

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 553.434(571,55)

НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ПРОИСХОЖДЕНИЕ МЕДИСТЫХ ПЕСЧАНИКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УДОКАН

В.К.Немеров¹, А.Е.Будяк², Э.А.Развозжаева³, В.А.Макрыгина⁴, А.М.Спиридонов⁵

Институт геохимии СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а.

В результате региональных исследований территории Кодаро-Удоканского прогиба, а также комплексного изучения пород и руд месторождения Удокан предлагается сценарий его формирования, основой которого является инфильтрационно-эпигенетическая модель. Согласно представлениям авторов, основная роль в процессе рудообразования принадлежит металлоносным углеродистым веществам (битумоиды, нефти), возникшим в углеродистых осадках кевактинской серии на этапе катагенетических преобразований. *Ключевые слова:* углеродистое вещество, битумоид, катагенез, рудогенез.

Библиогр.33 назв. Ил.6. Табл.1.

A NEW VIEW ON THE ORIGIN OF CUPRIFEROUS SANDSTONES OF UDOKAN DEPOSIT

V.K. Nemerov, A.E. Budyak, E.A. Razvozhzaeva, V.A. Makrygina, A.M. Spiridonov

Institute of Geochemistry of Siberian Department of Russian Academy of Sciences,
664033 1a Favorskii St., Irkutsk.

As a result of regional researches of the territory of the Kodar-Udokanskii deflection, and also a complex studying of rocks and ores of the Udokan deposit, the scenario of its formation the basis of which is infiltration and epigenetical model is offered. According to authors' ideas the dominant role in the process of ore-formation belongs to metal-bearing carbonaceous substances (bitumoids, oils), originated in carbonaceous deposits of Kevaktinskaya series at the stage of katagenetic transformations. *Keywords:* carbonaceous substance, bitumoid, katagenesis, ore-formation.

33 sources. 6 figures. 1 table.

¹Немеров Владимир Кузьмич – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник.

Nemerov Vladimir Kuzmich – a candidate of geological and mineralogical sciences, a senior research worker.

²Будяк Александр Евгеньевич – младший научный сотрудник. Тел.: (3952) 42-26-45, факс: (3952) 42-70-50.

Budjak Alexander Evgenjevich – a junior research worker phone: (3952) 42-26-45, fax: (3952) 42-70-50.

³Развозжаева Элла Алексеевна – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник.

Razvozhzaeva Ella Alekseevna - a candidate of geological and mineralogical sciences, a senior research worker.

⁴Макрыгина Валентина Алексеевна – доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник.

Makrygina Valentina Alekseevna – a doctor of geological and mineralogical sciences, a senior research worker.

⁵Спиридонов Александр Михайлович – доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник. E-mail:sam@igc.irk.ru

Spiridonov Alexander Mihajlovich – a doctor of geological and mineralogical sciences, a senior research worker.

Вопрос генезиса гигантского месторождения меди Удокан, интересующий специалистов с момента его открытия в 1949 г., до сих пор остаётся остро дискуссионным. На сегодняшний день существует несколько точек зрения на генезис данного месторождения, основные разногласия которых сводятся к вопросам источника рудного компонента и механизма его концентрирования. Версии эндогенного источника руды объединяют несколько генетических типов: гидротермально-магматогенно-метасоматический [25; 2]; рифтогенно-флюидный [26]; гидротермально-осадочный [27]. Перечисленные гипотезы предполагают, что рудное вещество поступало с глубинным флюидом и отлагалось в благоприятной среде. Гипотезы, опирающиеся на использование поверхностного источника меди: собственно осадочная гипотеза, как результат переотложения рудного и сопутствующих компонентов метаморфизованных толщ архея со стороны Алданского щита [12; 18]; и водородная гипотеза [3], заключающаяся в том, что источником рудного вещества являются красноцветные прибрежные фации морских отложений, образовавшиеся под влиянием поверхностных кислородсодержащих вод.

В результате изучения территории Кодаро-Удоканского прогиба с региональных позиций [16; 20], а также проведения комплексных исследований пород и руд рассматриваемого месторождения появились новые аналитические данные, позволяющие взглянуть на проблему его формирования несколько под другим углом.

Геологическое строение Кодаро-Удоканской структурно-формационной зоны

В пределах Байкальской горной области [11] и в Кодаро-Удоканской

структурно-формационной зоне выделяются несколько углеродистых толщ раннепротерозойского возраста, которые, по сути, являются единой углеродисто-терригенной формацией, возникшей, скорее всего, в условиях эпикратонного рифтогенного морского бассейна (рис. 1). На Тонодском поднятии они представлены албазинской и михайловской свитами, на Нечерском – чуйской толщей и ходоканской свитой, а в Кодаро-Удоканской структурно-формационной зоне – отложениями кодарской серии (икабийская, аянская и, по-видимому (?), инырская свиты). Нами они относятся к кевактинской углеродисто-терригенной формации (рис. 2). В пределах Тонодского и Нечерского поднятий породы представлены гнейсами, метапесчаниками, метаалевролитами и филлитовидными хлорит-серицитовыми углеродистыми сланцами, вмещающими пластовые тела metabазитов кевактинского комплекса [5].

Исследуемое месторождение Удокан находится в зоне развития нижепротерозойских образований в пределах Удоканского синклиория (прогиба), относящегося к крупной Кодаро-Удоканской структурно-формационной зоне. Главная роль в пределах рассмотренной территории принадлежит карбонатно-терригенному удоканскому комплексу, занимающему основную ее часть. Образования комплекса делятся на четыре крупные литолого-стратиграфические единицы (серии): джалтуктинскую, кодарскую, чинейскую и кеменскую.

Кодарская серия развита преимущественно в южных частях прогиба, имея тектонические соотношения с джалтуктинской серией. В разрезе кодарской серии выделяются икабийская, аянская и инырская свиты. Эти отложения формировались в условиях дистального шельфа и материкового склона.

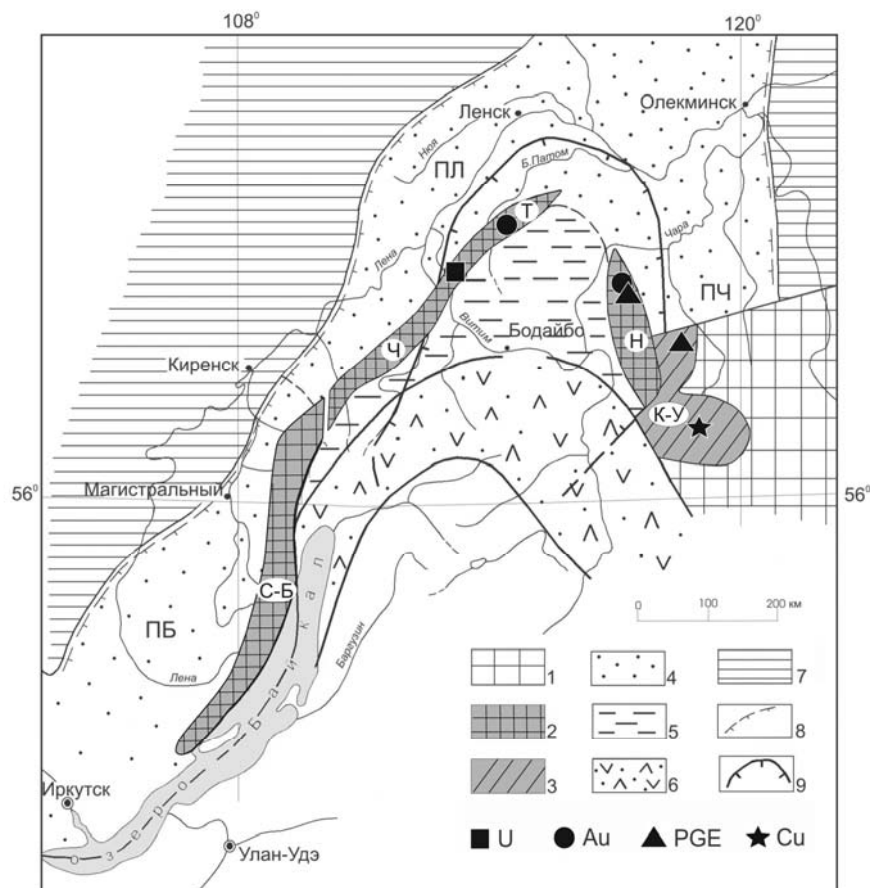


Рис. 1. Схема структурно-формационного районирования Байкальской горной области (БГО) (по материалам [22] с добавлениями): 1 - дорифейские образования фундамента Сибирской платформы; 2 – выступы дорифейского фундамента в БГО: С-Б – Северо-Байкальский вулканоплутонический пояс, Ч – Чуйский, Т – Тонодский, Н – Нечерский; 3 – Кодаро-Удоканская структурно-формационная зона; 4-6 – рифейские структурно-формационные зоны: 4 – внешняя – Прибайкальская (ПБ), Приленская (ПЛ), Причарская (ПЧ); внутренние: 5 – Мамско-Бодайбинская, 6 – Байкало-Муйская; 7 – фанерозойские отложения чехла Сибирской платформы; 8 – северная граница накопления рифейских образований; 9 – границы Ленского золотоносного района

Икабийская свита сложена метапесчаниками и метаалевролитами от темно-серой до черной окраски с тонко-распыленным углеродистым веществом и сульфидной минерализацией. Мощность 1000 м. Аянская – представлена тонким ритмичным переслаиванием темно-серых алевролитов, песчаников и черных филлитовидных сланцев мощностью 500 – 1000 м. Характерно присутствие текстур взмучивания и подводных оползней. В составе инырской свиты преобладают серые, лилово-серые, иногда черные песчаники. Мощность 120-600 м.

Рудная минерализация исследуемых углеродистых отложений представлена в основном пиритом, халькопиритом, пирротинном, молибденитом, сульфидом никеля. Элементный состав минерализации представлен рядом элементов (Cu, Co, Ni, V, Mo, Ag, U, Pt, а также As).

Высокоуглеродистые метаалевролиты и метааргиллиты обладают повышенной платиноносностью, с содержаниями ЭПГ в единичных пробах, достигающими 0,0n - 0,n г/т.

Кодаро-Удоканский прогиб [5; 29]

Тоновское поднятие

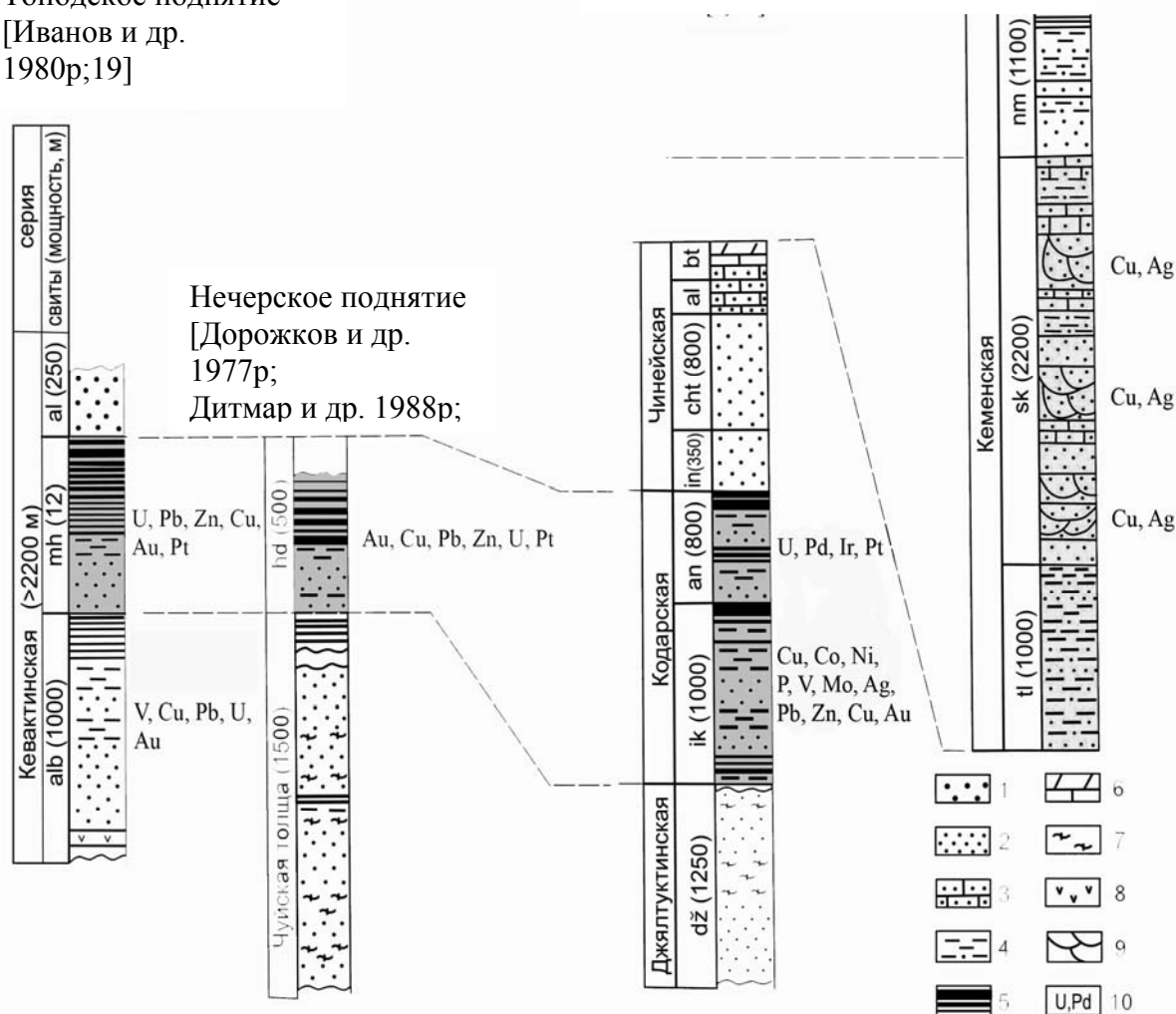
[Иванов и др.
1980р;19]

Рис. 2. Схема сопоставления и металлогеническая характеристика разрезов кевактинской нижнепротерозойской углеродисто-терригенной формации (Байкальской горной области): 1 – конгломераты, гравелиты; 2 – метапесчаники; 3 – песчаники известковистые; 4 – алевросланцы, алевропесчаники; 5 – сланцы черные углеродистые; 6 – карбонатные породы; 7 – парагнейсы; 8 – метабазиты; 9 – косая слоистость; 10 – металлогеническая специализация углеродистых толщ. Свиты: alb – албазинская; mh – михайловская; al – александровская; hd – ходоканская; ik – икабийская; an – аянская; in – инырская; cht – читкандинская; bt – бутунская; tl – талаканская; sk – сакуканская; nm – намингинская.

Примечание: р – рукописные работы

Углеродистые породы удоканского комплекса выделяются как один из платиноносных уровней Урага-Холболокского рудного узла, с которым связаны Холболокское, Графитовое, Бортовое и другие Pd-Ir-Pt проявления [14].

Терригенные и карбонатно-терригенные красноцветные отложения прибрежных и дельтовых фаций, расположенные на одном стратиграфическом

уровне с отложениями кодарской серии, а также находящиеся выше по стратиграфической вертикали, часто являются меденосными. В этой связи представляется целесообразным кратко охарактеризовать толщи Кодаро-Удоканского прогиба, вмещающие медное оруденение на Удоканском месторождении.

Чинейская серия залегает на отложениях кодарской серии и распространена значительно шире последней (см.

рис. 2). Она расчленена на читкандинскую, александровскую и бутунскую свиты. Читкандинская свита сложена зеленоватыми известковистыми, слюдистыми и светло-серыми до белых кварцитовидными метапесчаниками. *Отмечаются медистые песчаники, а также вкрапленность пирита и пирротина.* Мощность от 95-300 до 1000-1500 м. Главными породами александровской свиты являются лиловато-серые и серые тонко-, реже мелкозернистые метапесчаники, обладающие повышенной известковистостью с выдержанным горизонтом кварцитов в кровле. Среди кварцитов и песчаников отмечаются стратифицированные слои и линзы мощностью до 1-2 м, обогащенные углеродистым веществом. Мощность свиты 160-220 м. Бутунская свита отличается от александровской наличием мраморизованных известняков и альбитсодержащих пород. Мощность 220 м и более. В александровской и бутунской свитах также отмечаются горизонты медистых песчаников и алевролитов с незначительными содержаниями углеродистого вещества.

Кеменская серия, имеющая наибольшее распространение и слагающая крупные синклинальные структуры прогиба, представлена талаканской, сакуканской и намингинской свитами. Главной чертой талаканской свиты является ее алевролит-аргиллит-песчаниковый состав и структурно-текстурные признаки мелководных отложений. Песчаники светло-серого и серого цвета, иногда известковистые. Мощность свиты колеблется от 400 до 1600 м. Сакуканская свита характеризуется наличием горизонтально- и косослоистых песчаников, нередко известковистых и часто содержащих тонкие мартитовые прослойки. Цвет песчаников серый, отдельные прослойки среди них обладают розовым, вишневым и фиолетовым оттенком. Подчиненное значение имеют аргиллиты, алевролиты, гравелистые песчаники и брекчии, образующие ма-

ломощные прослои и линзы. Мощность свиты 2000-3000 м. Намингинская свита представлена в нижней части песчаниками с прослоями алевролитопесчаников и алевролитов, количество которых увеличивается вверх по разрезу; в верхней – алевролитами с прослоями аргиллитов. Мощность свиты до 1600 м. Медная минерализация отмечается во всех свитах кеменской серии, но наиболее ярко она выражена в сакуканской свите, сформированной в прибрежной части бассейна осадконакопления, к которой и приурочено Удоканское месторождение. Суммарная мощность удоканского комплекса до 8000-10000 м.

Месторождение пересекается сетью крупных даек габбро-диабазов, бескварцевых диабазов и микродиоритов, пострудность которых установлена однозначно и сомнений не вызывает [32]. Осадки формации изменены в условиях слабого и умеренного метаморфизма, сложно дислоцированы вплоть до складчатости высших порядков, прорываются нижнепротерозойскими гранитоидами.

На локализацию оруденения влияют первично-осадочные структуры и состав вмещающих пород. Наиболее значительные концентрации Cu сосредоточены в песчаниках, характеризующихся наибольшей крупностью и низкой глинистостью, то есть наиболее проницаемых. Характерно, что в основании рудоносного горизонта в косослоистых песчаниках наблюдаются карбонатные слабопроницаемые слойки, сложенные главным образом кальцитом. В пределах месторождения установлены системы трещин, в результате появления которых косослоистые песчаники становились более проницаемыми [30]. Приуроченность наиболее богатых рудных участков к данным структурам позволяет с уверенностью утверждать, что процесс рудообразования на месторождении являлся эпиге-

нетическим относительно вмещающих пород.

Геохимические особенности пород удоканского комплекса

Наиболее характерной геохимической чертой отложений кевактинской углеродисто-терригенной формации является высокое содержание глинозема в сланцах Al_2O_3 (в среднем 19 мас.%, с максимумами до 27 мас.%) и K_2O (4-6 мас.%). Их накопление объясняется активным выветриванием пород под влиянием жаркого, гумидного климата и специфического агрессивного состава атмосферы на Земле в тот период. Кроме того, отложения формации обогащены рассеянным углеродистым веществом, что свидетельствует о бурном развитии органики в бассейне с застойным режимом. Концентрации $\text{C}_{\text{орг}}$ варьируют в пределах от 0,5 до 10 мас.%. Породы характеризуются повышенными содержаниями мафических петрогенных элементов: Fe, Mg, Ca, Mn и ряда халькофильных металлов (Cu, Ni, Zn, Pb, Au, Ag, U) (см. рис. 2). Такая геохимическая специализация данной формации может быть следствием некоторой унаследованности химизма зеленокаменных поясов, служивших фундаментом для заложившегося на них рифтогенного прогиба, а также синхронным вулканизмом основного состава, проявленным преимущественно на ранних этапах рифтогенеза и способствовавшим формированию металлогенической специализации толщ. Имеющиеся платинометалльные проявления, так или иначе связанные с углеродистыми образованиями Тонодского и Нечерского поднятий, свидетельствуют о наличии потенциала на ЭПГ в пределах рассматриваемой толщи [8; 20].

Рудный процесс сопровождался альбитизацией плагиоклазов, сопряженной с эпидотизацией, декальцитизацией [32; 30]. Процесс оглеения в первично красноцветных породах, выражающий-

ся в восстановлении окисных форм железа, сульфидизации, приобретении сизовато-зеленоватой окраски вмещающих песчаников, является свидетельством восстановительных рудообразующих процессов. Фиксация реликтовой битуминозности пород и наличие тухолитов интерпретируются как следы миграции углеводородов в зону рудообразования. Общая обогащенность рудовмещающей толщи углеродистым веществом, являющимся остатками деструктурированных органических соединений, свидетельствует о крупных масштабах этого процесса.

Нами было проведено опробование одного из разрезов месторождения с пересечением рудных и вмещающих пород (таблица). Крайняя неравномерность распределения высоких концентраций Cu и сопутствующих рудообразованию компонентов в породах близкого состава подтверждает их приуроченность к системе трещин и эпигенетическую природу. Высокая корреляционная связь Cu с $\text{C}_{\text{орг}}$ как в безрудных, так и в пробах с ураганными содержаниями рудного компонента может указывать на реализацию ресурсной функции отложений кевактинской углеродисто-терригенной формации, имеющих халькофильную специализацию (см. рис. 2). Характерным для рудной зоны месторождения является увеличение содержаний $\text{C}_{\text{орг}}$, Ag, Mo, Hg от безрудных пород к пробам с рудными содержаниями меди. Возрастание содержаний такого подвижного элемента, как Hg, в рудной зоне, способного к миграции при низких температурах, характерных для месторождения ($\sim 90^\circ \text{C}$), однозначно свидетельствует о привносе дополнительного рудного флюида в зону рудообразования. Возможность ее осаждения непосредственно в зоне максимального обогащения рудным компонентом обеспечивается повышенной сорбционной способностью главных рудных минералов месторождения (борнит-халькозиновая и халькозин-

ковеллиновая ассоциация) отнимать ртуть у прочих минералов, присутствующих в породах и рудах месторождения [28]. Парная корреляция Hg и Сорг по 22 пробам месторождения Удокан достигает 0,5. Учитывая способность ртути к образованию комплексных соединений с нефтями, наряду с V и Mo [9; 31], можно предположить их совместную с нафтидами миграцию по наиболее проницаемым породам в зону наименьших давлений и температур.

Повышение в рудных прослоях содержаний Сорг от 0,35 до 0,52%, Ag от 0,17 до 44,6 г/т, Hg от 0,03 до 0,8 г/т объясняется повышенной миграционной способностью перечисленных компонентов в составе катагенного флюида, с осаждением их на окислительно-восстановительном барьере. Резкое уве-

личение содержания молибдена от 1,42 до 7,8 г/т, способного к миграции как в щелочной, так и в кислой среде, может быть объяснено процессом выщелачивания кальцита (декарбонатизация) из вмещающих пород, приводящим к осаждению Mo [13].

Корреляционный анализ позволил выделить рудную ассоциацию элементов $[\text{Cu}, \text{Ag}, \text{Mo}]^{0.95} \text{Сорг}]^{0.8} \text{Sb}]^{0.6} \text{Hg}]^{0.4}$, в которой Сорг выделяется высокими положительными связями с главными рудными компонентами.

Однако, как видно из таблицы, ураганные содержания меди не зависят ни от содержания углеродистого вещества, ни от количества других рудных компонентов. То есть медь по условиям осаждения отделяется от остальной группы рудных компонентов.

Содержания рудных элементов по разрезу песчаников сакуканской свиты на месторождении Удокан, (г/т)

№ образца	Cu	Ag	Au	Mo	Hg	As	Sb	Сорг (%)
H-0531	60	0,22	0,03	0.32	0,02	1,5	0.25	0,34
H-0531a	31,1 %	180	0,049	11.24	0,29	1,5	1,0	0,74
H-0531-1	8,2%	42,5	0,1	3.32	1,33	1,5	1,0	0,56
H-0531-2	1542	1,03	0,015	0.42	0,038	1,5	0,5	0,45
H-0531-3	51.3	0,25	0,019	0.3	0,016	6,1	0,25	0,64
H-0532	1269	0,17	0,01	3.35	0,033	3,5	0,5	0,48
H-0532-2	383	0,13	0,014	1.55	0,02	3,0	0,25	0,16
H-0532-3	367	0,12	0,05	1.51	0,016	4,0	1,0	0,41
H-0533	65	0,30	0,025	0.34	0,009	5,9	0,25	0,34
H-0534	24	0,048	0,27	1.7	0,018	1,5	0,25	0,53
H-0534-1	42	0,17	0,2	1.65	0,074	3,0	0,25	0,29
H-0534-3	27	0,033	0,006	1.9	0,01	3,9	0,25	0,60
H-0534-4	2116	0,14	0,005	1.33	0,06	3,0	1,0	0,24
H-0535	584	0,10	0,005	1.15	0,016	3,0	0,5	0,54
H-0536	67	0,13	0,004	1.05	0,065	3,7	0,2	0,18
H-0536-1	12.5	0,24	0,002	0.45	0,012	3,6	0,2	0,35
H-0537	14.7	0,051	0,004	1.47	0,008	5,6	0,2	0,32
H-0537-3	15	0,1	0,005	1.18	0,011	7,4	0,2	0,57
H-0538	27	0,098	0,007	1.6	0,028	7,6	0,2	0,49
H-0539	12.9	0,16	0,005	1.03	0,015	4,2	0,2	0,26
H-0539-3	14.7	0,059	0,005	1.31	0,014	4,4	0,2	0,48
H-0540	8.74	0,04	0,002	1.49	0,022	3,0	0,2	0,39

Примечание. Аналитические исследования выполнены в лабораториях ИГХ СО РАН: Cu, Mo - ICP-MS (Пахомова Н.Н., Смирнова В.Н.); Ag, Au, Hg, As – атомная абсорбция (Щербакова Г.И., Кажарская М.Г.); Сорг – метод сжигания (Коротаева И.М., ИРИХ СО РАН, Развозжаева Э.А.).

Гранитофильные же элементы в процессе рудообразования, по отношению к рудным компонентам ведут себя противоположным образом. Изучение поведения группы редкоземельных элементов (REE) месторождения Удокан показало: средняя сумма REE во вмещающих породах месторождения составляет 197 г/т; в породах с бортовыми содержаниями Cu - 171 г/т; в пробах с рудными содержаниями отмечается минимальная сумма лантаноидов, равная 84 г/т. Колебания значений отношения La/Yb в пределах месторождения от вмещающих пород к собственно рудным телам месторождения незначительны (15,3 → 17,1), но демонстрируют некоторое увеличение роли легких REE.

Однотипные кривые фракционирования REE по породам с различной степенью обогащенности медью (рис. 3) свидетельствуют об отсутствии какого-либо аномального перераспределения этих элементов в рудном процессе. Данный факт исключает вероятность влияния флюидов, связанных с кислыми раннепротерозойскими интрузивными образованиями Кодаро-Удоканской зоны, представленных гранитоидами куандинского и кодарского комплексов.

Снижение общей концентрации редкоземельных элементов от безрудных к рудным породам может быть обусловлено как выносом их кислым флюидом из рудной системы, так и их разбавлением рудными компонентами.

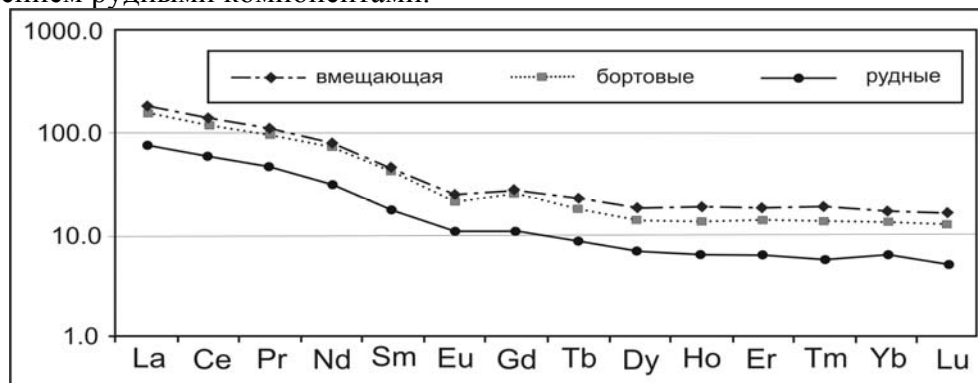


Рис.3. Спектры распределения лантаноидов в породах месторождения Удокан по зонам с различной степенью обогащенности медью. Для графического представления результатов применялось нормирование по хондриту [33]

На графике (рис. 4), отражающем корреляционные связи редкоземельных элементов с рудными и сопутствующими рудообразованию компонентами, отчетливо наблюдается более сильная отрицательная корреляция HREE с сопутствующими элементами, особенно с Сорг, что также отражает некоторое незначительное облегчение состава REE. Незначительная отрицательная европиевая аномалия в породах с низким содержанием рудного компонента (0,68) остается неизменной в пробах с бортовыми содержаниями Cu в пределах месторождения (от 0,55 до 0,87; среднее ~ 0,7) так же, как и в пробах с значимыми рудными содержаниями (от 0,72 до 0,84; среднее ~ 0,7).

Отсутствие изменения величины европиевого модуля в процессе рудообразования также свидетельствует в пользу предположения, что рудный флюид, вероятнее всего, имеет катагенную природу, сохраняя параметры, соответствующие нефтематеринской толще в пределах БГО (Eu/Eu* – 0,76), и практически не влияет на значение такового в пределах месторождения. О катагенной природе рудоносного флюида также свидетельствует преобладание легких изотопов серы, свойственных осадочно-диагенетической системе, в халькопирите и пирите рудной зоны месторождения [30; 4].

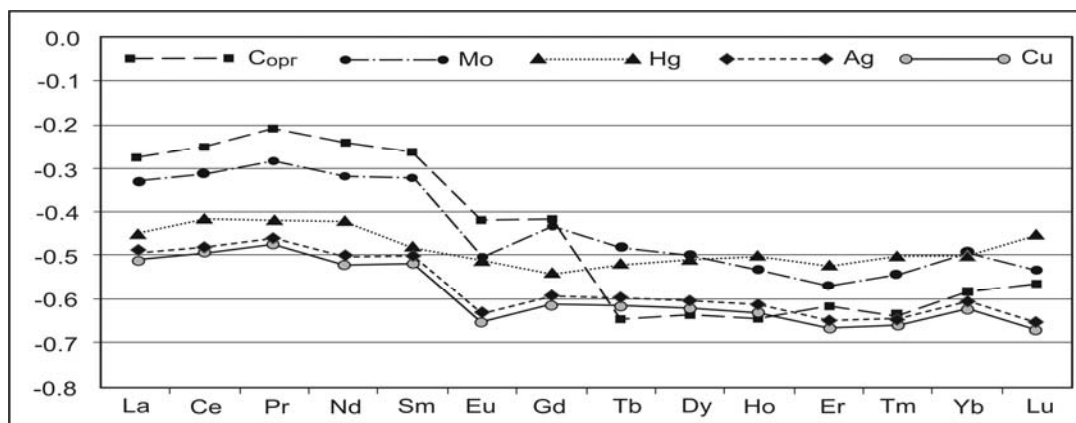


Рис.4. График корреляционной зависимости REE с Cu и сопутствующими рудообразующими элементами

Группа лантаноидов имеет значимую положительную корреляционную связь с гранитофильными элементами (Rb, Cs, Ba), резкое снижение концентрации которых от безрудных пород к породам с рудными содержаниями меди (Rb - 252→179→53 г/т; Cs - 7,75→4,9→0,6 г/т; Ba - 1521→1330→476 г/т) влечет за собой уменьшение отношений Rb/Sr, Rb/Mo, Ba/Sr, Ba/Mo (рис. 5), и это происходит тем сильнее, чем порода более обогащена рудным компонентом. Содержания Sr в руде несколько возрастают, что объясняется положительной его корреляционной связью с натрием, также имеющим тенденцию к накоплению в рудной зоне. Это выражается, прежде всего, в альбитизации, сопровож-

дающей рудный процесс. Rb, Cs и Ba в сложившейся обстановке ведут себя противоположным образом и имеют тенденцию к рассеянию во вмещающих породах, что объясняется разрушением калиевых слюд, а соответственно и снижением концентрации К от 5,1 в безрудных пробах до 3,5% в руде.

Обсуждение результатов

Суммируя изложенный материал, можно предложить новый сценарий формирования месторождения Удокан, основой которого является инфильтрационно-эпигенетическая модель [22].

Согласно данной модели, особая роль в процессе рудообразования при-

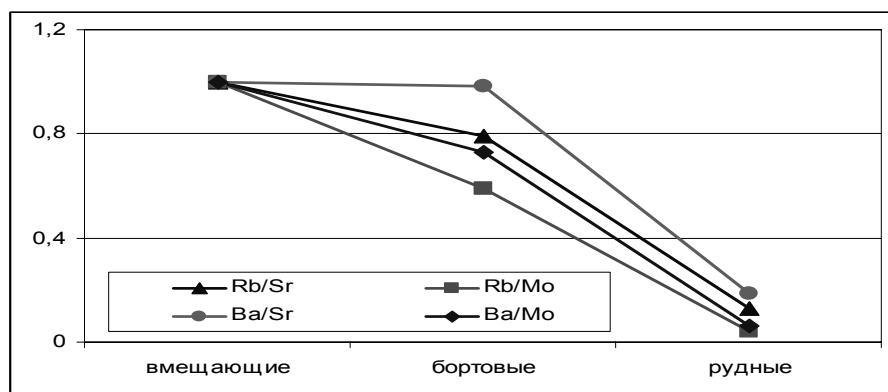


Рис. 5. График отношений Rb/Sr, Rb/Mo, Ba/Sr, Ba/Mo в породах и рудах месторождения Удокан

надлежит металлоносным углеводородистым веществам (битумоиды, нефти), возникшим в углеродистых осадках кевактинской серии на этапе катагенетических преобразований. Особая роль отводится органическим соединениям с металлами при накоплении, транспортировке и концентрировании рудных элементов. Образование металлоносных органических соединений происходит в прибрежных морских осадках в процессах их седиментации и диагенеза [10]. Кроме фульво- и гуминовых кислот, содержащих металлы, в осадках возможно образование кластерных соединений металлов (нанокмполитов), что было подтверждено экспериментально на примере полисахаридов и благородных металлов [23]. Последними исследованиями установлено, что кластерные соединения ряда металлов с органическим веществом, наряду с известными ранее связями с V, Ni, Cu, Fe и рядом других металлов в составе порфиринов и гетеросоединениях в асфальтеновых фракциях битумоидов, являются широко распространенной формой, участвующей в процессах нефте- и рудообразования [17; 23]. В нафтидах наночастицы металлов фиксируются в геополимерах-асфальтенах.

В условиях катагенетических преобразований осадков происходит отделение металлоносных нафтидов (битумоидов), способных мигрировать в составе флюидов. Флюиды фильтруются через проницаемые зоны, заполняя микротрещины и поры вмещающих пород, чему способствует их высокая эффективная пористость. При резкой смене физико-химических параметров – достижении поднимающимися флюидами окислительно-восстановительного барьера и (или) повышении температур катагенеза выше 120°C, данные металлоносные соединения разрушаются, наноразмерный металл высвобождается, что способствует его укрупнению, концентрированию, вплоть до образования рудных залежей. Приуроченность руд-

ных концентраций к системам трещин, а также обнаружение металлов в битумоидах и нерастворимом углеродистом веществе черносланцевых толщ подтверждает возможность такого механизма транспортировки вещества и его трансформации. В метаморфизованных породах содержание битумоидов не превышает 0,00n – 0,0n%, но они, являясь металлоносными реликтами, свидетельствуют о правомерности участия металлоносных флюидов в переносе вещества при рудообразовании. При детальном изучении битумоидов установлено, что металл фиксируется в асфальтеновых фракциях растворимой компоненты рассеянного углеродистого вещества (РУВ). В керогенах сланцев металлы находятся в нанодисперсной форме в матрице УВ. Из этого следует, что металл поступал вместе с битумоидами, находясь в тяжелых высокомолекулярных фракциях геополимеров, являющихся фрагментами структур керогенов.

Таким образом, по представлениям авторов изложенного материала, подтверждается инфильтрационно-эпигенетическая модель образования месторождения Удокан, как и, вероятно, ряда более мелких его сателлитов в пределах Кодаро-Удоканского прогиба (Правое-Ингамское, Ункурское, Сакинское, Бурпалинское и др.). Участие раннепротерозойской углеродисто-терригенной формации, обладающей характерной геохимической специализацией, в сложном эволюционном развитии региона с широко проявленными на разных этапах процессами мобилизации и перераспределения рудных элементов позволяет рассматривать формацию в качестве источника рудного и сопутствующих компонентов месторождения Удокан и учитывать ее при оценке перспектив возможного благородно- и редкометалльного оруденения в пределах Байкальской горной области и Кодаро-Удоканской структурно-формационной зоны. Подтверждением этому является

металлогеническая специализация раннепротерозойской углеродистой формации, которая проявляется в характерных для черносланцевых провинций рудных ассоциациях (см. рис. 1): **U** – Туюкан, Натали и др.; **Au (Pt)** – Ходоканская группа месторождений, **Au** – Чертово Кoryто; **Cu** – Удокан и др.; **Pd, Ir, Pt** – Урага-Холболок и др.

В соответствии с предложенной моделью (рис.6), руды Удоканского месторождения были сформированы по следующему сценарию: генерирующиеся в условиях катагенетических преобразований углеродистых отложений кевактинской углеродсодержащей формации нафтиды и элизионные воды (воды отжимаемые из породы-коллектора) в значительной мере наследуют металлогенический потенциал нефтематеринской толщи. Металлоносность природных нафтидов при этом обуславливается сложным химическим составом органического вещества, способного взаимодействовать с металлами по различным механизмам связей, включая ионный, ковалентный, комплексный, сорбционный и другие. Тяжелые асфальтеновые фракции, присутствующие в составе нафтидов, содержат в своих моле-

кулах электрононорные атомы серы, кислорода, азота и являются весьма эффективными реагентами для редких элементов, характеризующихся поливалентностью и халькофильными свойствами [1; 6].

Известно, что азот в процессе окислительного выщелачивания выступает в роли сильного катализатора и может являться одним из важнейших факторов мобилизации тяжелых металлов из рудных минералов как при положительных [15], так и отрицательных температурах [24]. Благодаря указанным свойствам, предполагается сонахождение нафтидов и элизионных вод в процессах катагенеза и совместная их эмиграция из нефте- и рудоматеринских толщ [7]. Формирование самих медных руд происходит при встрече восходящих (по пластам) катагенных потоков металлоносных флюидов, обладающих восстановительным потенциалом, с кислородсодержащими средами (инфильтрационные воды, красноцветные отложения), характеризующимися высоким окислительным потенциалом и эффективной пористостью. На геохимическом барьере происходит деструкция сложных органических соединений,

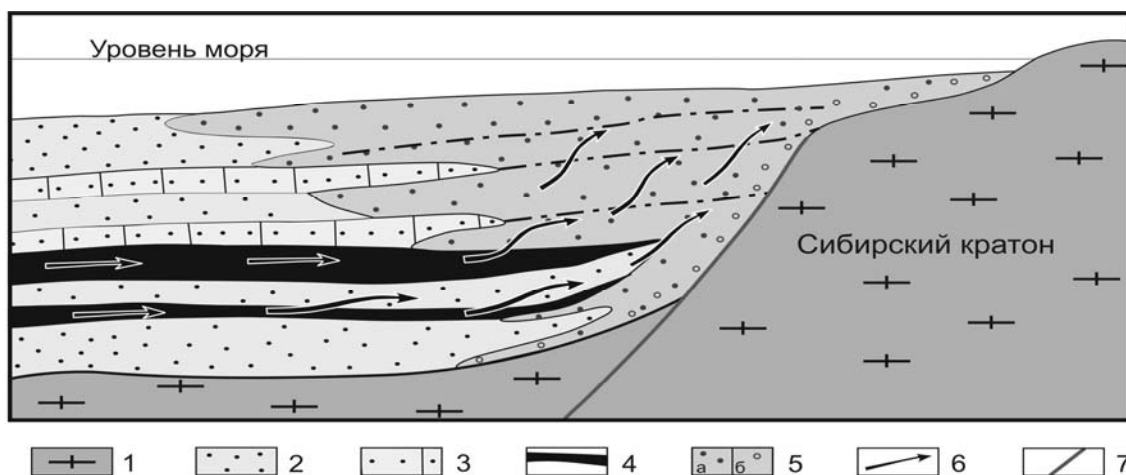


Рис.6. Схема формирования Удоканского месторождения меди: 1 – породы кристаллического фундамента; 2 – 4 – сероцветные отложения кодарской и чинейской серий: 2 – песчаники, 3 – известковистые песчаники, 4 – черные сланцы; 5 – рудовмещающие красноцветные отложения прибрежных, дельтовых и лагунных фаций кеменской серии: а) песчаники, б) конгломераты; 6 – направление миграции катагенных металлоносных флюидов (нафтиды, элизионные воды); 7 – рифтогенный разлом

в результате чего рудные компоненты: Cu, Zn, Pb, U, Ni, Au, Ag, Pt, Pd и др. осаждаются, образуя характерную рудно-геохимическую зональность ореольного типа от центра (нефтематеринские породы) к периферии: (Au, Pt, Pd) → Cu, Ag → Zn + Pb.

Месторождения данного генетического типа являются комплексными, весьма значимыми в промышленном отношении. Характерные примеры: формация Купфершифер в Польше (Любинское месторождение) и месторождение Амброзия-Лейк в США.

Библиографический список

1. Варшалл Г.М., Велюханова Т.К., Кощеева И.Я. О концентрировании благородных металлов углеродистым веществом пород // Геохимия. – 1994. – № 6. – С. 814-824.
2. Вольфсон Ф.И., Архангельская В.В. Стратиформные месторождения цветных металлов. – М.: Недра, 1987. – 255 с.
3. Габлина И.Ф. Метаморфизм и гипергенез медистых песчаников и сланцев: автореф. дис. ... д.г.-м.н. – М., 1994. – 45 с.
4. Габлина Ф.М., Малиновский Ю.М. Периодичность меденакпления в осадочной оболочке земли // Литология и полезные ископаемые. 2008. - №2. – С. 155-173.
5. Геологическое строение Читинской области. Объяснительная записка к геологической карте масштаба 1:500000. /К.К. Анашкин [и др.]. – Чита: Изд-во ГГУП «Читагеолсъемка», 1997. – 239 с.
6. Гиндин Л. М. Экстракционные процессы и их применение –М.: Наука, 1984. – С. 7-15.
7. Горжевский Д. И., Карцев А. А., Павлов Д. И. Парагенезис металлов и нефти в осадочных толщах нефтегазоносных бассейнов. – М.: Недра, 1990. – 268 с.
8. Гурская Л.И. Платинометалльное оруденение черносланцевого типа и критерии его прогнозирования. – СПб.: ВСЕГЕИ. – 2000. – 208 с.
9. Калинин Е.П. Геохимическая специфика нефти и ее природа // Вестник. – 2009. – №1. – С. 6 – 12.
10. Кодина Л.А., Галимов Э.М. Формирование изотопного состава углерода, органического вещества «гумусового» и «сапропелевого» типов в морских отложениях // Геохимия. – 1984. – №11. – С. 1742-1756.
11. Коробейников Н.К. Углеродистые формации позднего докембрия Западного Прибайкалья и Байкало-Патомского нагорья: автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. – Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1990. – 20 с.
12. Кренделев Ф.П. Генезис сульфидного оруденения Удоканского хребта // Геология рудных месторождений зоны БАМ. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1983. – С. 173 – 186.
13. Макаров В.Н. Геохимия мерзлотных почв в сфере влияния городского техногенеза // Геохимия техногенеза. – Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1986. – С. 117 – 124.
14. Макарьев Л.Б. Платинометалльность докембрийских углеродистых формаций Северо-Восточного Забайкалья // Платина России. – М.: АОЗТ «Геоинформ-марк», 1994.
15. Маркович Т.И. Процессы гидрохимического окисления сульфидов тяжелых металлов с участием азотистой кислоты: автореф. дис.... канд. хим. Наук. – Новосибирск, 1999. – 20 с.
16. Митрофанов Г.Л., Немеров В.К., Семейкина Л.К. Районирование Восточной Сибири по ожидаемым генетическим типам месторождений платиноидов в черносланцевых толщах // Платина России.

- Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов. – М.: АОЗТ «Геоинформ-марк», 1994. – С. 55-65.
17. Нанодисперсное состояние металлов и их миграция в углеродистых природных средах. /В.К.Немеров [и др.] // ДАН. 2009. Т. - 425, №2. – С 233 - 236.
 18. Наркелюн Л.Ф., Салихов В.С., Трубачев А.И. Медистые песчаники и сланцы мира. – М.: Недра, 1983. –414 с.
 19. Немеров В.К. Металлогеническое значение биогенных образований в осадочных комплексах рифея Байкало-Патомского складчатого обрамления Сибирской платформы. // Геология и полезные ископаемые Восточной Сибири: тез. докл. –Иркутск, 1985. –С. 59 – 60.
 20. Немеров В.К., Митрофанов Г.Л., Семейкина Л.К. Платиновая минерализация в дистенах пурпольской свиты (Байкало-Патомское нагорье): мат. конф. «Благородные и редкие металлы Сибири и Дальнего Востока». –Иркутск, 2005. –Т. 2. –С. 30-33.
 21. Немеров В.К., Семейкина Л.К., Спиридонов А.М. Наиболее вероятные сценарии рудогенеза в углеродистых осадочных формациях // Мат. науч. конф. «Благородные и редкие металлы Сибири и Дальнего Востока». –Иркутск, 2005(а). – Т. 1. – С. 30 – 33.
 22. Немеров В.К., Станевич А.М. Эволюция рифей-вендских обстановок биолитогенеза Байкальской горной области // Геология и геофизика, 2001. –Т. 42. № 3. –С. 456 – 470.
 23. Основные факторы онтогенеза месторождений благородных металлов Сухоложского типа / В.К.Немеров и др. //Отечественная геология. 2005(б). -№ 3.-С. 17-24.
 24. Павлюкова В.А., Маркович Т.И. Геохимические процессы в криогенных зонах окисления сульфидных месторождений с участием соединений азота // Химия в интересах устойчивого развития. -2006. № 14. –С. 89 - 93.
 25. Резников И.П. К вопросу о генезисе Удоканского месторождения // Литология и полезные ископаемые.- 1965.- № 2. –С. 272 – 278.
 26. Салихов В.С. Рифтогенные структуры и осадочное меденакопление // Генезис редкометалльных и свинцово-цинковых стратиформных месторождений/под ред. В.Н.Холодова. –М.:Наука, 1986. – С. 62 – 72.
 27. Сочава А.В. Красноцветные формации докембрия фанерозоя – Л.: Наука. Ленингр. отд., 1979. – 207с.
 28. Таусон В.Л., Меньшиков В.И. О закономерностях сорбции ртути минералами и некоторых общих чертах поведения ртути и золота в геохимических процессах // Геология и геофизика. -1990. -№ 7. –С.84 – 95.
 29. Томбасов И.А., Синица С.М. Стратиграфия удоканского комплекса Икабья-Читкандинского района // Стратиграфия нижнего докембрия Дальнего Востока. – Владивосток.: ДВО РАН АН СССР, 1990.– С. 56 – 61.
 30. Удокан: геология, рудогенез, условия освоения/А.Б.Птицын [и др.].– Новосибирск: Наука, 2003. –160 с.
 31. Чахмачев В.Л., Пунанова С.А., Лолицкая И.Ф. Геохимия микроэлементов в нефтегазописковой геологии (Обзорная информация)// Сер. Нефтегазовая геология и геофизика.–М.:ВНИИОЭГ,1984.–Вып. 11. –56 с.
 32. Юргенсон Г.А. Дайки и оруденение на Удоканском медном месторождении // Вопросы рудоносности Восточного Забайкалья. – М.:Недра, 1967. –С. 111 – 125.
 33. Wakita H., Rey P., Schmitt R. A. Abundances of the 14 rare-earth elements and 12 other trace elements in

Apollo 12 samples: five igneous and
one breccia rocks and four soils //
Pros. 2nd Lunar Sci Conf. 1971.

Pergamon Press, Oxford.–P. 1319-
1329.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 08-05-00644.

Рецензент: доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Института геохимии СО РАН, профессор В.Д.Козлов