

По выявленным изотопным характеристикам карбонатов Озерное месторождение близко к таким крупным древним стратиформным свинцово-цинковым месторождениям как Маунт-Айза, Мак-Артур и Леди-Лоретта в Австралии [20, 21]. Все они характеризуются значениями $\delta^{13}\text{C}$, указывающими на ограниченную роль органического вещества в качестве источника углерода при карбонатообразовании. Вместе с тем на крупном стратиформном месторождении Горевское углерод карбонатов свинцово-цинковых руд обогащен легким изотопом ($\delta^{13}\text{C}$ от -10 до $-1,8$ ‰) по сравнению с карбонатами вмещающих пород (от -5 до $+4$ ‰) при близости изотопного состава кислорода [22]. Сидериты и анкериты гидротермально-осадочных массивных сульфидных руд месторождения Филон-Норт также обогащены легким изотопом углерода ($\delta^{13}\text{C}$ от $-9,7$ до $-6,4$ ‰) [23].

Аномальное обогащение легким изотопом кислорода карбонатов ($\delta^{18}\text{O}$ $-2...+3$ ‰) из пород рудовмещающего разреза и карбонатов ($\delta^{18}\text{O}$ $+4,4...+10,8$ ‰) из гидротермально-осадочных карбонатно-магнетитовых руд Васильевского рудопроявления позволяет предполагать влияние окислительно-восстановительных условий бассейна рудоотложения на процессы изотопного фракционирования. При этом отмечается и некоторое обогащение легким изотопом углерода. В этой связи интересно проанализировать поведение изотопов углерода и кислорода в железисто-магнезиальных карбонатах стратиформных железорудных месторождений, формируемых в окислительных условиях. Как отмечалось в работе [24], влияние ионов железа на изотопный состав углерода и кислорода карбонатных систем вызвано прежде всего их способностью менять валентность и таким образом способствовать окислению или восстановлению соединений углерода. Благодаря высокому коэффициенту изотопного разделения в системе CO — CO_2 (особенно по углероду) наличие восстановленных форм углерода заметно сказывается на изотопном составе конечных продуктов реакции. В железорудной формации Бивабик (Северная Миннесота, США) отмечено значительное обогащение легкими изотопами углерода и кислорода карбонатов в присутствии магнетитсодержащих прослоев при широкой вариабильности значений [25]. В железорудной формации хр. Хамерсли в Западной Австралии углерод карбонатов имеет в своем составе $\delta^{13}\text{C}$ $-9...-11$, в то время как вмещающие доломитсодержащие известняки — от $+2$ до -2 ‰ [26]. Увеличение содержания железа в сидеритах сопровождается уменьшением в их составе $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ [27]. Более низкие значения $\delta^{13}\text{C}$ ($-3,5...-9,6$ ‰) в карбонатах магнетитсодержащих руд по сравнению с вмещающими сланцами и карбонатными породами отмечались в железорудной формации Южной Африки [28]. Однако на железорудных месторождениях в Ливии установлено, что с возрастанием содержания магнетита в рудах углерод в сидеритах, имеющий также низкие значения $\delta^{13}\text{C}$ ($-12...-30$ ‰), обогащается тяжелым изотопом [29]. Низкие значения изотопного состава углерода железистых карбонатов многие авторы объясняют реакциями органического углерода с оксидами железа на стадии диагенетических преобразований пород и руд. В то же время на ряде железорудных месторождений кальцит и магниевые карбонаты характеризуются величинами $\delta^{13}\text{C}$, близкими к $0,1$ ‰, а $\delta^{18}\text{O}$ варьирует от $+15,5$ до $+28,3$ ‰, что свидетельствует о первичном хомогенно-осадочном генезисе [30].

Облегченный изотопный состав углерода в железистых карбонатах руд по сравнению с карбонатами вмещающих пород отмечается также и на стратиформных марганцевых месторождениях [31, 32]. Таким образом, как на большинстве железорудных и марганцевых месторождений, так и в железисто-магнезиальных карбонатах Озернинско-Васильевской структуры существует тенденция обогащения легким изотопом углерода в обстановке повышенного окислительного потенциала кислорода бассейна рудоотложения.

Выявленная на Озерном месторождении корреляция между содержанием марганца в железисто-магнезиальных карбонатах и изотопным составом углерода и кислорода подтверждает закономерность, установленную на ряде других месторождений [21, 32]. Зависимость между химическим и изотопным составами отмечалась другими исследователями для сидеритов, анкеритов и железистых доломитов [33].

Учитывая низкую степень регионального метаморфизма пород и руд в пределах Озерного рудного узла, наличие первичных текстурных и структурных признаков седиментогенеза и закономерную смену сульфидов железа карбонатами железа и оксидами железа от подошвы к кровле ритмов, можно предположить, что железисто-магнезиальные карбонаты и магнетитовые руды не являются продуктами диагенетических преобразований, а изотопные характеристики отражают первичные условия рудоотложения.

Отмечаемые вариации изотопного состава углерода и кислорода карбонатов различных участков ОРУ частично могут быть объяснены процессами фракционирования при контактовом метаморфизме. Карбонаты скарированных руд (участки Назаровский, Солонго, Западный Туркул и Туркул) обычно обогащены легким изотопом кислорода (см. табл. 1). Это согласуется с существующим представлением об обогащении карбонатов при контактовом метаморфизме легкими изотопами углерода и кислорода за счет реакции декарбонатизации, при которой освобождающийся CO_2 обогащается тяжелыми изотопами ^{13}C и ^{18}O [34, 35].

Изотопно-геохимическая зональность на Озернинском рудном узле конкретизирует поиски богатого сульфидного оруденения в пределах осевой зоны. Установленные тренды позволяют провести более точную увязку рудоносных горизонтов различных тектонических блоков Озернинского останца. Обеднение тяжелыми изотопами углерода и кислорода карбонатов фланговых зон ОРУ согласуется также с преобладанием в них железисто-магнезиальных карбонатов фланговых зон ОРУ. На примере Озерного месторождения видно, что карбонаты наиболее продуктивных и масштабных сульфидных полиметаллических руд верхнего рудоносного горизонта, сформированные в восстановительных условиях, обогащены тяжелыми изотопами углерода и кислорода. Полученные данные также подтверждают концепцию синхронного отложения сульфидных полиметаллических и железисто-магнезиальных руд с вмещающими туфогенно-терригенно-карбонатными породами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На Озерном месторождении, представляющем собой верхний наиболее продуктивный рудоносный горизонт разреза вулканогенно-терригенно-карбонатных пород в пределах Озернинско-Васильевской рудоносной структуры, широко распространены железисто-магнезиальные карбонаты. Среди них выделяется две группы. К первой относятся карбонаты, отлагавшиеся синхронно с сульфидными гидротермально-осадочными рудами. Сидериты, анкериты и доломиты в них слагают ритмично-слоистые карбонатно-сульфидные руды или формируют самостоятельные пластовые тела. В распределении их выявляется латеральная зональность. Сидериты преимущественно тяготеют к ее юго-восточному флангу, а анкериты — к северо-западному. Вторая генетическая группа представлена массивными и жильными телами сидеритов метасоматического облика. Выделяется 5 таких залежей, которые тяготеют к зоне кремнещелочных метасоматитов, контролируемых Аришинским разломом. Они сформировались в результате перекристаллизации гидротермально-осадочных сульфидно-сидеритовых руд, имеют крупнозернистое строение, содержат вкрапления барита, халькопирита, галенита и сфалерита, по составу более марганцевистые и обеднены цинком по сравнению с гидротермально-осадочными сидеритами. Зональное расположение гидротермально-осадочных анкеритов и сидеритов по отношению к Аришинскому разлому, возможно, отражает пути поступления гидротермальных растворов в рудо локализирующую структуру.

Особенности изотопного состава углерода и кислорода карбонатов руд и вмещающих пород в пределах Озернинско-Васильевской грабен-синклинали структуры и Озерного месторождения заключаются в следующем.

1. Значения изотопного состава $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ железисто-магнезиальных карбонатов пластовых сульфидных залежей и хемогенных и рифогенных известняков рудовмещающего разреза Озерного месторождения близки, что может свидетельствовать о синхронности их образования. Отмечается некоторое общее обогащение легким изотопом кислорода рудных карбонатов.

2. Анкериты обогащаются тяжелым изотопом углерода, а доломиты и сидериты — легким. Поскольку рудоотложение происходило в нестабильных условиях, то некоторое различие в изотопном составе карбонатов, скорее всего, объясняется колебаниями физико-химических условий бассейна седиментации, в частности, вариацией окислительно-восстановительного потенциала. Установлено значительное об-

легчение изотопного состава углерода и кислорода карбонатов железоксидных магнетитсодержащих фаций по сравнению с сульфидно-железкарбонатными.

3. Роль органического углерода при формировании железисто-магнезиальных карбонатов гидротермально-осадочных руд Озерного месторождения незначительна, на что указывают и относительно невысокие содержания его в гидротермально-осадочных рудах и вмещающих терригенно-карбонатных породах. Главным источником углерода рассматривается двуокись углерода, сопровождающая процесс поствулканической гидротермальной деятельности.

4. Отмечается синхронное возрастание роли тяжелых изотопов углерода и кислорода в рудах и карбонатсодержащих вмещающих породах в направлении наращивания стратиграфического разреза и увеличения продуктивности оруденения. Эта закономерность совпадает с ранее выявленным аналогичным трендом обогащения тяжелым изотопом серы сульфидов руд в рудовмещающем разрезе и, скорее всего, отражает эволюционный процесс рудоотложения, нежели процесс диагенетически-эпигенетических преобразований.

5. Выявленное различие в изотопном составе карбонатов руд разных стратиграфических уровней может быть использовано в поисковых целях.

6. Процессы гидротермально-метасоматической перекристаллизации гидротермально-осадочных сидеритов приводят к некоторому изменению их изотопных характеристик. Устанавливается гомогенизация изотопного состава углерода и обогащение тяжелым изотопом углерода.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 02-05-64792 и 03-05-65270).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Крейгер И.В.** О процессе сидеритизации на колчеданно-полиметаллическом месторождении в Западном Забайкалье // Геология и полезные ископаемые Забайкалья. М., 1968, с. 238—241.
2. **Нуварьева Ю.А.** О взаимоотношениях колчеданных и сидеритовых руд на Озерном месторождении // Тр. СНИИГГиМС, Вып. 198. Новосибирск, 1974, с. 22—28.
3. **Кочеткова К.В.** Минералогия колчеданных свинцово-цинковых руд Озерного месторождения // Вопросы генезиса стратиформных свинцово-цинковых месторождений Сибири. Новосибирск, Наука, 1977, с. 118—180.
4. **Дистанов Э.Г., Ковалев К.Р.** Текстуры и структуры гидротермально-осадочных колчеданно-полиметаллических руд Озерного месторождения. Новосибирск, Наука, 1975, 174 с.
5. **Рипп Г.С.** Геохимия эндогенного оруденения и критерии прогноза в складчатых областях. Новосибирск, Наука, 1984, 190 с.
6. **Ковалев К.Р., Бусленко А.И.** Гидротермально-осадочный рудогенез и полиметаморфизм руд Озернинского рудного узла (Западное Забайкалье). Новосибирск, Наука, 1992, 214 с.
7. **Васильев И.Л.** Геология Еравнинского рудного поля. Новосибирск, Наука, 1977, 126 с.
8. **Рипп Г.С., Очиров Ю.Ч., Куницын В.Г.** Железисто-магнезиальные карбонаты Озернинского рудного узла // Минералогия магматических пород и месторождений Забайкалья. Улан-Удэ, 1989, с. 168—183.
9. **Рипп Г.С., Куницын В.Г.** Изотопно-геохимическая зональность Озернинского рудного узла // Геолого-генетические модели и локальное прогнозирование эндогенного оруденения в Забайкалье. Новосибирск, 1991, с. 98—107.
10. **Тарасова Р.С., Близнюк М.В., Бабкин И.Н.** О формационном типе и генезисе свинцово-цинкового колчеданного месторождения Озерное // Геология и генезис эндогенных рудных формаций Сибири. Новосибирск, Наука, 1972, с. 79—97.
11. **Нефедьев М.А., Виноградов Б.К.** Комплексирование методов при прогнозировании и поисках рудных месторождений. Новосибирск, Наука, 1982, 166 с.
12. **Veizer J., Hoefs J.** The nature of $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ and $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ secular trends in sedimentary carbonate rocks // Geochim. Cosmochim. Acta, 1976, v. 40, p. 1387—1395.
13. **Тимофеева З.В.** Сидеритообразование в фанерозое и позднем докембрии // Геохронология и проблемы рудообразования. М., Наука, 1977, с. 112—117.
14. **Jorgensen N.O.** Oxygen and carbon isotope compositions of Upper Cretaceous chalk from the Danish sub-basin and the North Sea Central Graben // Sedimentology, 1987, v. 34, № 4, p. 559—570.
15. **Кулешов В.Н., Домбровская Ж.В.** Изотопный состав и условия образования никопольских карбонатных марганцевых руд // Изотопная геохимия процесса рудообразования. М., Наука, 1988, с. 233—257.
16. **Фор Г.** Основы изотопной геологии. М., Мир, 1989, 590 с.
17. **Ковалев К.Р., Дистанов Э.Г., Перцева А.П.** Вариации изотопного состава серы сульфидов при вулканогенно-осадочном рудообразовании и метаморфизме руд Озернинского рудного узла в Западном Забайкалье // Геология рудных месторождений, 1998, т. 40, № 4, с. 336—353.

18. **Омото Х., Рай Р.** Изотопы серы и углерода // Геохимия гидротермальных рудных месторождений. М., Мир, 1982, с. 405—450.
19. **Галимов Э.М.** Геохимия стабильных изотопов углерода. М., Недра, 1968, 224 с.
20. **Smith J.W., Burns M.S., Croxford N.J.W.** Stable isotope studies of the origins of mineralization at Mount Isa. I. // Miner. Deposita, 1978, v. 13, № 3, p. 369—381.
21. **Large R.R., Bull S.W., Winefield P.R.** Carbon and oxygen isotope halo in carbonates related to McArthur River (HVC) Zn-Pb-Ag deposit, North Australia: implications for sedimentation, ore genesis, and mineral exploration // Econ. Geol., 2001, v. 96, p. 1567—1593.
22. **Пономарев В.Г., Акимцев В.А., Сараев С.В., Доильницын Е.Ф.** Изотопно-геохимические индикаторы стратиформного свинцово-цинкового оруденения Ангарского рудного района на Енисейском крыже // Изотопные исследования процессов рудообразования. Новосибирск, Наука, 1991, с. 56—83.
23. **Tornos E., González Clavijo E., Spiro B.** The Filón Norte orebody (Tharsis, Iberian Pyrite Belt): a proximal low-temperature shale-hosted massive sulfide in a thin-skinned tectonic belt / Miner. Deposita, 1998, v. 33, № 1—2, p. 150—169.
24. **Загнитко В.Н., Луговая И.П.** Особенности изотопного состава карбонатных систем в присутствии ионов железа // XII всесоюзный симпозиум по стабильным изотопам в геохимии. М., ГЕОХИ, 1989, с. 143—145.
25. **Perry E.C., Tan F.C., Morrey G.B.** Geology and stable isotope geochemistry of the Biwabik iron formation, Northern Minnesota // Econ. Geol., 1973, v. 68, № 7, p. 1110—1126.
26. **Becker R.H., Clayton R.N.** Carbon isotopic evidence for the origin of a banded iron-formation in Western Australia // Geochim. Cosmochim. Acta, 1972, v. 36, p. 577—595.
27. **Baur M.E., Hayes G.M., Studley S.A., Walter M.R.** Millimeter-scale variations of stable isotope abundances in carbonates from banded iron-formation in Hamersley group of Western Australia // Econ. Geol., 1985, v. 80, № 2, p. 270—282.
28. **Perry E.C., Tan F.C.** Significance of oxygen and carbon isotope variations in Early Precambrian cherts and carbonate rocks of Southern Africa // Bull. Geol. Soc. Amer., 1972, v. 83, p. 647—664.
29. **Hangary K.M., Ahmad S.N., Perry E.C.** Carbon and oxygen isotope ratios in diagenetic siderite and magnetite from Upper Devonian ironstone, Wadi Shatti District, Libya // Econ. Geol., 1980, v. 75, p. 538—545.
30. **Савченко Л.Т.** Закономерности вариаций изотопного состава серы, углерода и кислорода в железисто-кремнистых формациях докембрия Европейской части СССР // XII всесоюзный симпозиум по стабильным изотопам в геохимии. М., ГЕОХИ, 1989, с. 61—62.
31. **Зыкин Н.Н.** Изотопный состав углерода и кислорода руд и вмещающих пород Парнокского железомарганцевого месторождения (Полярный Урал) в связи с его генезисом // Вестн. МГУ, 2002, сер. 4, № 2, с. 32—39.
32. **Кулешов В.Н., Быч А.Ф.** Изотопный состав ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) и происхождение карбонатных марганцевых руд Усинского месторождения (Кузнецкий Алатау) // Литология и полезные ископаемые, 2002, № 4, с. 381—396.
33. **Sneider J., Bechstadt T., Machel H.G.** Significant overprint of the geochemical and magnetic properties of carbonates by a Fe-bearing fluid — a study from the La Vid Group, Cambrian Mountains, NW-Spain // 18 General Meeting of the International Mineralogical Association „Mineralogy for the New Millennium“ (Edinburgh, 1—6 Sept.: IMA 2002). Edinburgh, IMA, 2002, p. 301.
34. **Deines P., Gold D.P.** The change in carbon and oxygen isotopic composition during contact metamorphism of Trenton limestone by the Mount Royal pluton // Geochim. Cosmochim. Acta, 1969, v. 33, p. 421—424.
35. **Shieh Y.N., Taylor H.P.** Oxygen and carbon isotope studies of contact metamorphism of carbonate rocks // J. Petrol., 1969, v. 10, p. 307—331.

*Рекомендована к печати 9 августа 2004 г.
А.С. Борисенко*

*Поступила в редакцию
4 марта 2004 г.*