

УДК 551.2+553(571.6)

**РОЛЬ ОФИОЛИТОВ В МЕТАЛЛОГЕНИИ СИХОТЭ-АЛИНЯ**

© 2012 г. В. Т. Казаченко, Е. В. Перевозникова, С. Н. Лаврик, Н. В. Скосарева

Представлено академиком А.И. Ханчуком 20.12.2011 г.

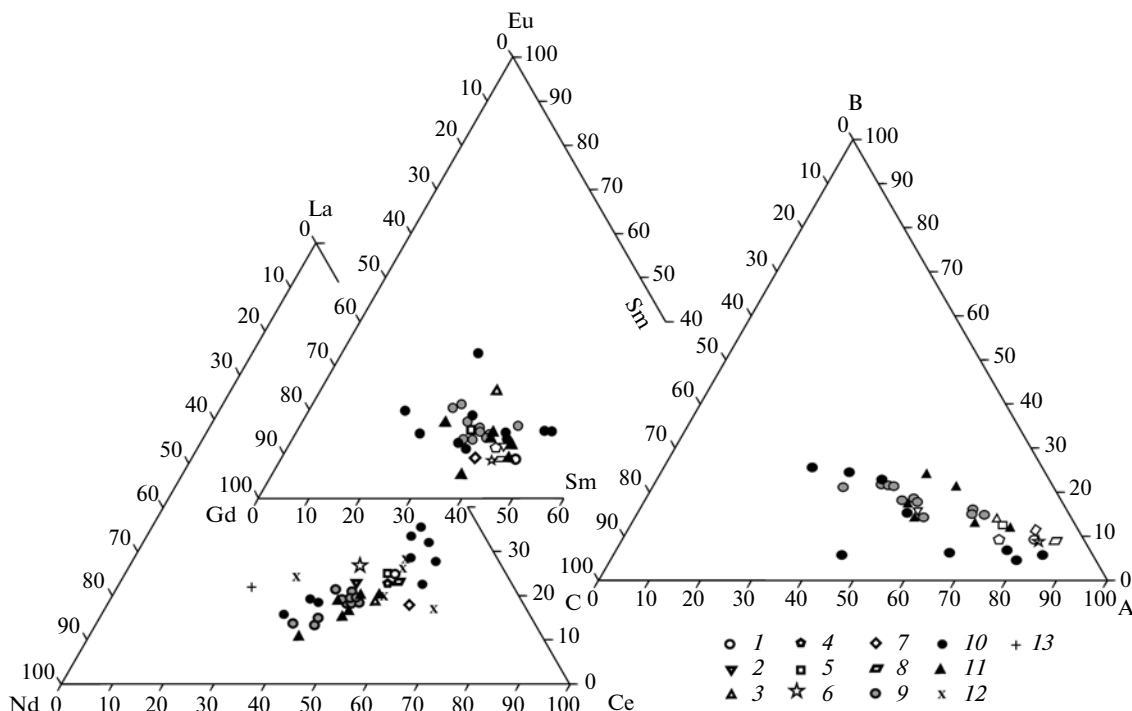
Поступило 23.01.2012 г.

В триасовой кремневой формации Сихотэ-Алиня (Таухинском и Самаркинском террейнах) присутствуют богатые Au, Pt, Pd и другими металлами контактово-метаморфизованные осадки — марганцевосиликатные породы и кремни с дисперсным родохрозитом, силикатно-магнетитовые руды и яшмы [1]. В Дальнегорском и Ольгинском районах (Таухинский террейн) известны обогащенные Mn позднемеловые-палеогеновые скарновые месторождения с полиметаллическими, железными и борными рудами. Они приурочены к фрагментам карбон-пермских и триасовых рифов, сформировавшихся, как считается [2], на гайотах основного состава. Образование этих месторождений связывали с магматическим источником рудного вещества. Однако в последнее время получены факты, свидетельствующие в пользу генетической связи между скарновыми месторождениями и триасовыми металлоносными осадками (как возможным источником металлов) [1]. Они обусловили необходимость сравнительного изучения этих образований для выяснения действительной роли магматических и осадочных процессов в формировании скарновых месторождений.

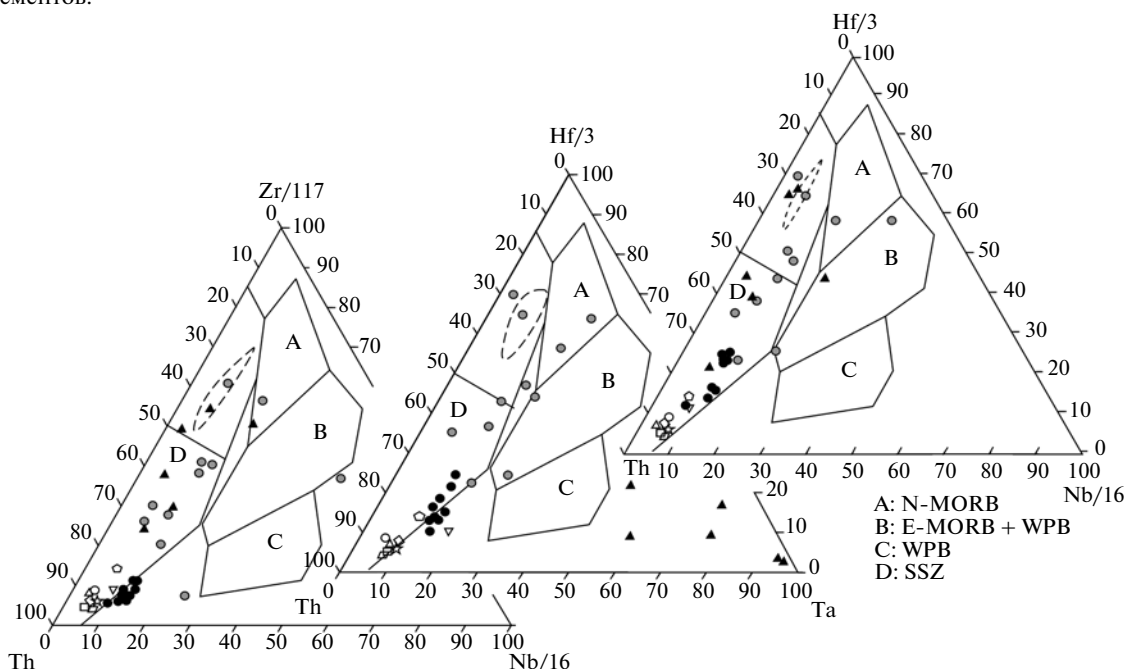
Согласно полученным результатам металлоносные осадки и скарны изначально являлись продуктами размыва апоофиолитовой латеритной коры выветривания островов. Mn, Fe и другие металлы накапливались как в лагунах, так и в прилегающих к островам акваториях. Присутствие в скарнах борных и полиметаллических руд указывает на мелководные и глубоководные (с зонами сероводородного заражения) лагуны. В фациях лагун (в современном виде, скарнах) и в фациях акваторий (метаморфизованных металлоносных осадках), несмотря на значительную дифференциацию вещества в осадочном процессе, проявились геохимические особенности материнских магматических пород. Результаты сравнения (рис. 1, 2) свидетельствуют о геохимическом сходстве метаморфизованных металлоносных осадков и скарнов

(табл. 1) как друг с другом, так и с основными и ультраосновными породами. С учетом строения триасовой кремневой формации Сихотэ-Алиня можно полагать, что по меньшей мере с девона до конца триаса существовал архипелаг, сложенный породами офиолитового комплекса. Он и прилегающие акватории служили источниками глинистого и органического вещества, которыми обогащена нижняя часть триасовой кремневой формации. С позднего анизия до конца триаса происходило погружение островов, сопровождавшееся интенсивным размывом латеритной коры выветривания волно-прибойными процессами. Этот период фиксируется появлением в триасовом разрезе Сихотэ-Алиня горизонтов металлоносных осадков. По мере погружения островов из-за уменьшения области питания менялся характер осадконакопления (верхняя, карнийско-норийская часть триасового разреза сложена кремнями, бедными глинистым и органическим материалом). В это же время формировались рифовые массивы Дальнегорского района. В настоящее время крупные блоки пород претерпевшего аккрецию офиолитового комплекса (Калиновского) — фрагменты бывших островов — фиксируются в Самаркинском террейне. В Таухинском террейне они погребены под вулканитами Восточно-Сихотэ-Алинского вулканогенного пояса.

Модельный возраст рудного Pb скарновых месторождений [7] гораздо более древний по сравнению со временем их образования. Этот факт, до последнего времени не находивший убедительного объяснения, согласуется с изложенными генетическими представлениями. Модельный возраст рудного Pb характеризует время его перехода из рассеянного состояния в концентрированное. В нашем случае он является временем накопления Pb в лагунах островов. Модельный возраст, определенный по  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ , соответствует периоду от начала карбона почти до середины среднего триаса (рис. 3). Нижний предел не противоречит возрасту калиновских офиолитов (средний палеозой). Верхний предел близок ко времени начала погружения островов (поздний анизий). Модельный возраст, определенный по  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,



**Рис. 1.** Соотношения (мас. %) REE в скарнах и металлоносных породах Сихотэ-Алиня и в породах офиолитовых комплексов Урала [3, 4] и Южного Тибета [5].  $A = La + Ce + Pr + Nd$ ;  $B = Sm + Eu + Gd + Tb$ ;  $C = Dy + Ho + Er + Tm + Yb + Lu$ . 1–4 – скарны Николаевского (1) и Верхнего (2) полиметаллических месторождений Дальнегорского района, Дальнегорского боросиликатного месторождения (3) и Белогорского магнетитового месторождения Ольгинского района (4); 5, 7 – марганцевосиликатные породы Широкопаднинской (Ольгинский район) (5) и Горной (Малиновский район) (7) площадей; 6, 8 – силикатно-магнетитовые руды (6) и яшмы (8) Широкопаднинской площади; 9, 11 – габброиды (9) и ультрабазиты (11) зоны меланжа Главного Уральского разлома; 10 – ультраосновные породы Южного Тибета; 12, 13 – базальты гайотов, океанических островов (12) и абиссальных равнин (13) Сихотэ-Алиня и Сахалина по [2]. Точки скарнов, металлоносных пород и габброидов 11 комплексов Урала [3] вынесены по средним содержаниям элементов.

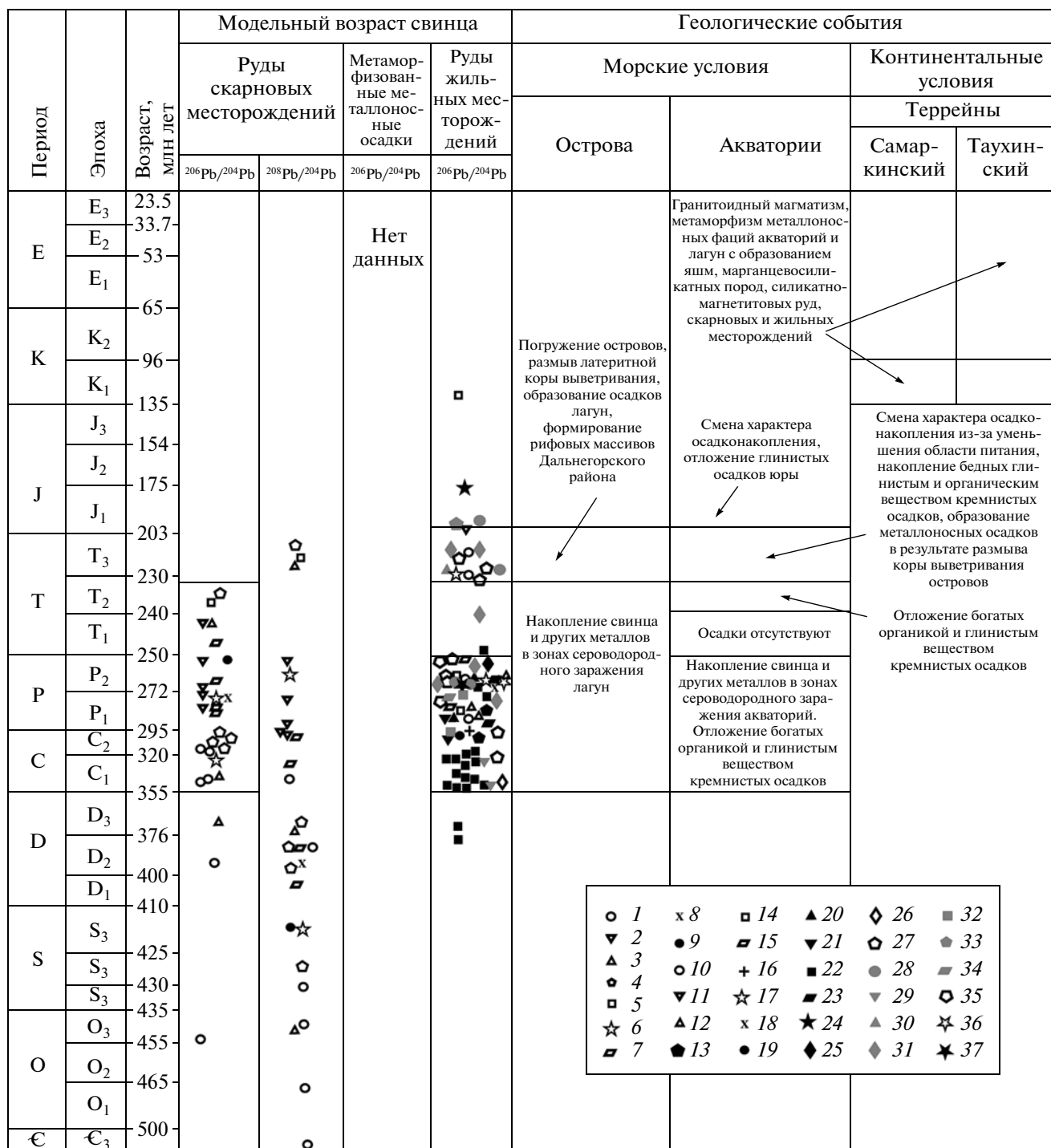


**Рис. 2.** Положение скарнов и металлоносных пород Сихотэ-Алиня и пород офиолитовых комплексов Урала [3, 4] и Южного Тибета [5] на диаграммах Д.Ф. Вуда [6]. Поля: N-MORB – нормальные базальты срединно-океанических хребтов; E-MORB – обогащенные базальты срединно-океанических хребтов; WPB – внутриплитные базальты; SSZ – базальты супрасубдукционной зоны, предостроводужные и задуговые. Штриховой линией показаны поля базальтов и диабазов офиолитового комплекса Южного Тибета. Прочие условные обозначения см. на рис. 1.

**Таблица 1.** Пределы (над чертой) и средние содержания (под чертой) (г/т) некоторых элементов в скарнах и метаморфизованных металлоносных осадках южной части Сихотэ-Алиня

Элемент	1 (14)	2 (6)	3 (18)	4 (20)	5 (18)	6 (12)	7 (31)	8 (24)
Sr	<u>6.25–237.34</u> 54.46	<u>7.59–75.99</u> 26.615	<u>3.40–158.34</u> 20.92	<u>0.61–66.75</u> 14.98	<u>0.02–111.48</u> 42.66	<u>0.51–18.90</u> 7.34	<u>9.65–117.63</u> 50.00	<u>2.55–46.34</u> 12.95
Y	<u>1.21–26.75</u> 5.89	<u>0.97–3.20</u> 2.31	<u>0.60–29.56</u> 6.15	<u>1.05–34.93</u> 11.12	<u>0.71–55.25</u> 12.12	<u>1.07–18.43</u> 5.87	<u>0.90–38.71</u> 5.04	<u>0.92–8.29</u> 3.48
Zr	<u>0.54–194.31</u> 23.87	<u>0.65–2.30</u> 1.56	<u>0.67–11.58</u> 3.66	<u>1.80–32.95</u> 12.19	<u>1.41–105.77</u> 16.42	<u>1.24–146.32</u> 27.01	<u>1.32–51.50</u> 8.05	<u>1.04–25.73</u> 7.95
Nb	<u>0.07–15.04</u> 1.86	<u>0.04–0.30</u> 0.185	<u>0.07–0.86</u> 0.28	<u>0.22–4.00</u> 0.81	<u>0.08–15.27</u> 2.45	<u>0.21–13.06</u> 3.42	<u>0.08–2.36</u> 0.88	<u>0.03–4.45</u> 1.74
La	<u>0.00–35.12</u> 4.18	<u>0.14–0.48</u> 0.285	<u>0.28–12.21</u> 1.50	<u>0.34–8.53</u> 2.78	<u>0.50–25.53</u> 9.43	<u>0.90–16.65</u> 4.87	<u>1.48–8.14</u> 4.16	<u>0.67–13.64</u> 5.33
Ce	<u>0.17–75.00</u> 8.845	<u>0.38–0.80</u> 0.58	<u>0.75–26.35</u> 4.20	<u>0.63–28.73</u> 6.41	<u>2.15–62.32</u> 19.59	<u>3.07–13.86</u> 8.33	<u>3.20–27.63</u> 13.85	<u>1.20–30.57</u> 12.73
Pr	<u>0.02–8.05</u> 1.025	<u>0.04–0.14</u> 0.085	<u>0.07–3.13</u> 0.59	<u>0.05–3.78</u> 0.72	<u>0.15–10.07</u> 2.47	<u>0.26–5.11</u> 1.25	<u>0.23–2.60</u> 1.14	<u>0.16–3.13</u> 1.33
Nd	<u>0.11–30.18</u> 3.945	<u>0.19–0.48</u> 0.38	<u>0.17–11.42</u> 2.33	<u>0.20–12.51</u> 3.00	<u>0.64–28.26</u> 8.95	<u>0.93–21.23</u> 5.16	<u>1.33–12.62</u> 5.32	<u>0.66–11.29</u> 5.22
Sm	<u>0.06–6.42</u> 0.89	<u>0.06–0.23</u> 0.14	<u>0.04–3.13</u> 0.54	<u>0.07–2.33</u> 0.61	<u>0.16–10.03</u> 2.17	<u>0.23–4.53</u> 1.15	<u>0.28–3.42</u> 1.20	<u>0.17–2.20</u> 1.04
Eu	<u>0.01–1.09</u> 0.17	<u>0.01–0.08</u> 0.04	<u>0.08–1.27</u> 0.38	<u>0.04–0.54</u> 0.17	<u>0.07–7.96</u> 0.95	<u>0.08–0.54</u> 0.23	<u>0.06–0.93</u> 0.29	<u>0.06–0.46</u> 0.21
Gd	<u>0.07–5.26</u> 0.865	<u>0.07–0.19</u> 0.15	<u>0.07–4.10</u> 0.64	<u>0.09–2.96</u> 0.71	<u>0.21–12.05</u> 3.09	<u>0.31–4.41</u> 1.38	<u>0.38–5.10</u> 1.66	<u>0.28–2.55</u> 1.235
Tb	<u>0.01–0.83</u> 0.14	<u>0.01–0.04</u> 0.03	<u>0.00–0.62</u> 0.09	<u>0.02–0.41</u> 0.12	<u>0.03–8.19</u> 0.74	<u>0.04–0.62</u> 0.19	<u>0.05–0.73</u> 0.20	<u>0.04–0.31</u> 0.13
Dy	<u>0.07–4.97</u> 0.87	<u>0.03–0.25</u> 0.20	<u>0.04–4.66</u> 0.64	<u>0.11–3.46</u> 0.94	<u>0.16–13.53</u> 2.59	<u>0.22–3.74</u> 1.20	<u>0.28–4.69</u> 1.12	<u>0.22–1.68</u> 0.72
Ho	<u>0.02–0.96</u> 0.18	<u>0.02–0.09</u> 0.06	<u>0.01–0.90</u> 0.14	<u>0.02–0.90</u> 0.22	<u>0.03–9.03</u> 0.88	<u>0.04–0.79</u> 0.25	<u>0.05–1.07</u> 0.21	<u>0.04–0.31</u> 0.13
Er	<u>0.09–2.98</u> 0.53	<u>0.05–0.31</u> 0.18	<u>0.01–2.41</u> 0.435	<u>0.09–4.16</u> 0.76	<u>0.08–11.80</u> 1.73	<u>0.10–2.38</u> 0.68	<u>0.14–3.20</u> 0.59	<u>0.12–0.84</u> 0.37
Tm	<u>0.01–0.48</u> 0.08	<u>0.01–0.07</u> 0.03	<u>0.01–0.30</u> 0.06	<u>0.02–0.82</u> 0.12	<u>0.01–7.91</u> 0.59	<u>0.01–0.36</u> 0.10	<u>0.02–0.46</u> 0.08	<u>0.02–0.11</u> 0.05
Yb	<u>0.06–2.94</u> 0.48	<u>0.01–0.41</u> 0.22	<u>0.01–2.10</u> 0.41	<u>0.05–6.10</u> 0.78	<u>0.08–10.90</u> 1.59	<u>0.10–2.31</u> 0.64	<u>0.13–3.10</u> 0.55	<u>0.10–0.69</u> 0.33
Lu	<u>0.01–0.24</u> 0.07	<u>0.01–0.05</u> 0.03	<u>0.01–0.21</u> 0.06	<u>0.02–0.87</u> 0.10	<u>0.01–7.45</u> 0.56	<u>0.01–0.35</u> 0.10	<u>0.02–0.48</u> 0.08	<u>0.01–0.11</u> 0.05
Hf	<u>0.02–4.87</u> 0.70	<u>0.03–0.07</u> 0.05	<u>0.00–0.24</u> 0.08	<u>0.05–0.91</u> 0.32	<u>0.03–3.09</u> 0.47	<u>0.05–4.25</u> 0.70	<u>0.02–1.53</u> 0.23	<u>0.01–0.72</u> 0.21
Ta	<u>&lt;0.01–0.98</u> 0.15	<u>0.02–0.04</u> 0.03	<u>&lt;0.01–0.26</u> 0.04	<u>0.01–0.40</u> 0.08	<u>0.00–1.74</u> 0.24	<u>0.04–1.50</u> 0.36	<u>0.00–1.02</u> 0.10	<u>0.00–0.38</u> 0.13
Th	<u>0.04–16.37</u> 2.30	<u>0.03–0.19</u> 0.115	<u>0.04–1.44</u> 0.37	<u>0.11–1.92</u> 0.58	<u>0.27–15.53</u> 2.62	<u>0.05–12.01</u> 3.21	<u>0.08–2.24</u> 0.91	<u>0.13–5.28</u> 1.48

Примечание. 1–4 – скарны Николаевского (1) и Верхнего (2) полиметаллических, Дальнегорского боросиликатного (3) и Белогорского скарново-магнетитового (4) месторождений; 5–8 – метаморфизованные металлоносные осадки: марганцевосиликатные породы (5), железные руды (6) и яшмы (8) Широкопаднинской площади Ольгинского района, марганцевосиликатные породы Горной площади Малиновского рудного района (7). Содержания определены ИСП МС методом в лаборатории аналитической химии ДВГИ ДВО РАН (1–4) и в ХИАЦ ИТИГ (5–8). В скобках – число проб.



**Рис. 3.** Модельный возраст свинца галенита из руд скарново-полиметаллических и жильных оловянных, оловянно-полиметаллических (с серебром) и серебро-свинцово-цинковых (с Sn и Au) месторождений Таухинского и Журавлёвского террейнов. 1–9 – скарново-полиметаллические месторождения: Николаевское (1), Верхнее (2), Первое Советское (3), Партизанская группа (4), Восточный партизан (5), Второе Советское (6), Садовое (7), залежь Мартовская (8), Бородинское (9); 10–37 – жильные месторождения: Тигриное (10), Таборное (11), Голубое (12), Арминское (13), Дальнетаежное (14), Зимнее (15), Великое (16), Звездное (17), Ветвистое (18), Верхне-Молодежное (19), Ивановское (20), Ноябрьское (21), Смирновское (22), Встречное (23), Дальнее (24), Южное (25), Левицкое (26), Арсеньевское (27), Хрустальное (28), Высокогорское (29), Верхне-Цинковое (30), Силинское (31), Перевальное (32), Лево-Павловское (33), Нижнее (34), Рудное (35), Щербаковское (36), Фасольное (37).

отличается большим разбросом значений и, очевидно, в меньшей степени соответствует реальному времени накопления этого металла.

Обогащение Sn метаморфизованных металлоносных осадков и скарнов представляет особый интерес, обусловленный присутствием в перекрывающих Таухинский террейн вулканитах Восточно-Сихотэ-Алинского вулcano-плутонического пояса и в флишевых отложениях Журавлевского террейна оловянных, оловянно-полиметаллических и полиметаллических (с Ag, Sn и Au) жильных месторождений позднемелового-палеогенового возраста. Многие из них обогащены Mn и содержат разнообразные минералы этого элемента. Обогащение руд Sn и Mn наводит на мысль о заимствовании этих и других металлов из металлоносных триасовых отложений, погребенных под вулканитами и флишевыми отложениями. Однако модельный возраст Pb [7] (см. рис. 3) свидетельствует о двух периодах накопления, разделенных временем, соответствующим примерно раннему и большей части среднему триасу. Показательно, что раннетриасовые отложения (кроме оленекских в Дальнегорском районе) не обнаружены в триасовой кремневой формации. Отсутствие раннетриасового Pb в жильных месторождениях наводит на мысль о его заимствовании не из лагунных залежей, формировавшихся и в раннем триасе, а из обогащенных Pb (и, вероятно, органикой) осадков, образовавшихся в прилегающих к островам акваториях. Первый период накопления Pb в акваториях (начало карбона—конец перми) почти совпадает с периодом накопления в лагунах. Этот Pb при образовании жильных

месторождении заимствован из металлоносных осадков карбона—перми. Второй период, начавшийся сразу после завершения накопления Pb в лагунах, соответствует периоду образования триасовых металлоносных осадков прилегающих к островам акваторий. Этот Pb заимствован из металлоносных отложений триасовой кремневой формации Сихотэ-Алиня.

Таким образом, геологические данные, результаты сравнительного геохимического изучения метаморфизованных металлоносных осадков и скарнов и результаты изотопных исследований Pb свидетельствуют об определяющей роли процессов гипергенеза и осадконакопления в образовании скарновых месторождений Ольгинского и Дальнегорского рудных районов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 12–05–00396).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казаченко В.Т., Мирошниченко Н.В., Первозникова Е.В. и др. // ДАН. 2009. Т. 425. № 5. С. 651–655.
2. Ханчук А.И., Никитина А.П., Панченко И.В. и др. // ДАН. 1989. Т. 307. № 1. С. 186–190.
3. Салихов Д.Н., Беликова Г.И. // Геол. сб. Информ. материалы ИГ УНЦ РАН. 2007. № 6. С. 106–125.
4. Шмелев В.Р. // Литосфера. 2005. № 2. С. 41–59.
5. Xia B., Yu H.-X., Chen G.-W., et al. // *Geochem. J.* 2003. V. 37. P. 311–324.
6. Wood D.A. // *Earth and Planet. Sci. Lett.* 1980. V. 50. P. 11–30.
7. Ростовский Ф.И. // Тихоокеан. геология. 2005. Т. 24. № 2. С. 33–45.