



В. Л. Иванова

Геология — это всегда поиск истины и неожиданные открытия

ИВАНОВА ВЕРА ЛЕОНИДОВНА — кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник лаборатории физико-химической петрологии Дальневосточного геологического института. Область научных интересов: петрология, минералогия, геоэкология.

Геолог, независимо от того, занимается он производственной (поиск, разведка, съемка) или научной работой, всегда остается исследователем. Разница между производственниками и «научниками» состоит в том, что задачей первых является фиксация всех геологических фактов, имеющихся на территории, с составлением карт, планов, разрезов, а для вторых важно изучение геологических процессов и составление теоретических моделей. Но и в науке, и в производстве невозможно обойтись без выбора, что же является истиной, потому что мы никогда не можем получить полную открытость геологического объекта, а вынуждены пользоваться доступным количеством обнажений, горных выработок, скважин. В геологии всегда остается место выбору: как соединить отдельные точки контакта, куда протянуть жилу, как сопоставить возраст непересекающихся даек и пластов из разрезов отложений в не связанных между собой бассейнах. Иначе говоря, без построения моделей не обойтись, и, чтобы они были ближе к истине, необходимо очень корректно относиться ко всей геологической информации (она и так всегда недостаточна!).

Я постараюсь на примерах показать, как методические неточности и привычные догмы приводят к ошибкам или к некорректным выводам.

Часть 1. Полевое изучение геологического объекта

Эпизод 1. Самый грандиозный из известных мне казусов возник в 60-е годы прошлого века (и тянется до сих пор) при изучении гранитов в зоне Центрально-го Сихотэ-Алинского разлома (ЦСАР). Как известно, граница «океан — континент» — очень неспокойное место. И литосфера здесь испытывает аномальные

напряжения, особенно когда тихоокеанская плита смещается относительно плиты континентальной. Скользжение этих плит относительно друг друга образовали ЦСАР, мощный сдвиг, по которому геологические структуры сместились приблизительно на 400 км (рис. 1). Попался под этот сдвиг и один гранитный массив, который был разорван на две части, оказавшиеся после смещения настолько далеко друг от друга, что получили разные названия: Бисерский и Перевальный. Эти граниты, объединенные в бисерский комплекс, естественно, испытали такое напряжение, что раздробились почти в дресву. Затем, уже в послесдвиговое время (а по некоторым признакам и во время смещения), в зону разлома внедряются более молодые вольфрамоносные гранитоиды (дальненский и арминский комплексы) и прорывают старые массивы, которые теперь становятся полигенными и полихронными (образованными из комплексов разного генезиса и разного возраста).

Все это было отражено в отчетах, на геологических картах, позднее описано в монографии [5] и других публикациях. Затем в связи с разведкой открытого рядом вольфрамового месторождения «Восток-2» возникла необходимость более глубокого изучения гранитоидов. Приезжает на месторождение из Москвы доктор геолого-минералогических наук Мария Григорьевна, собирает образцы из рудоносного штока, из Дальненского массива, а на Бисерский массив идти далеко. И тут молодой научный сотрудник из Владивостока Герман говорит: «Да что Вы, Мария Григорьевна! Принесу я Вам образец!» — и принес. Конечно, самый свеженький, самый крепкий и неизмененный — образец молодого гранита, прорывающего «непотребную» дресву.

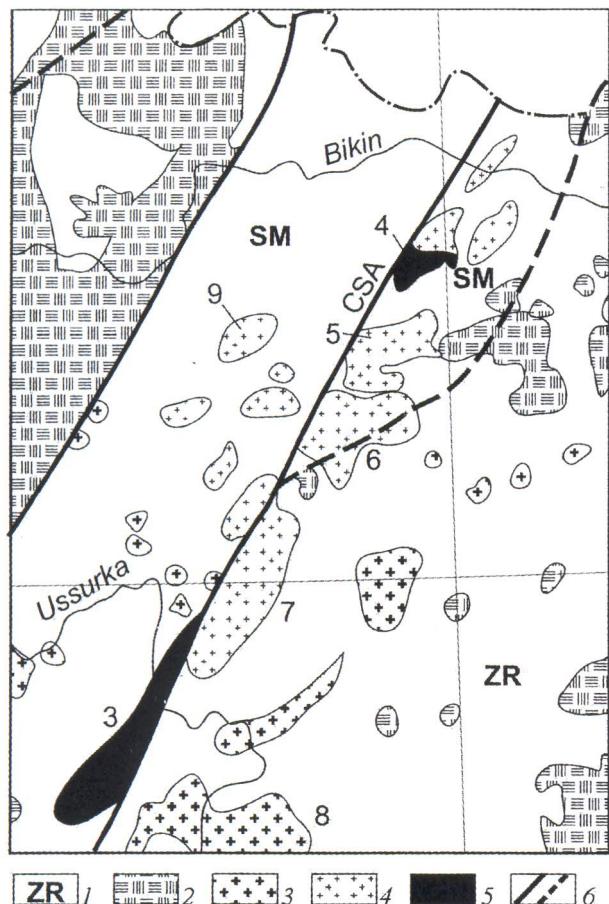


Рис. 1. Схема расположения массивов гранитоидов в районе ЦСАР.

Условные обозначения: 1 — Обозначения террейнов; 2 — верхнемеловые эфузивы; 3 — гранитоиды арминского комплекса; 4 — гранитоиды дальненского комплекса; 5 — граниты бисерского комплекса; 6 — разломы. Цифрами обозначены массивы: 3 — Перевальный; 4 — Бисерский; 5 — Дальненский; 6 — Излучинский; 7 — Дальнено-арминский; 8 — Приисковый; 9 — Момбиассанский.

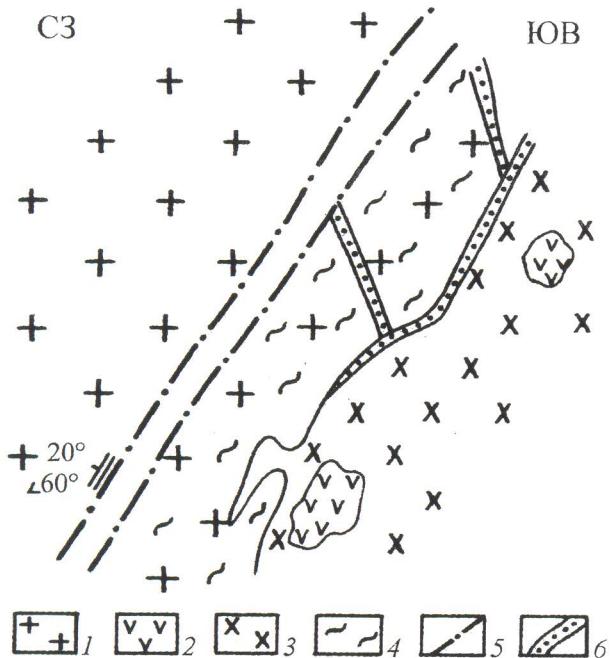


Рис. 2. Бисерский гранит.

Условные обозначения: 1 — лейкократовый аплитовидный гранит; 2 — кварцевый микродиорит; 3 — гранитпорфир; 4 — зоны дробления и милонитизации; 5 — тектонические трещины; 6 — аплиты.

давно опять разговаривала с молодым доктором наук, последователем идеи, что все едино. Оказалось, что он, как и предшественники, просто игнорирует дресву как объект изучения. А жаль! Лежат они себе, внутренне подобленные, но даже при проходке канав сохраняют свое строение, включая дайки, жилки и ксенолиты (рис. 2). В Приморье есть и другие структуры, где границы превращены в дресву и которые, к счастью, не игнорируются ни геологами-съемщиками, ни разведчиками месторождений.

Эпизод 2. Олово-вольфрамовое месторождение Тигриное. Липаритовый шток, на глубине раскристаллизованный в граниты. Рядом с ним и через него проходит мощная зона вертикальных разломов, двигаясь по которым гидротермальные растворы отложили штокверковое месторождение. Штокверк — это рудное тело, состоящее из множества тонких прожилок. На месторождении Тигрином они состоят из кварца, рудных минералов (кассiterита, вольфрамита, сульфидов и др.) и сопутствующих минералов (топаз, литиево-фтористая слюда и т. д.). Завершают процесс образования месторождения пострудные дайки щелочных базальтов. Вот про них и будет рассказ (рис. 3).

Базальты обычные: плотные, темно-зеленые до черных, но интересно, что в эндоконтактах этих даек появляются иногда биотит и микрокристаллы флюорита. На других геологических объектах водосодержащий минерал биотит

После изучения образцов Мария Григорьевна выдвигает новую гипотезу: все граниты вокруг месторождения — это один комплекс [6]. И гуляет эта гипотеза до сих пор и в статьях, и в докторских диссертациях. Недавно на конференции я еще раз обратила внимание наших ученых на полигенность Бисерского массива. Почему же они не видят очевидного? У этих гранитов разный состав, разные структуры (один крупнозернистый или аплитовидный, другой порфировидный), разная геохимическая специализация (доразломные содержат повышенные содержания олова, молодые специализированы на вольфрам), различаются и контактовые изменения во вмещающих породах.

Недавно опять разговаривала с молодым доктором наук, последователем идеи, что все едино. Оказалось, что он, как и предшественники, просто игнорирует дресву как объект изучения. А жаль! Лежат они себе, внутренне подобленные, но даже при проходке канав сохраняют свое строение, включая дайки, жилки и ксенолиты (рис. 2). В Приморье есть и другие структуры, где границы превращены в дресву и которые, к счастью, не игнорируются ни геологами-съемщиками, ни разведчиками месторождений.

После изучения образцов Мария Григорьевна выдвигает новую гипотезу: все граниты вокруг месторождения — это один комплекс [6]. И гуляет эта гипотеза до сих пор и в статьях, и в докторских диссертациях. Недавно на конференции я еще раз обратила внимание наших ученых на полигенность Бисерского массива. Почему же они не видят очевидного? У этих гранитов разный состав, разные структуры (один крупнозернистый или аплитовидный, другой порфировидный), разная геохимическая специализация (доразломные содержат повышенные содержания олова, молодые специализированы на вольфрам), различаются и контактовые изменения во вмещающих породах.

встречается в контактовой части жерловых фаций щелочных базальтов. И это нормально, потому что вулканы обычно богаты и водой, и фтором, ванадием, серой, и другими летучими элементами. Но тут «сухие» дайки!

И вот мы идем в 13-й квершлаг (горная выработка, пройденная вкрест простирания рудного тела) смотреть еще одну точку, где вскрыты базальты. А в квершлаге обнаружена повышенная радиоактивность! Как раз около базальтов по трещинам изливалась «радоновая» вода, и устье горной выработки по технике безопасности уже закрыли толстой резиновой шторой. Еле упросила горного мастера пустить нас туда. К счастью, разрешил, дал нам 20 минут.

В этом квершлаге дайка базальтов пересекла рудную зону и, на первый взгляд, образовала раздув, то есть расширилась. Отбивая образцы, я заметила, что в раздуве порода какая-то странная: такой же черный (в свете горняцкого фонаря) вулканит, но у него другая пористость, более стекловатая структура (почти раковистый излом). Хватаем быстро образцы и высекаем из квершлага, который уже начали капитально забивать досками.

При петрографическом изучении оказалось, что эти странные базальты имеют состав, близкий к фонолитам, и образовались тут же, на месте [1]. Температура внедрившегося базальта была около 1400 градусов, а температура плавления материала рудной зоны резко снизилась из-за присутствия лития и фтора. Вот жильная порода и расплавилась, остались в ней недоплавленными только фрагменты кварцевых прожилок.

Такой случай. Если бы не удалось попасть на точку пересечения дайкой рудной зоны, я, как и другие, считала бы, что микроскопические фонолитовые капли, обнаруженные в базальте, образовались благодаря ликвации базальтового расплава и фтор был принесен именно базальтовой магмой.

Эпизод 3. Со временем устоявшиеся знания превращаются в догму, и, если пользоваться ими автоматически, можно прийти к ложному выводу. Все знают, что калиевый полевой шпат (ортоклаз, микроклин) — розовый, амазонит — зеленый или голубой, а плагиоклаз — белый. Изменение цвета породы сразу связывается с появлением нового минерала. На такую догму попалась и я

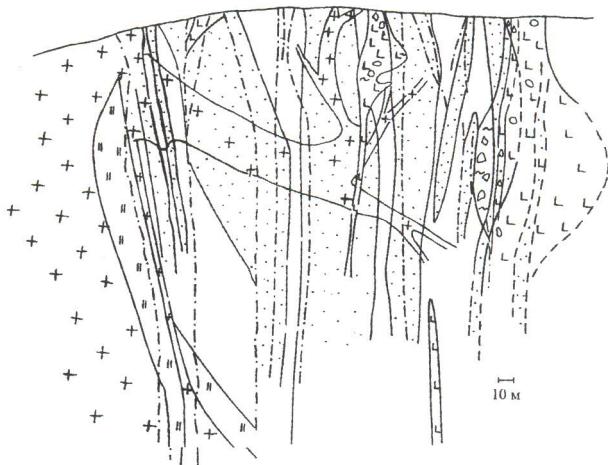


Рис. 3. Месторождение Тигриное. Взаимодействие щелочных базальтов с вмещающими породами.

Условные обозначения: 1 — гранит-порфиры и липариты; 2 — щелочные базальты; 3 — штокшайдеры; 4 — штокверковые зоны; 5 — брекчии с обломками вмещающих роговиков и рудных прожилков; 6 — включения гипербазитов и габброидов; 7 — признаки расплавления и спекания вмещающих пород; 8 — трещины.

на жильном вольфрамовом месторождении Забытое. Иду по штолне и вижу, что обычные серые граниты пересекаются мощной розовой полосой. Автоматически отмечаю в пикетажке зону калишпатизации и отбираю образцы. Калишпатизация означает процесс замещения породы калиевым полевым шпатом. Несколько удивляет отсутствие крупных кристаллов калишпата в границах и калишпатовых прожилок, зато в трещинках сидят зеленые и фиолетовые кристаллики флюорита.

Петрографическое изучение шлифов показало, что граниты в розовой зоне ничем не отличаются от серых пород. Химический анализ также не выявил увеличения содержания калия или других различий. Значит, изменился только цвет породы, а точнее, цвет ортоклаза. Это обычное в природе явление происходит в результате окисления примесных атомов железа в структуре полевого шпата. Железо меняет валентность, и его трехвалентные ионы окрашивают минерал-хозяин.

Делаю эксперимент для проверки гипотезы. Пластиинку серого гранита помещаю в угольный тигель и нагреваю до температуры около 800°. В результате сторона пластиинки, лежавшая на угле, осталась серой, а другая сторона, соприкасавшаяся с воздухом, стала розовой. Действительно окисление. Но что же окислило железо на глубине? Конечно, очень сильный окислитель фтор. Итак, гидротермальные рудоносные растворы, обогащенные литием и фтором, образовали рудные жилы месторождения, а просачиваясь через граниты, «рассыпали» в трещинках кристаллики флюорита и попутно окрасили породу в розовый цвет. А в одном из отчетов лаборатории металлогенеза так и осталось утверждение, что на месторождении Забытое шли процессы калишпатизации.

Часть 2. Лабораторные исследования

В 60-е годы прошлого века был период внедрения в геологию математических методов: статистическая обработка данных химического состава, выявление корреляции, построение линий регрессии и т. д. Для изучения состава и структуры минералов стали широко использоваться физические методы: рентгеноструктурный анализ, инфракрасная спектроскопия, которые, как и освоенные ранее оптические методы, дают цифровые (количественные) результаты, пригодные для статистической обработки.

Остановлюсь на изучении полевых шпатов. Структура полевого шпата меняется в ряду санидин — ортоклаз — микроклин: происходит упорядочение распределения атомов Al в Si-O-каркасе. В санидине это распределение близко к хаотическому, а в микроклине Al располагается в строго определенных Si-O-тетраэдрах. Физические методы позволяют замерить количественно частоты колебаний (или волновые числа) определенных атомов или групп атомов. Оптика тоже дает количественные данные показателей преломления проходящего света и угла оптических осей. Оптические, рентгеновские, инфракрасные методы замеряют разные параметры кристаллической решетки, потому что используют колебания разной частоты. Для того чтобы можно было их сравнивать, числовые данные должны быть выражены в условных единицах. В данном случае

подходит степень упорядоченности: условно принято, что упорядоченность санидина равна 0, упорядоченность микроклина — 1 (или 100 %). Ортоклаз и другие «промежуточные» структуры имеют промежуточную упорядоченность, располагаются внутри ряда санидин — микроклин. Появляется желание посмотреть статистику внутри этого ряда, да еще для каждого метода, да еще и выяснить, какой из них точнее. Дальше все идет неоднозначно. Физики замерили параметры, но не все геологи, проводя обработку данных, смогли сделать это корректно. Не были учтены два момента: 1) различные физические методы измеряют разные параметры вещества; 2) структура в ряду полевых шпатов меняется нелинейно.

Эпизод 4. При сравнении «оптической» и «инфракрасной» упорядоченности (рис. 4) Л. Г. Кузнецова [4] получила вполне удовлетворительную линию регрессии, иначе говоря, оба метода показали сходимость измеренных величин и линейное изменение упорядоченности.

Однако здесь не учтено, что оптическая величина — угол оптических осей ($2V$), или двусность, — меняется в санидине не просто: угол $2V$ проходит изменение от -60° в плоскости, параллельной грани (010) кристалла, до 0° , а затем разворачивается в плоскости, перпендикулярной грани (010), изменяясь от 0° в санидине до -110° в микроклине. Таким образом, интервал изменения $2V$ в санидине увеличивается на $30-60^\circ$ (пунктирная линия на рис. 4), и становится ясно, что в точке ортоклаза меняется характер упорядочения. Эта точка в теории нелинейных процессов называется точкой бифуркации — в ней меняется закон, по которому развивается процесс. Конечно, числовые значения угла $2V$ и инфракрасной упорядоченности не совпадут. Сопоставить два вида упорядоченности можно только после пересчета значений двусности в условные единицы от 0 до 1 и учесть нелинейный характер упорядочения.

Эпизод 5. Еще более странное умозаключение по поводу сравнения значений упорядочения, полученных разными методами, опубликовано в одной кандидатской диссертации

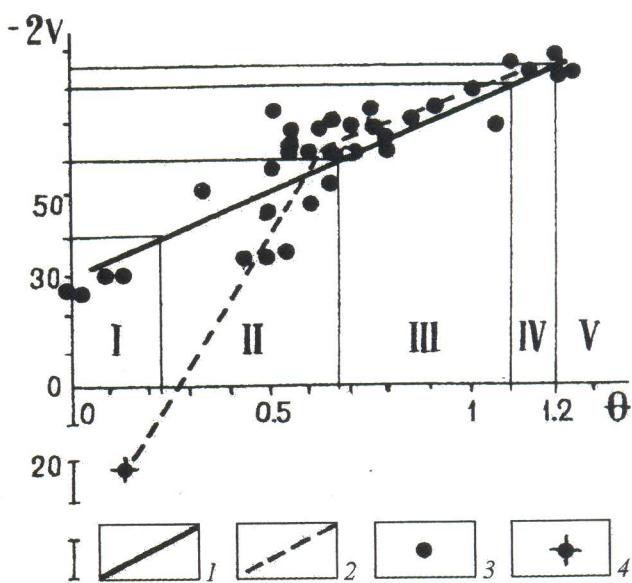


Рис. 4. Корреляция инфракрасной упорядоченности с углом $2V_{\text{np}}$.

Условные обозначения: 1, 3 — по Л. Г. Кузнецовой; 2, 4 — данные автора. Поля на рисунке: I — санидин, II — ортоклазы, III — промежуточные микроклины и ортоклазы, IV — максимальные микроклины, V — микроклин-перитты.

ции. Сравниваются три метода, в которых инфракрасная и оптическая упорядоченность рассчитываются по опорным точкам: 0 — для санидина и 1 — для микроклина, а в одном из рентгеновских методов 0 поставлен в точке ортоклаза, и увеличение идет в обе стороны: к санидину и микроклину. Разумеется, имея разные шкалы измерений, нельзя сравнивать числовые значения. Но автор выходит из положения неожиданным способом: «...значения рентгеновской упорядоченности имеют средние значения, значит, это „золотая середина”, их и надо брать...»

Часть 3. Научное обоснование геологической информации

Наука бессмысленна без гипотез и теорий. Комплекс преобладающих теорий называют парадигмой. Старые парадигмы, как и теории, гипотезы, смениются новыми в связи с накоплением новых знаний. В последнее время умы ученого сообщества охвачены парадигмами системного подхода и нелинейного развития. Остановлюсь на них немногого, так как они упоминались выше по тексту. Надо отметить, что эти парадигмы еще не совсем устоялись, не все в них однозначно, не всегда разные исследователи понимают друг друга.

Системный подход позволяет организовать порядок в изучении природных объектов.

Система — это совокупность некоторых элементов, объединенных общей энергией и общей информацией (законами распределения системной энергии). *Элементы системы* — это любые объекты, которые для данной системы являются неделимыми, то есть их внутреннее строение не влияет на системные процессы. Все природные системы по их элементам можно разделить на геохимические (элементы систем — атомы химических элементов), биологические (элементы — живые клетки), экологические (элементы — организмы) и социальные (элементы — люди). Все системы внешне обособленны, отделены от окружающей среды защитной оболочкой: зоной закалки, геохимическим барьером, границей водоемов, кожей, шелухой, границей государства и т. д.

Объекты исследования геологии — геохимические системы [2]. Они очень разнообразны: минералогические, магматические, рудно-магматические, гидротермальные, метасоматические и т. д. Геолог сам выбирает, в каких границах и какие процессы важны для решения стоящих перед ним задач. Системный подход очень поможет разобраться с генезисом геологического объекта, в котором обычно много фаз, этапов, наложений и замещений. Если мы видим, что полевой шпат в граните замещается топазом, то эти минералы явно из разных систем: магматической и гидротермально-метасоматической. Зональность дайки или штока дает основание предположить длительное остывание магматической системы в камере, обеспечившее его расслоение на месте. Если же было неоднократное внедрение, то по границам пород появятся признаки защитной оболочки поздней обособленной системы, внедрившейся в старую структуру.

Самое неоднозначное, а потому интересное понятие в теории систем — системы *диссипативные*. Диссипативными называются открытые нелинейные неравновесные системы, в которых могут возникать новые структуры благодаря

проходящему через них потоку энергии [3]. Так живут все организмы: поглощают пищу, строят свое тело и часть энергии выделяют в окружающую среду. Геохимические системы получают энергию только один раз, при своем образовании, и, пока не остынут, могут быть диссипативными: строить внутреннюю структуру и рассеивать часть энергии, производя контактные изменения в окружающей среде. Исчерпав запас энергии, геохимическая система умирает, то есть процессы в ней прекращаются. Если потом к этой же точке пространства подходит тепловые потоки, гидротермальные растворы или новый магматический расплав, своей энергией они разрушают старую умершую систему и образуют новую, со своей энергией, своей защитной оболочкой и своим диссипативным отрезком жизни.

Нелинейное развитие. Развитие систем может идти линейно и нелинейно. Линейные процессы описываются простыми линейными математическими формулами. В них изменение одной величины (параметра) вызывает пропорциональное изменение другой величины (параметра). Нелинейные процессы идут по более сложным законам, математические выражения которых нелинейны. В принципе, весь нелинейный путь развития можно разложить на линейные или близкие к линейным отрезки. Переход от одного линейного отрезка к другому происходит через критические точки, которые могут выражаться в фазовых переходах, бифуркациях (на графиках — раздвоение, изменение направления), катастрофах (скачкообразное изменение), самоорганизации (зарождение новой структуры в старой).

Итак, в эпизоде 1, описанном выше, показано взаимодействие двух разновозрастных систем гранитов, а в эпизоде 3 — нелинейное изменение оптического параметра в полевых шпатах. Я вовсе не хочу обидеть авторов этих ошибок, но «истина дороже». Нельзя несерьезно относиться к геологической информации, которой так щедро делится с нами планета. Короче, «зри в корень!», как советуют классики.

Список литературы

1. Иванова В. Л., Дудник А. Н. Особенности рудно-магматической системы месторождения Тигриного // Рудно-магматические системы Востока СССР. Якутск: Якутский научный центр, 1991. С. 120—132.
2. Иванова В. Л. Природные системы и геоэкология. Владивосток: Дальнаука, 2000. 84 с.
3. Костюк В. Н. Изменяющиеся системы. М.: Наука, 1993. 352 с.
4. Кузнецова Л. Г. Применение инфракрасной спектроскопии для определения степени упорядоченности калиевых полевых шпатов // Минералогический сб. Вып. 1. № 25. Львов, 1971. С. 18—26.
5. Левашев Г. Б. Геохимия парагенных магматитов активных зон континентальных окраин (Сихотэ-Алинь). Владивосток: ДВО АН СССР, 1991. 380 с.
6. Руб М. Г., Токсубаева Г. П., Чернов Б. С. Особенности состава и генезиса вольфрамоносного магматического комплекса одного из районов Приморья // Сов. геология. 1969. № 4. С. 3—21.