

Б.Н. Абрамов

**ГЕОДИНАМИКА И БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНОЕ
ОРУДЕНЕНИЕ В ДОКЕМБРИЙСКИХ
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФОРМАЦИЯХ
КОДАРО-УДОКАНСКОЙ ЗОНЫ**

В пределах Кодаро-Удоканской структурной зоны среди докембрийских геологических формаций наличием благороднометалльного оруденения характеризуются медистые песчаники и черносланцевые отложения удоканского осадочного комплекса, а также базиты чинейского комплекса.

Рассмотрим геодинамические обстановки формирования и особенности распределения благородных металлов в геологических формациях Кодаро-Удоканской зоны.

Кодаро-Удоканская зона представляет собой покровно-надвиговое пластинчато-чешуйчатое складчатое сооружение, возникшее в результате древнейших континентальных и океанических спрединговых, субдукционных, обдукционных и коллизионных геодинамических процессов.

За более чем полувековую историю систематического изучения Кодаро-Удоканской зоны накопилось огромное количество публикаций по геологии этого региона. Большинство из них, в том числе широко известные сводки Л.И.Салопа, В.С.Федоровского определяют тектоническое строение цокольного комплекса как практически необращенный прогиб миогеосинклинального или протоплатформенного типа [1, 2]. Более поздние исследования показали, что структура синклинория имеет более сложное строение [3, 4, 5]. Выяснилось, что общепринятый нижнепротерозойский разрез удоканского осадочного комплекса несет в себе псевдостратиграфические элементы, меняющие все представления о природе Кодаро-Удоканского складчатого пояса. К элементам ложной стратиграфии относятся псевдоконгломераты, тектонические брекчии и конгломерато-брекчии. Эти породные ассоциации фикси-

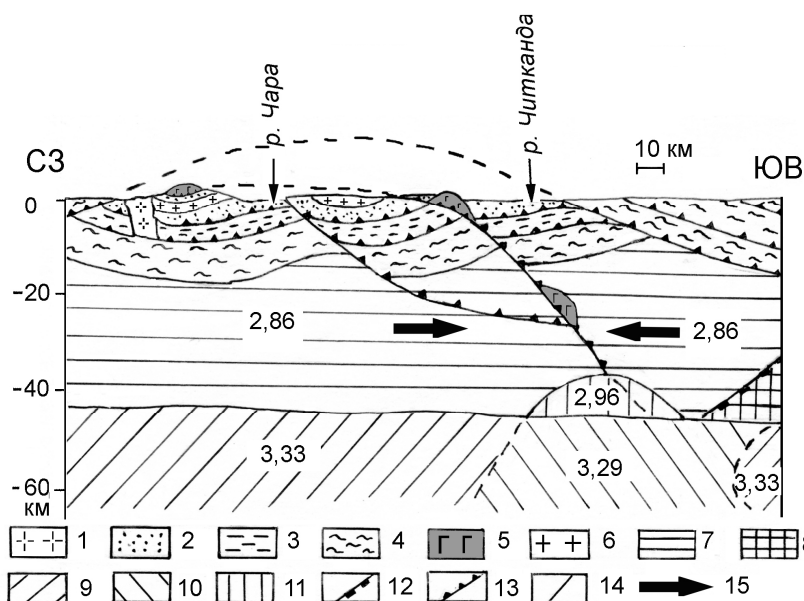


Рис. 1. Схема глубинного строения Кодаро-Удоканской зоны: 1 – граниты ингамитского комплекса (PZ_3); отложения удоканского осадочного комплекса; 2 – кеменской серии, 3 – чинейской серии; 4 – архейские отложения (сланцы, гнейсы); 5 – базиты чинейского комплекса (PR_1); 6 – граниты кодарского комплекса (PR_1); 7 – нерасчлененные раннедокембрийские гранулит-базитовые образования; 8 – гетерогенные образования Станового складчатого пояса; 9 – нормальная мантия; 10 – разогретый астенослит (аномальная мантия); 11 – участок земной коры повышенной плотности за счет внедрения основных и ультраосновных интрузий; 12 – Становой структурный шов; 13 – надвиги; 14 – тектонические нарушения; 15 – направления движения тектонических блоков земной коры. Цифрами на разрезе указаны плотности пород $г/см^3$. Построено с использованием данных [6, 7, 8]

руют разнопорядковые, разноамплитудные и разноглубинные тектонические покровы и надвиги, возникшие при столкновении Сибирского и Алдано-Станового континентов (рис. 1). Чешуйчато-надвиговые сооружения, сформированные в результате коллизии, представлены серией тектонических пакетов, сложенных литологическими разновидностями, принадлежащими первоначально различным уровням нормального стратиграфического разреза. Мощность отдельных чешуй составляет 1-1,5 км. Крупные первоначальные тектонические пластины, в пределах которых представле-

на возможность судить о первичных литолого-фациальных особенностях пород, достигают вертикальной мощности нескольких километров.

Наиболее часто на границах тектонических чешуй образуются зоны смятия с развитием изоклиальной складчатости, а осадочные породы преобразуются в динамометаморфические сланцы. Метаморфизм сланцев падает по мере удаления от сместителей. Породы вблизи сместителей превращены в андалузит-силлиманитовые и кианит-андалузит-силлиманитовые сланцы. Максимальная степень метаморфизма (до высоких субфаций амфиболитовой фации) выявляется в нижних членах крупных чешуйчатых пакетов, минимальная (зеленосланцевая фация) – в верхних фрагментах структур. Подобная картина наблюдается во многих местах Кодаро-Удоканского раннепротерозойского аккреционно-коллизийного пояса [5]. Доказательством таких взаимоотношений архейского и раннепротерозойского тектонических комплексов являются многочисленные выходы динамометаморфитов удоканского комплекса, аналогичных таковым внутри синклинория как вблизи современной границы этой структуры, так и на удалении в десятки километров от них (бассейн среднего течения р. Калар). Расположение архейских и раннепротерозойских структур по вертикали и по латерали позволяет допускать в составе шарьяжно-надвиговой системы не менее 4-5 парааллохтонных и паравтохтонных пластин (рис. 1).

Важным для реконструкции геодинамической обстановки в этот период и датировки изменения геодинамического режима является обнаружение в граувакках верхов читкандинской свиты мельчайших (50-80 мкм) неокатанных зерен цирконов с убедительными признаками их вулканической природы. Возраст цирконов по изотопному соотношению Pb^{207}/Pb^{206} составляет 2180 ± 50 млн. лет [9]. Это означает, что начало субдукции, развитие глубинных надвигов и становление вулканической дуги, глубинными их аналогами являются рапакивиподобные гранитоиды кодарского комплекса, относятся к более раннему времени.

Значимыми, для установления геодинамической обстановки, являются находки в кислых эффузивах пуддингового горизонта сакуканской свиты медной минерализации. По петрохи-

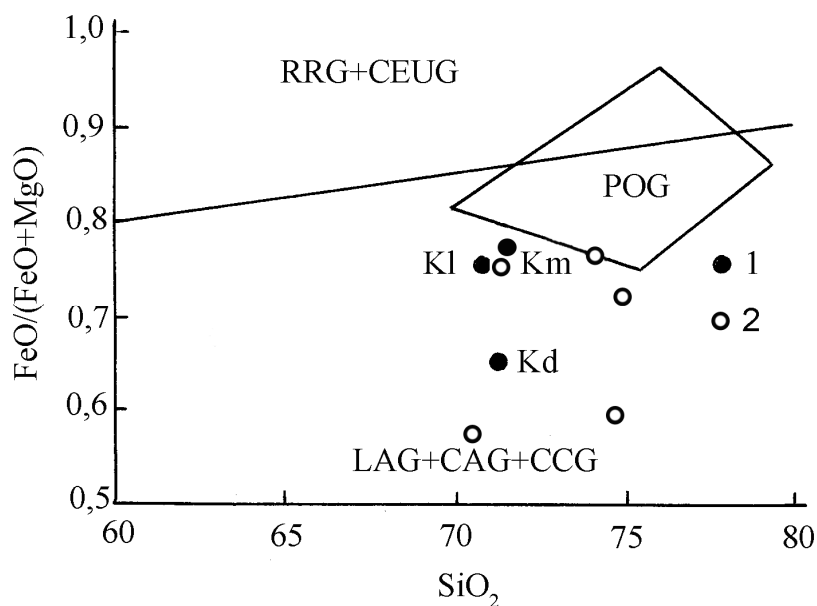


Рис. 2. Диаграмма $\text{FeO}/(\text{FeO}+\text{MgO}) - \text{SiO}_2$, демонстрирующая геодинамические обстановки образования галек кислых эффузивов сакуканской свиты и гранитов кодарского комплекса: RRG – граниты, связанные с рифтами, CEUG – гранитоиды континентальных эпирогенных поднятий, POG – посторогенные граниты, LAG – гранитоиды островных дуг, CAG – гранитоиды континентальных дуг, CCG – гранитоиды обстановок континентальной коллизии; 1 – граниты кодарского комплекса (гранитные массивы: Kd – кодарский, Km – кемнский, K1 – каларский), 2 – кислые эффузивы пудингового горизонта сакуканской свиты

мическим особенностям данные эффузивы соответствуют островодужным образованиям (рис. 2).

Это подтверждается значениями индекса ASI колеблющиеся от 0,85 до 1,02, что соответствует их образованию в островодужной обстановке [$\text{ASI} = \text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO})$].

Становление рапакивиподобных гранитов кодарского комплекса произошло в промежутке $1876 \pm 4,2$ млн. лет [10]. При их становлении ослабленные зоны сместителей тектонических покровов и надвигов с глубинными корнями были задействованы как подводящие каналы, так и локализаторы мощных интрузивных залежей. Это подтверждается плитообразным строением интрузий кодарского комплекса, в подовше и кровле которых в большинстве

случаев залегают отложения удоканского осадочного комплекса [2]. В геодинамическом аспекте процесс формирования рапакивидных гранитов охватывает субдукционный и континентально-коллизионные этапы. На поздних стадиях коллизионного орогенеза произошли процессы обдукции расслоенных габброидов чинейского комплекса.

Сутурные зоны, связанные с раннепротерозойским столкновением Сибирской и Алданской литосферных плит в регионе не выявлены. Особенности строения и частично расшифрованной истории геодинамического развития Кодаро-Удоканской зоны дают основание говорить, что признаки их существования сутурной зоны следует искать в тылу Кодаро-Удоканского аккреционно-коллизионного пояса, на восточном его продолжении.

Анализ петрохимических особенностей терригенных отложений удоканского осадочного комплекса свидетельствуют о том, что псаммиты нижних частей его разреза были сформированы в обстановке активной континентальной окраины, псаммиты верхних частей разреза – в обстановке пассивной континентальной окраины [11].

Анализ имеющегося материала предполагает следующую последовательность формирования отложений удоканского осадочного комплекса (табл. 1, рис. 3). В раннем протерозое широко проявились коллизионные процессы, связанные со столкновением Сибирского кратона с Алдано-Становымконтинентальным блоком [15, 16]. На начальных ранних этапах столкновения в зоне субдукции превалировало образование вулканитов основного состава, на поздних этапах – кислого. За счет размыва пород основного состава в значительной степени шло образование отложений чинейской серии (стадия Б, рис. 3). На более поздней стадии происходило формирование меденосных вулканитов кислого состава, за счет выветривания которых, происходило формирование меденосных отложений кеменской серии. На заключительных стадиях коллизионного процесса по линиям глубинных надвигов базиты чинейского комплекса были надвинуты на континентальные образования. В раннем рифее произошло закрытие моря, значительная часть отложений удоканского осадочного комплекса была перекрыта тектоническими покровами [5]. В позднем рифее в ре-

Таблица 1

Геодинамические комплексы Кодаро-Удоканской

зоны и слагающие их формации

Коллизионные геодинамические комплексы				Континентальные рифтогенные комплексы
Активной окраины		Пассивной окраины	Заключительные стадии коллизии	
Вулканическая дуга	задуговые окраинные моря	Задуговые окраинные моря		
Раннепротерозойский этап				
вулканиты основного и кислого составов, в том числе меденосные (2180 ± 50 млн. лет) [9] (субдуцированные)	флишоидные отложения чинейской серии, в том числе черносланцевые (2,3-2,6 млн. лет) [12].	терригенно-карбонатные отложения кеменской серии, в том числе меденосные	граниты кодарского комплекса (1876 ± 4,2 млн. лет) [10], базиты чинейского комплекса (обдукционные)(1867 млн. лет) [13]	
Позднепротерозойский этап				
				базиты доросского комплекса (1540-1200 млн. лет)[14]

зультате континентального рассеянного спрединга были образованы дайки и силлы доросского комплекса [17].

Первичные концентрации благородных металлов в докембрийских геологических формациях определяются геодинамическими их обстановками формирования. При последующих процессах, на определенных участках, благородные металлы были перераспределены, локализованы в процессе становления палеозойско-мезозойских интрузивных комплексов.

В геологических формациях выделяются следующие этапы образования благородных металлов: в черносланцевых отложениях – океанический → коллизионный, в медистых песчаниках – субдукционный → коллизионный, в базит-гипербазитовых интрузиях – субдукционный → обдукционный. Распределение благородных металлов в них полимодальное, отражающее все стадии их образования.

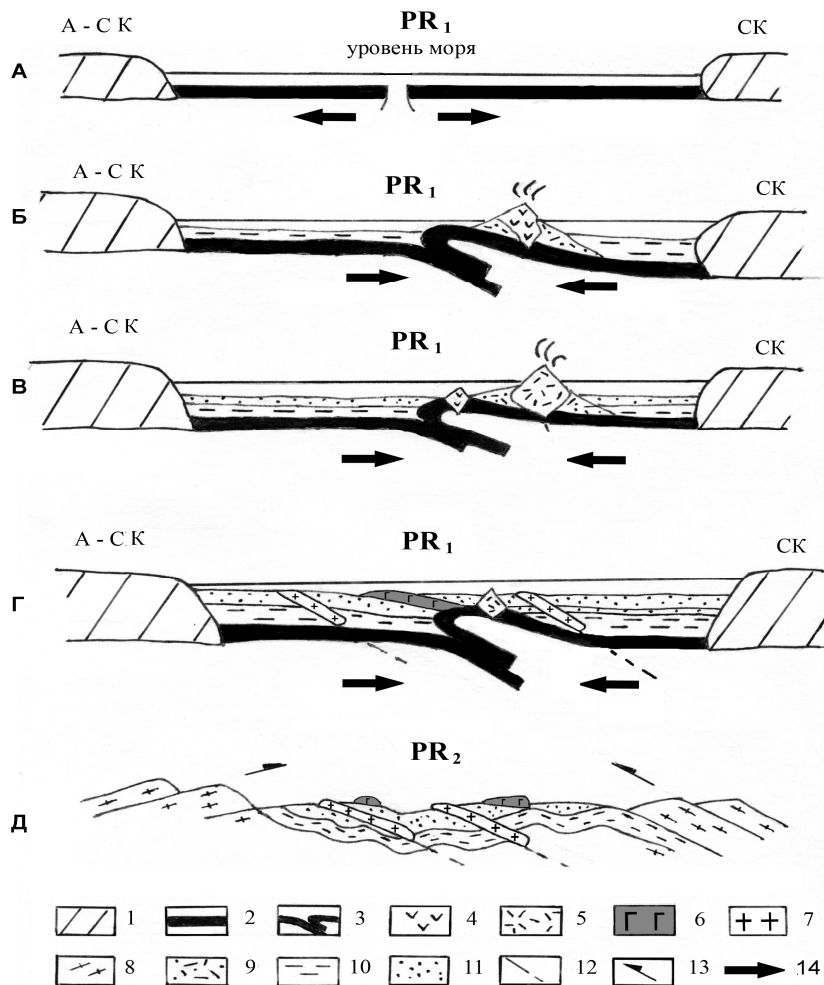


Рис. 3. Схема предполагаемого развития Кодаро-Удоканской складчатой зоны:
 1 – континентальная кора, 2 – океаническая кора, 3 – зона спрединга, 4 – эффузивы основного состава, 5 – эффузивы кислого состава, 6 – габброиды чинейского комплекса (PR₁), 7 – граниты кодарского комплекса (PR₁), 8 – архейские сланцы, гнейсы, 9 – вулканогенно-оса-дочные отложения, 10 – отложения флишевой формации, 11 – отложения молассовой формации, 12 – тектонические нарушения, 13 – границы тектонических покровов, 14 – направления движения тектонических блоков. А-Д – стадии развития удоканского осадочного комплекса. А-С К – Алдано-Становой континентальный блок, С К – Сибирский континент

В породах черносланцевой формации в океанический этап шло формирование металлоносных флишеидных отложений в относительно глубоководных условиях (икабийская, аянская, инырская и низы читкандинской свиты). Образование черносланцевых отложений в значительной степени происходило за счет привноса терригенного материала, представленных породами основного и ультраосновного составов. Вероятнее всего это были примитивные островные дуги. Sm-Nd изотопно-геохимические исследования показали возраст данных отложений 2,3-2,6 млрд. лет [12]. Черносланцевые отложения данного времени представлены главным образом биотит-серицит-кварцевыми, графит-серицит-кварцевыми сланцами с послонными рудными слоями мощностью до нескольких сантиметров. Сланцы с рудными слоями сгруппированных в пачки мощностью до нескольких десятков метров. Протяженность их по латерали достигает до нескольких километров. Рудные минералы в данных слоях представлены: пирротин (80-90 %), ильменитом (до 10 %), реже – халькопиритом, пиритом, сфалеритом, галенитом, арсенопиритом и др.

В коллизионный этап в результате регионального сжатия происходило образование изоклинальной складчатости, внедрение гранитов кодарского комплекса, формирование в пределах черносланцевых толщ золотоносных кварцевых жил. В пределах черносланцевых отложений повышенными содержаниями рудных элементов характеризуются сульфидизированные участки пород и сульфидно-кварцевые, образованные в результате деформации пород и образования складок изгиба (табл. 2). Источниками рудных элементов, в том числе благородных металлов в сульфидно-кварцевых жилах служили вмещающие их черносланцевые отложения. Так, в Кодаро-Удоканской зоне примером этому служат золоторудные проявления “Икабья” и “Каменный”. Возраст рудоносных кварцевых жил по соотношениям изотопов свинца составляет 1800 млн. лет (Кошелев, 1993 г.). В процессе исследований установлено, что максимальные содержания золота в жилах достигает 14 г/т. Размер золотинок достигает 1 мм.

Кластерный анализ в черносланцевых отложениях с рудными слоями выявил тесную корреляционную связь золота с двумя группами элементов: литофильными + сидерофильными (Y, Yb, V, Co) и халькофильными (Ag, Bi, Mo, Cu, Sn).

Таблица 2

**Средние содержания благородных металлов в породах
черносланцевого комплекса Кодаро-Удоканской зоны, г/т**

Золото			Серебро			Палладий		
п	х	s	п	х	s	п	х	s
Сланцы безрудные								
61	0,09	0,15	30	1,94	3,61	6	0,0002	0,0002
Сланцы сульфидизированные								
46	0,12	0,25	25	4,06	5,22	5	0,0005	0,0006
Сульфидно-кварцевые жилы								
46	0,28	0,63	4	32,8	46,9	4	0,0002	0,0002

п – число анализов, х – среднее арифметическое, s – стандартное отклонение.
Содержания Au и Ag определялось пробирным методом, Pd – химико-спектральным методом

Таблица 3

**Средние золота в различных типах руд
Удоканского месторождения, мг/т**

Типы руд	п	х	s
Борнит-халькозиновые слойки	19	0,02	0,03
Зоны дробления, сцементированные рудными минералами	19	0,06	0,04
Рудоносные кварцевые жилы	17	0,09	0,22
Метаморфогенные рудные жилы	18	0,11	0,09

п – число анализов, х – среднее арифметическое, s – стандартное отклонение

В медистых песчаниках удоканского комплекса выделяются следующие этапы образования благородных металлов: субдукционный → коллизионный. В субдукционный этап происходило образование медистых песчаников с благороднометалльной минерализацией. В коллизионный этап произошли процессы складкообразования, дробления локальных участков пород. При последующих тектоно-метасоматических процессах произошло образование метаморфогенных рудных и кварцевых жил с медной минерализацией. Анализ распределения золота в медистых песчаниках Удоканского месторождения свидетельствует о следующей последовательности изменения его концентраций: меденосные рудные слои → локальные зоны дробления пород → кварцевые жилы с медной минерализацией → метаморфогенные рудные жилы (табл. 3).

В коллизионный этап происходило складкообразование. С этим же этапом связано образование послонных и секущих зон

дробления [18]. При пересечении их меденосных горизонтов в элементах зон дробления развиваются медные минералы. В последующем на стадиях метаморфогенного преобразования пород происходило формирование метаморфогенных рудных жил, представленных в основном борнитом и халькозином, а также кварцевых, кварцево-карбонатных жил с медной минерализацией.

В базитовых интрузиях чинейского комплекса выделяются следующие этапы формирования золотого оруденения: субдукционный → обдукционный. Начальные стадии образования базитов чинейского комплекса связано с процессами субдукции Сибирского кратона с Алдано-Становым континентальным блоком. На конечных стадиях коллизионных процессов базитовые пластины по линиям пологих тектонических нарушений были надвинуты на континентальные образования. В пользу этого свидетельствует следующее:

1) наличие в приподовшенной части чинейского массива шовой зоны надвига, представленного автокластическим меланжем прослоями псевдотахилитов, образование которых обусловлено трибохимическими реакциями [8]; 2) отсутствие “горячих контактов” базитов чинейского комплекса с вмещающими породами; 3) тектоническая расслоенность Алдано-Станового геоблока, составной частью которой является Кодаро-Удоканская зона [19]. Абсолютный возраст габброидов чинейского комплекса, определенный U-Pb методом, составляет 1867 млн. лет [13].

В габброидах чинейского комплекса повышенными содержаниями золота характеризуются сульфидизированные участки пород, титаномагнетитовые горизонты с рассеянной вкрапленностью сульфидов, а также кварцевые жилы с сульфидной минерализацией и минерализованные тектонические зоны (табл. 4).

Образование титаномагнетитовых горизонтов и зон сульфидной минерализации связано с процессами становления габброидных массивов сформировавшихся в ходе субдукции. Образование кварцевых жил и зон тектонических нарушений произошло вследствие последующих коллизионных процессов. По данным А.В.Татарина сульфидизированные участки пород

Таблица 4

Средние содержания благородных металлов в базитах чинейского комплекса, г/т

Типы пород	Золото	Серебро
------------	--------	---------

	n	x	s	n	x	s
Габбронориты безрудные	66	0,03	0,05	16	1,5	1,3
Титаномагнетиты с сульфидной вкрапленностью	18	0,20	0,36	10	2,2	1,8
Зоны сульфидной вкрапленности в базитах	29	0,23	0,56	17	2,1	1,9

Чинейского габброидного массива пространственно приурочены к подовшенным частям зон автокластического меланжа [8]. Мощность зон сульфидизации достигает 20 м, протяженность – до 60 м. Основными рудными минералами являются халькопирит и пирротин, реже отмечаются пирит, ильменит, сфалерит, пентландит и др.

Повышенными содержаниями благородных металлов в породах чинейского комплекса характеризуются титаномагнетитовые горизонты с рассеянной вкрапленностью сульфидов, зоны сульфидной вкрапленности, а также кварцевые жилы с сульфидной минерализацией (табл. 4).

Кластерный анализ в безрудных и сульфидизированных габброидах чинейского комплекса выявил тесную связь золота преимущественно с рядом сидерофильных и литофильных элементов (Co, Ni, Ti, V), что свидетельствует о глубинном мантийном источнике золота. В сульфидизированных титаномагнетитах отмечается тесная связь золота в основном с халькофильными элементами (Cu, Bi, Ag), что указывает на коровый источник золота.

Таким образом, формирование докембрийских геологических формаций Кодаро-Удоканской зоны происходило в результате коллизионных процессов в обстановках: активной и пассивной континентальных окраин, спрединговых и обдукционных условиях. В геологических формациях в распределении благородных металлов отмечается стадийность их локализации. Наибольшие содержаниями благородных металлов характеризуются породы, претерпевшие все этапы тектонических преобразований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Салон Л.И. Геология Байкальской горной области. М. Недра. 1967. 1210 С.
2. Федоровский В.С. Стратиграфия нижнего протерозоя хребтов Кодар и Удокан. М, Наука, 1972, 130 С.

3. Бурмистров В.Н. О генезисе крупнообломочного материала кеменской подсерии удоканского комплекса Восточной Сибири // Доклады Академии Наук СССР. 1989. Т.304. №5. С. 1201-1204.
4. Фалькин Е.М. Геодинамическое моделирование докембрийских субдукционных зон как основа качественно регионального металлогенического анализа и прогноза оруденения в северном Забайкалье. В сб. Металлогения и прогноз полезных ископаемых. Чита. 1986. С.49-51.
5. Фалькин Е.М., Абрамов Б.Н. Стратиграфические и псевдостратиграфические элементы в традиционном разрезе удоканской серии как отражение смены протерозойских геодинамических обстановок на северной границе раннего Тетиса (хребты Кодар и Удокан, Восточная Сибирь). Материалы 3-го Всероссийского литологического совещания. М. Изд-во МГУ. 2003. С.161-164.
6. Зорин Ю.А., Новоселова М.Р., Рогожина В.А. Глубинное строение и прогнозная сейсмичность центральной части БАМ. Геологические и сейсмические условия района БАМ, Новосибирск, Наука, 1978, С.84-94.
7. Лишневский Э.Н., Бескин С.М. Структурно-геологическая позиция редкометалльных гранитов по геофизическим данным // Геология рудных месторождений, 1993, №6, С.481-493.
8. Татаринов А.В., Яловик Л.И., Четкин В.С. Динамометаморфическая модель формирования расслоенных массивов основных пород (на примере Чинейского в Северном Забайкалье). Новосибирск. Наука. 1998. 120 С.
9. Бережная Н.Г., Бибикова Е.В., Сочава А.В., Кирнозова К.И., Макаров В.И., Богомолов Е.С. Изотопный возраст чинейской подсерии удоканской серии // Доклады Академии Наук СССР, 1988, Т.302, № 5, С.1209-1212.
10. Ларин А.М., Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Ковач В.П., Макарьев Л.Б., Тимашков А.Н., Бережная Н.Г., Яковлева С.З. Новые данные о возрасте гранитов кодарского и тукурингского комплексов, Восточная Сибирь: геодинамические следствия // Петрология, 2000, т.8, №3, С.267-279.
11. Абрамов Б.Н. Геодинамические режимы формирования отложений удоканского комплекса // Доклады Академии Наук, 2004, Т.398, №4, С. 510-512.
12. Подковыров В.П., Котов А.Б., Ларин А.М., Котова Л.Н., Ковач В.П., Загорская Н.Ю. Источники и области сноса раннепротерозойских терригенных пород удоканской серии южной части Кодаро-Удоканского прогиба: результаты Sm-Nd изотопно-геохимических исследований // Доклады Академии Наук, 2006, т.408, №2. С.223-227.
13. Терлеев А.А., Постников А.А., Кочнев Б.Б., Наговицин К.Е., Гражданкин Д.В., Станевич А.М. Раннепротерозойская биота удоканской серии западной части Алданского щита (Россия) в кн. Эволюция биосферы и биоразнообразие. К 70-летию А.Ю.Розанова. М, 2006, Т-во научных изданий КМК, 600 с.
14. Свириденко В.Т., Тереньтьев В.М. Магматическая эволюция и плутономагматические формации Кодаро-Удоканского района в связи с его металлогенностью // Труды ВСЕГЕИ. Нов. Серия, 1978, Т.302. С.21-25.
15. Гусев Г.С., Хаин В.Е. О соотношениях Байкало-Витимского, Алдано-Станового и Монголо-Охотского террейнов (юг средней Сибири) // Геотектоника. 1995. №5. С.68-82.

16. Добрецов Н.Л., Булгаков А.Н. Геодинамическая карта Забайкалья (принципы составления и легенда). Препринт №8. Новосибирск. 1991.
17. Абрамов Б.Н. Геодинамический режим формирования осадочных и интрузивных комплексов пород Кодаро-Удоканской зоны/ Известия Вузов "Геология и разведка", 2004, №6, С.15-19.
18. Богданов Ю.В., Кочин Г.Г., Кутырев Э.И., Парадеева Л.М., Травин Л.В., Трифонов Н.П., Феоктистов В.П. Медистые отложения Олекмо-Витимской горной страны. Л. Недра. 1966. 386 С.
19. Стогний В.В., Стогний Г.А. Тектоническая расслоенность Алдано-Станового геоблока. Новосибирск. Наука. 1997. 151 с.

Коротко об авторах

Абрамов Баир Намжилевич – кандидат геолого-минералогических наук, докторант ЧитГУ, старший научный сотрудник Института природных ресурсов экологии и криологии СО РАН, г. Чита.



© С.А. Абушкевич, 2007

УДК 553.411 (571. 54/55)

С.А. Абушкевич

**СВЯЗЬ НАДВИГОВЫХ СТРУКТУР С ЗОЛОТОРУДНОЙ
МИНЕРАЛИЗАЦИЕЙ НА ПРИМЕРЕ
ХОЛОЖДИКАНО-ИЛИЧИНСКОЙ РУДНОЙ ЗОНЫ**