

## ИТОГИ СТОЛЕТНЕГО ИЗУЧЕНИЯ ПЛАТИНОНОСНОГО ПОЯСА УРАЛА

© 2010 г. А. А. Ефимов

*Институт геологии и геохимии УрО РАН,  
620075, г. Екатеринбург, Почтовый пер., 7  
E-mail: efimov@igg.uran.ru*

*Поступила в редакцию 23.03.2010 г.*

Определение “габбро-пироксенит-дунитовая магматическая формация”, обозначающее множество пород Платиноносного пояса Урала, потеряло свое содержание. Далеко не все кристаллические горные породы глубинного облика, входящие в это множество, кристаллизовались из магмы. Пояс возник не в результате какого-то одного “акта творения”. В его веществе записана сложная история, не имеющая отношения к истории вмещающей Тагильской вулканической зоны. Пояс является составным образованием, состоящим из семи тектонически совмещенных единиц (комплексов), различающихся составом, структурой, генезисом, геодинамической обстановкой генерации и временем образования – от позднего архея до позднего силура. Объединение этих комплексов в эпоху горячей аккреции в позднем силуре и последующее перемещение в структуру верхней коры привели к возникновению единой линейной 1000-километровой структуры – Платиноносного пояса Урала. Происхождение трех из семи комплексов (дунит-пироксенитового, оливин-габбрового и габбро-норитового) остается в разной степени проблематичным.

Ключевые слова: *Урал, Платиноносный пояс, дунит, клинопироксенит, оливиновое габбро, тылаит, габбро-норит, гранулит, горячая тектоника, метаморфизм, изотопный возраст.*

### ВВЕДЕНИЕ

Платиноносный пояс Урала известен как рудный объект уже около 250 лет. Начало его петрологического изучения отмечено выходом в свет монографии Ф.Ю. Левинсон-Лессинга [32], за которой последовали работы Л. Дюпарка, Н.К. Высоцкого и А.Н. Заварицкого, составившие целую эпоху. За 110 лет Поясу посвящено более 30 монографий, а общий список публикаций разного достоинства насчитывает около 1000 названий. С недавних пор Пояс стал предметом всеобщего интереса. Во многих публикациях повторяются слова о его уникальности и огромной протяженности, о том, что по вопросу его генезиса нет единого мнения, и проч. Затем обычно следует длинная очередь ссылок, как правило, без учета ответственного веса работ, и можно подумать, что все содержащиеся в них высказывания равноценны. Действительно, Пояс уникален – второго такого нет. Действительно, длина его – 900, а может быть, 1000 километров. Действительно, Пояс изучается больше 100 лет, но до сих пор нет единого мнения о том, как он образовался. Пора бы подвести некоторые итоги, тем более, что за это время, главным образом за последние 50 лет, в изучении Пояса достигнуты большие успехи. Суть этих успехов состоит в том, что традиционные представления об этом природном объекте, до сего времени фигурирующем в учебной и обзорной литературе как пример магматиче-

ской формации, следует признать устаревшими.

Как известно, 40–50 лет тому назад незыблемое представление о гипербазитах альпийского типа как о магматических породах коренным образом изменилось. Теперь, по всеобщему мнению, все они суть мантийные реститы, никогда не бывшие магматической жидкостью. Однако и эта революция в глобальной петрологии не смогла адекватно объяснить связь гипербазитов и габбро. В современных моделях новейшая (а на самом деле Боуэнова) реститовая концепция генезиса перидотитов эклектически сочетается со старыми (и тоже восходящими к Н. Боуэну!) представлениями об образовании габбро в магматических камерах. Все эти 40–50 лет, согласно господствующей парадигме, Платиноносный пояс Урала рассматривался как цепь дифференцированных габбровых интрузий – магматических бассейнов, затвердевших в верхней коре. Другие трактовки обычно игнорировались.

Итоги многолетнего изучения Платиноносного пояса позволяют провести ревизию существующих представлений, а также экстраполировать полученные выводы на другие габбро-гипербазитовые объекты. Общие выводы из 100-летнего изучения этого российского объекта весьма серьезны.

### ГЕОЛОГИЯ

Для классиков русской и европейской петрографии “геолкомовского” периода геологическая съемка была методом исследования; но в последующее

время примеров совмещения академического изучения Платиноносного пояса с картированием почти не было. Тем не менее, именно результаты детальных геологических съемок позволили коренным образом изменить ранние представления о геологии Пояса.

### Открытие динамотермального ореола

Гипотеза Н.М. Успенского [43], отрицавшая какое-либо участие магмы в образовании Платиноносного пояса, не была просто беспочвенной фантазией. В Кытлымском массиве автор впервые обратил внимание на своеобразные горные породы, которые раньше не выделялись из габбро; назвал их “кытлымитами” и квалифицировал как основные мигматиты – полупродукт метасоматического превращения зеленых сланцев в габбро, а последних – в пироксениты и дуниты. Критики не могли ничего противопоставить оригинальным наблюдениям Н.М. Успенского, и у него появились последователи [1, 49 и др.].

Ревизия наблюдений Н.М. Успенского и новый материал по контактовым зонам позволили сделать надежный вывод о том, что Кытлымский массив не имеет признаков постепенного перехода к вулканогенному окружению, т.е. не является продуктом метасоматоза последнего [5]. Постепенно стало ясно, что кытлымиты – это, в принципе, очень сильно деформированные вулканиты, метаморфизованные в пироксен-роговиковой (гранулитовой низкого давления) и амфиболитовой фациях. Стало ясно, что кытлымиты, “габбро”, окружающие Нижне-Тагильский массив [27], “инъекционный полосчатый комплекс” [2] и “полосатые трапповые гранулиты” Баранчинского массива [33] суть одно и то же – “динамотермальный ореол” Пояса [8]. Породы динамотермального ореола были отделены от габбро на всем протяжении Пояса. Внешние контуры массивов были уточнены, размеры некоторых из них уменьшились, а промежутки между ними увеличились. Была создана схема строения Пояса в целом, принятая при составлении сводных геологических карт Урала [16]. Во многих современных публикациях она фигурирует уже как каноническая (рис. 1б). Таким образом, находка Н.М. Успенского, при всей уязвимости трактовки, имела далеко идущие последствия.

### Два структурных типа дунитовых тел

В структуру Платиноносного пояса входят содержащие самородную платину сравнительно небольшие (примерно до 25 км<sup>2</sup>) дунитовые тела округлой или изометрической формы, окруженные клинопироксенитовыми каймами (оболочками). Их относят к типу “зональных” (“концентрически-зональных”) ком-

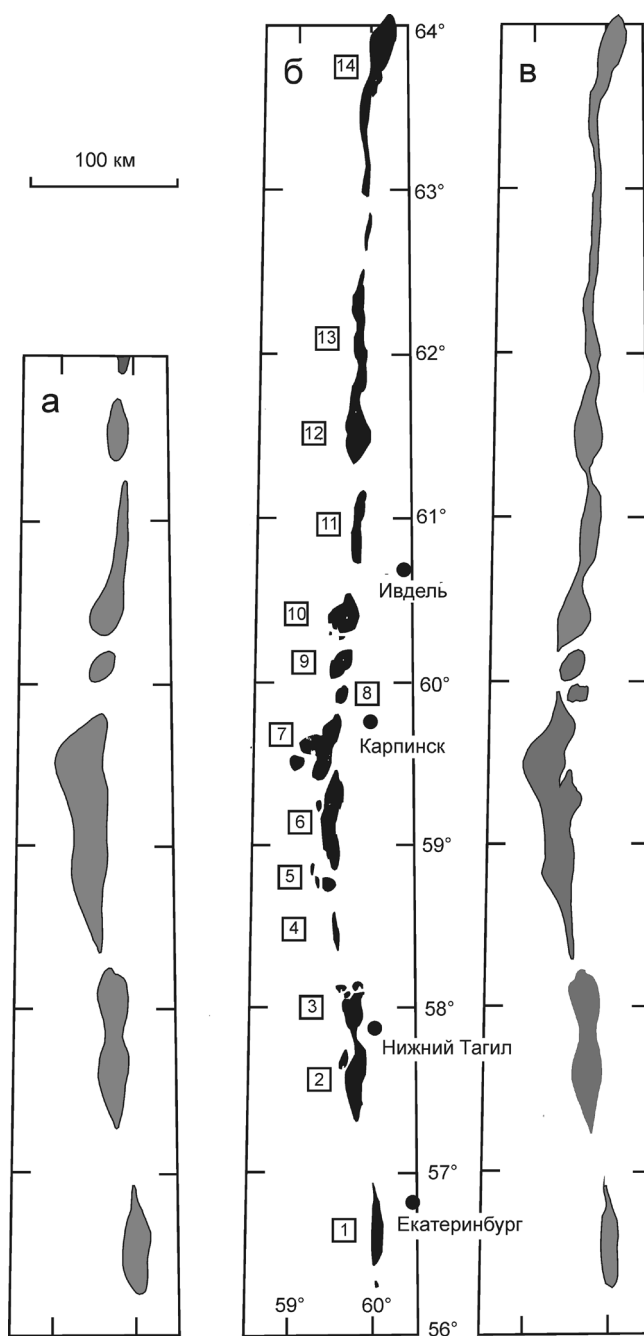
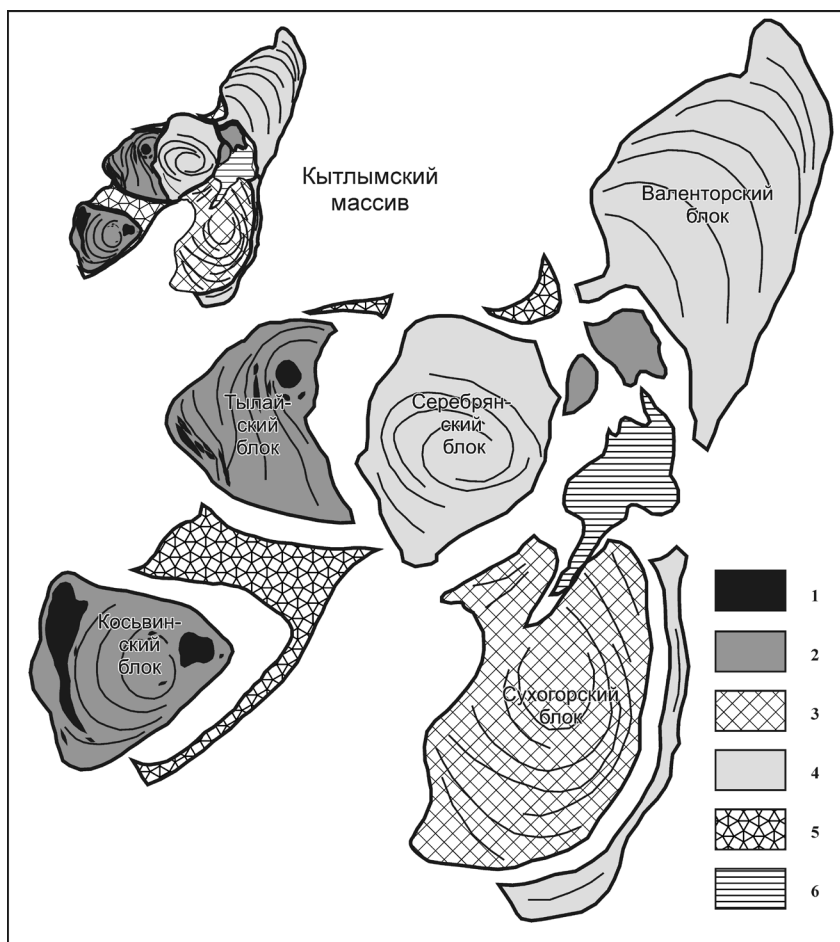


Рис. 1. Схемы Платиноносного пояса Урала.

а – контуры Пояса на геологической карте Урала 80-летней давности [4];

б – контуры Пояса на современных картах – результат отделения габбро-гипербазитовых массивов от метавулканитов динамотермального ореола. Цифрами 1–14 обозначены массивы, соответственно: Ревдинский, Тагильский, Баранчинский, Арбатский, Качканарский, Павдинский, Кытлымский, Княспинский, Кумбинский, Денежкинский, Помурский, Чистопский, Ялпинг-Ньерский, Хорасюрский;

в – контуры сегментов Пояса – перемещенных фрагментов глубинной зоны, включающих метавулканиты Динамотермального ореола (двупироксеновые гранулиты, амфиболиты).



**Рис. 2.** Структурные (блоки) и вещественные (комплексы) единицы Платиноносного пояса (пример – Кытлымский массив).

1 – дунитовые тела в Тылайском комплексе (горячем меланже), 2 – Тылайский комплекс, 3 – Сухогорский комплекс, 4 – Валенторский комплекс, 5 – динамотермальный ореол, 6 – Гранитоидный комплекс (плагиограниты). Не показан Серебрянский комплекс.

плексов, а один из уральских авторов предложил для них даже специальную аббревиатуру – КЗУМ [30]. Картированием установлено, что дунит в пределах Пояса слагает два типа тел: (1) “ядра” немногочисленных (если строго – всего четырех, а с некоторой натяжкой – семи) дунит-клинопироксенитовых тел, не связанных с габбро, наиболее отвечающих определению “зональный комплекс”, и (2) многочисленные тела, тесно связанные с пироксенитами и порфиорокласитическими габбро – тылаитами – в стратифицированных толщах. Как оказалось (см. ниже), структурные различия дунитовых тел имеют глубокий генетический смысл.

### Структурно-вещественные единицы

В Кытлымском массиве, огромном даже по уральским меркам (площадь его выхода – около 1000 км<sup>2</sup>) при картировании были выделены

дискретные единицы, названные “ассоциациями” – генетически однородные комплексы, различающиеся составом горных пород, структурой и историей формирования (рис. 2): один *габбро-гипербазитовый* (точнее, дунит-пироксенит-тылаитовый – “Западная ассоциация”); три *габбровых комплекса* – оливин-анортитовых габбро и троктолитов (“Сухогорская ассоциация”), габбро-норитовый (“Валенторская ассоциация”) и комплекс роговообманковых габбро (“Серебрянская ассоциация”), один *метавулканитовый* (динамотермальный ореол – “роговики”, точнее, дунит-пироксенитовые гранулиты, кытлымиты, амфиболиты) и, наконец, *гранитоидный* (в данном случае – плагиограниты). Всего, таким образом, 6 комплексов [15]. Позднее стало ясно, что в Кытлымском массиве отсутствует еще один, важнейший для понимания Пояса комплекс – автономные дунит-пироксенитовые тела, не связанные с габбро (эталон – Нижне-Тагильский массив),



**Рис. 3.** Нижне-Тагильский массив – эталон Тагильского комплекса (зональный комплекс Уральского типа), по Н.К. Высоцкому [3].

Дунитовое “ядро” – черное, клинопироксенитовая оболочка – серое, горизонтальная штриховка – тылаиты.

т.е. *зональный тип* в чистом виде (рис. 3). Перечисленные структурно-вещественные единицы (комплексы) фигурируют ниже под собственными именами:

1. Дунит-пироксенитовый – Тагильский комплекс;
2. “Сухогорская ассоциация” – Сухогорский комплекс;
3. “Западная ассоциация” – Тылайский комплекс;
4. “Валенторская ассоциация” – Валенторский комплекс;
5. “Серебрянская ассоциация” – Серебрянский комплекс;
6. Кытлымиты, роговики – Динамотермальный ореол;
7. Гранитоиды – Гранитоидный комплекс.

Из этих семи комплексов лишь три – (1), (2) и (4) – являются первичными, т.е. связанными с независимыми источниками. Комплекс (3) является результатом взаимодействия (1) и (2), а комплекс (5) – результатом высокотемпературной гидратации комплексов от (1) до (4). Комплекс (6) представляет собой продукт прогрессивного метаморфизма вулканитов под воздействием комплексов (1) – (4). Наконец, *Гранитоидный* комплекс (7) – высокостронциевые гранитоиды – интродуцирует все образования от (1) до (6). Картирование подтвердило, что эти семь единиц, выделенные объективно на геологической и количественной основе, вне зависимости от генетической трактовки, слагают Пояс на всем его протяжении, по-разному сочетаясь в разных массивах.

## Расшифровка структуры

В.А. Решитько [40] в начале 50-х гг. выполнил детальную съемку Качканарского массива и составил первую для Платиноносного пояса структурную карту. Та же методика структурной съемки была применена нами для других, более крупных и сложных массивов Пояса. Единые тела массивов были расчленены на крупные мегаструктуры, обычно с концентрическим (не смешивать с “КЗУМ”!) внутренним структурным рисунком, похожим на таковой воронкообразных (*funnel-shaped*) классических расслоенных интрузий. В.А. Решитько [40] называл их “брахисинклиналиями” и трактовал как расслоенные интрузии (рис. 2, 9, 10). Природа этих мегаструктур и характер их стыков еще долго оставались загадочными. Они стали гораздо более понятными с момента открытия в Платиноносном поясе явлений мощного пластического течения, деформации и метаморфизма [7].

## Горячая тектоника

Толчком к новому пониманию геологии Платиноносного пояса стало несколько запоздалое осознание того факта, что описанные еще Л. Дюпарком [56, 57] порфиroidные структуры тылаитов, иногда довольно категорически определявшиеся как порфиroidные [28], суть структуры *порфиroidкlastические, бластомилонитовые*, в которых записаны дробление, высокотемпературное пластическое течение и бластез. В разрезах, видимая мощность которых измеряется километрами, такие структуры свойственны не только тылаитам, но и переслаивающимся с ними пироксенитам и дунитам. Следовательно, эти разрезы практически на 100% сложены высокотемпературными тектонитами. Классическое представление о Поясе как о 900-километровой цепи магматических камер в верхней коре встретило непреодолимое препятствие. Здесь наиболее существенны три обстоятельства:

1. Внутренняя структура массивов Пояса сформировалась до их появления в толщах верхней коры в процессе мощного высокотемпературного пластического течения и динамометаморфизма, выразившегося в образовании огромных объемов горячих тектонитов; следовательно, структура массивов по отношению к “раме” является древней, а все массивы – аллохтонными.

2. Отчетливо проявленный метаморфизм по меньшей мере двух эпох (гранулитовой низкого давления и амфиболитовой), синхронный с главными этапами формирования структуры, ограничен контурами массивов и отсутствует в окружении, т.е. имел место тогда же и там же, где образовалась структура.



3. Источником тепла в этом метаморфизме (по существу, аутометаморфизме) были изначально горячие, медленно остывавшие глубинные габбро-гипербазитовые массы, на что указывают: (1) отсутствие  $PT$ -градиентов в контурах массивов и по простиранию Пояса и (2) отчетливый ретроградный  $PTt$ -тренд – от высокотемпературных (и безводных) к более низкотемпературным (и водным) событиям.

Стало очевидным, что в веществе массивов Пояса записана сложная тектоно-метаморфическая история, не имеющая отношения к истории вмещающей вулканогенной “рамы” [7, 10]. Главный структурный мотив новой “горячей тектоники” – массивы как результат объединения разнородных аллохтонных деформированных блоков, сложенных из одного или более вещественных комплексов, – нашел многочисленные подтверждения. Концентрические воронко- и мульдообразные, замкнутые и незамкнутые мегаструктуры блоков (“брахисинклинали”), как и тонкую структуру блоков (полосчатость, “расслоенность”), стало возможным рассматривать как динамометаморфические образования. Нашли рациональное объяснение многие до того загадочные особенности структуры Пояса, как, например, факт несовпадения структурного рисунка блоков с внутренними петрографическими границами, указывающий на то, что вещество (точнее, химическая субстанция пород) древнее структуры. Стало понятным “полицентрическое” строение массивов, в контурах которых несколько (в Кытлымском массиве – пять) крупных блоков с автономным структурным рисунком связаны древними горячими тектоническими швами. Из всего перечисленного последовали еще более важные выводы геодинамического свойства.

## ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

### Идея глубинной зоны

**Исходные соображения.** Горные породы, процессы их образования и преобразования на всем протяжении Платиноносного пояса в первом приближении одинаковы, различны лишь их сочетания и масштаб проявлений в разных массивах. Масштаб движений, деформации и метаморфизма несопоставим с видимыми размерами массивов – при очевидной их пространственной разобщенности на современном эрозионном срезе эти явления также одинаковы на всем протяжении Пояса. Следовательно, массивы суть не разобщенные центры магматической и метаморфической активности, а разобщенные аллохтонные фрагменты гигантского, первоначально единого, а затем расчлененного и эксгумированного тела, возникшего в условиях сжатия (следов дивергентных режимов нет)

и в особых термодинамических условиях. Местом тектоно-метаморфической эволюции (*но не генерации!*) исходного вещества Пояса могла быть некая древняя линейная *глубинная зона* протяженностью не менее 1000, в несколько десятков километров шириной, геодинамический смысл которой недостаточно ясен.

Присутствовавшее в зоне исходное вещество (комплексы Тагильский и Сухогорский) имеет черты образования в древних рифтах, возможно, разновозрастных. Зона была скорее местом их объединения, деформации и метаморфизма, образования на их месте производного Тылайского комплекса, присоединения более поздних комплексов – Валенторского, Динамотермального ореола и в результате – образования единого монолитного тела. В конце существования зоны единый монолит подвергся гидратации и был интродуцирован гранитоидами. Если считать результаты новейших изотопных геохронологических исследований заслуживающими доверия (см. ниже), зона существовала как единое целое, вероятно, очень долго – со времени 600–550 млн. лет, т.е. ранее возникновения Уральского орогена, до рубежа около 420–415 млн. лет. После этого она была расчленена, а ее сегменты длиной до 100 км и более были перемещены в позицию, близкую к современной. Образовалась линейная структура, называемая сейчас Платиноносным поясом Урала.

### Главные черты истории зоны

**Геологическим местом** зоны в относительно поздний период ее существования могло быть основание мощного вулканического накопления, возможно, вулканической дуги среднего ордовика. Глубина зоны не превышала 25, а скорее была близка к 10–15 км, о чем свидетельствуют абиссофобные минеральные парагенезисы (прежде всего, оливин + анортит) и крупные блоки метавулканитов в структуре Пояса. Контурные аллохтонных фрагментов зоны, разделенных лишь относительно небольшими участками формаций верхней коры, хорошо реконструируются по данным геологических съемок (рис. 1в). В целом вырисовывается почти непрерывное 1000-километровое тело с большой сохранностью древней структуры, едва ли перемещенное на значительное расстояние, – оно до известной степени отвечает образу “грандиозного горста” Н.К. Высоцкого [3].

**Режим метаморфизма.** Термодинамический режим метаморфизма в зоне был своеобразен: низкие или умеренные (менее 7–8 кбар) давления и высокие начальные температуры. *Первая особенность* этого метаморфизма состоит в том, что источником тепла был изначально горячий первичный мантийный субстрат. Он испытал медленное изобарическое охлаждение от температур, близких, возможно, к 1000°C, до температур высокой амфиболито-

вой ступени (примерно 700°C), о чем говорит ретроградный метаморфический тренд, резко обрывающийся на пике амфиболитового события. Тот же источник тепла был причиной поднятия изотерм во вмещающих вулканитах, по которым образовался Динамотермальный ореол. *Вторая особенность* заключается в отсутствии пространственных РТ-градиентов внутри массивов. Следовательно, массивы представляют собой равновесные во всем их объеме фрагменты единого тела зоны.

**Тектоно-метаморфическая история.** В веществе Пояса записаны следы двух тектоно-метаморфических эпох: ранней, протекавшей в динамической обстановке сжатия, – эпохи аккреции (безводной, гранулитовой низкого давления), и поздней эпохи, связанной с растяжением и гидратацией (водной, амфиболитовой) [10].

*Эпоха аккреции.* Процесс “слипания” твердых и горячих тел при температурах около 800–900°C в обстановке сухости, тектонического сжатия и пластического течения создал характерный ранний структурный рисунок зоны. Он сохранился во многих массивах Пояса: хаотическая смесь деформированных блоков с автономной структурой, связанных горячими тектоническими швами, композиционно простых, т.е. сложенных одним вещественным комплексом, или композиционно сложных, состоящих из двух или более комплексов. Все продукты ранней эпохи имеют типичные метаморфические микроструктуры и сложены четырьмя главными силикатами (оливин, два пироксена, плагиоклаз) с примесью оксидов. Концентрация магнетита может достигать масштабов богатой вкрапленности и сплошной руды (качканарский тип). Равновесная ассоциация оливин + анортит указывает на давления менее 7 кбар.

*Эпоха растяжения и гидратации.* Структура, созданная в раннюю эпоху, не несет следов более поздней пластической деформации. После ее формирования имел место период тектонической стабильности в изотермических и изобарических условиях – некая “большая остановка”. Далее произошла смена знака тектонических сил: началась *эпоха тектонического растяжения*, в общем деструктивная по отношению к эпохе аккреции. В консолидированной массе “сухих”, пластически деформированных блоков возникло множество хрупких разрывов, вдоль которых снизу, из некой водообильной области (зоны палеозойской субдукции?), проник водный флюид. Образовались линейные зоны и прихотливо очерченные ареалы высокотемпературного водного метаморфизма, безразличные к ранней структуре.

Все безводные минералы, слагавшие зону, по отдельности при данной температуре (около 700°C) устойчивы в присутствии воды. Поэтому все мономинеральные породы, а также все породы без плагиоклаза в данных условиях не имеют особых метаморфических эквивалентов. Однако в габбро при реакции между фемическими минера-

лами и плагиоклазом образуется обыкновенная роговая обманка, обычно сосуществующая с некоторым равновесным количеством избыточных плагиоклаза, клинопироксена, магнетита, оливина и зеленой шпинели. В богатых калием габбро-норитах записана реакция ортоклаз + ортопироксен (оливин) + H<sub>2</sub>O → биотит + кварц. Роговая обманка и биотит, таким образом, суть индекс-минералы эпохи, а все другие минералы суть общие, “сквозные” фазы обеих метаморфических эпох. Химический тренд клинопироксена, от бедного Са авгита до богатого Са салита с фассаитовым уклоном, фиксирует термическую историю Пояса – от ~1000°C для дораспадных составов ортомагматических пироксенов и 800–900°C – для гранулитовых пироксенов эпохи аккреции – до ~700°C – для клинопироксена, равновесного с роговой обманкой [21]. Тренд является равнодействующей двух факторов – понижения температуры и увеличения летучести кислорода в связи с появлением водного флюида. Гидратация сопровождалась метасоматическими изменениями – базификацией, реже гранитизацией исходного габбрового субстрата [17, 26]. Одновременно с флюидом и, по-видимому, из той же области проникли гранитоидные расплавы, образовавшие в твердой и еще горячей габбро-гипербазитовой матрице интрузивные тела и жильные штокверки. Химическое взаимодействие плагиогранита с матрицей в условиях высокой водонасыщенности часто приводит к его десиликации с образованием бескварцевых плагиоклазитов – “плагиаплитов” Л. Дюпарка [11, 20], сохраняющих морфологию магматических жил. Эпоха растяжения и гидратации вместе с синхронным гранитоидным магматизмом – последнее крупное событие, после которого последовали фрагментация единого тела зоны и перемещение его фрагментов в толще верхней коры.

### Парадоксы химической геодинамики

Недавняя попытка реанимировать представление о Платиноносном поясе как о цепи дифференцированных интрузий и дать геодинамическое толкование Пояса на базе новых геохимических и изотопных данных принадлежит интернациональной группе исследователей [44, 45, 51]. Они считают, что Пояс состоит из четырех единиц (серий): (1) дунит-клинопироксенит-габбровой (ДКГ-серия); (2) габбровой; (3) лейкогаббро-анортозит-плагиогранитной (ЛАП-серия) и (4) серии жильных мелкозернистых амфиболовых габбро (МАГ-серия). “ДКГ-серия” – это выделенные ранее (см. выше) Тагильский, Тылайский и Сухогорский, а “габбровая” – Валенторский и Серебрянский комплексы. “ЛАП-серией” названы плагиогранитные штокверки, десилицированные в зонах водного метаморфизма [11, 20]. “МАГ-серия”, к сожалению, трудно сопоставить с какой-либо из известных автору вещественных единиц Пояса.

Причиной возвращения к старой трактовке явилось открытие древних цирконов в дуните Косьвинского Камня [51]. Исходя, по-видимому, из простого убеждения (другие основания не очень убедительны), что дунит может быть только кумулятом какой-то магмы, авторы посчитали эти цирконы ксеногенными. По их мнению, цирконы были захвачены гипотетическим кремнеземистым расплавом, выплавившимся из гипотетических субдуцированных осадков. Поднимаясь, кислая магма вызвала частичное плавление перидотитов мантийного клина над зоной субдукции. Новая, гибридная магма мигрировала вверх в виде магматического диапира, из которого образовались горные породы Платиноносного пояса (или, по крайней мере, “ДКГ-серия”). Осевший из этой магмы дунитовый кумулят захватил ксеногенные цирконы.

Основанием для геодинамических выводов послужили новые геохимические данные, вносящие, по мнению авторов, важный вклад в понимание петрогенезиса и геодинамики Платиноносного пояса [44, 45]. Действительно, анализы на широкий спектр редких элементов, выполненные высокоточным методом ICP MS, позволяют судить о их концентрациях в отдельных единицах Пояса. Все различия в концентрациях связываются с различиями магматических источников, само существование которых, однако, проблематично. В первую очередь это касается дунитосодержащих комплексов – Тагильского и Тылайского. Главный вывод сводится к тому, что габбро, наиболее близкие к составу исходной гипотетической магмы “ДКГ-серии”, обладают геохимическими особенностями надсубдукционных образований. Авторы приходят также к выводу о генетической связи пород Платиноносного пояса и Тагильской зоны. На этот счет, правда, существует также основанное на геохимических данных мнение о том, что габбро-нориты Пояса (единственная группа, которую можно сравнивать с вулканидами) “не имеют эффузивных комагматов в известном формационном ряду магматитов Тагильской палеодуги” [50].

Попытаемся оценить результаты нового методического подхода.

Статистический результат не подлежит сомнению. Эти данные, даже с учетом приблизительности их привязки, подтверждают вывод о существовании в контуре Пояса дискретных, существенно различных комплексов. Однако главный вывод – о надсубдукционной природе Пояса, основанный на толковании спайдерграмм элементов, нормированных по MORB (рис. 4), встречает непреодолимые препятствия в самой своей основе. В только что опубликованной статье [54] приведены спайдерграммы для пород Кондёрского массива, близких к “ДКГ-серии” (рис. 5). Со-

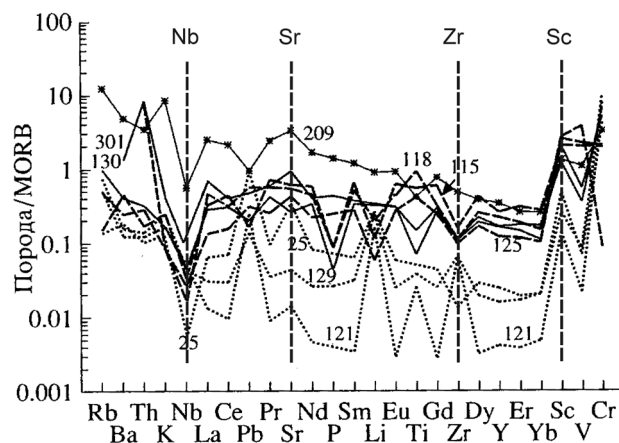


Рис. 4. Спайдерграмма редких элементов в породах “ДКГ-серии” Платиноносного пояса Урала [45].

Наиболее важные, с точки зрения авторов, геохимические аномалии отмечены графически. По принятому в настоящей статье делению Пояса, “ДКГ-серия” соответствует сумме Тагильского, Тылайского и Сухогорского комплексов (см. текст).

поставление данных, независимо от способа нормирования, позволяет сделать поразительный вывод: два, как предполагается, геодинамически совершенно различных объекта характеризуются идентичными геохимическими сигнатурами. Поскольку связь алданских массивов с зонами субдукции и островными дугами невероятна, следует считать, что выводы из цитированных геохимических данных по Платиноносному поясу теряют всякое доверие с точки зрения химической геодинамики.

В связи с этим можно упомянуть, что вывод об островодужной природе дунитов Платиноносного пояса был сделан также на основании независимых окситермометрических данных [47]. Однако вскоре практически такие же цифры летучести кислорода и температур оливин-хрошпинелевого равновесия были получены для Кондёрского массива [48]. Из этого следует, что можно говорить лишь о сходстве режимов, но не о геодинамической их природе.

Пожалуй, единственный вытекающий пока из геохимических данных, как, впрочем, и помимо них, надежный геодинамический вывод – это вывод о том, что Платиноносный пояс не является океаническим образованием.

## ПЕТРОГЕНЕЗИС

Сочетания перечисленных выше самостоятельных структурно-вещественных единиц в разных массивах разнообразны и демонстрируют сложное строение Пояса при ограниченном числе элементов этой “полиформационной” системы.



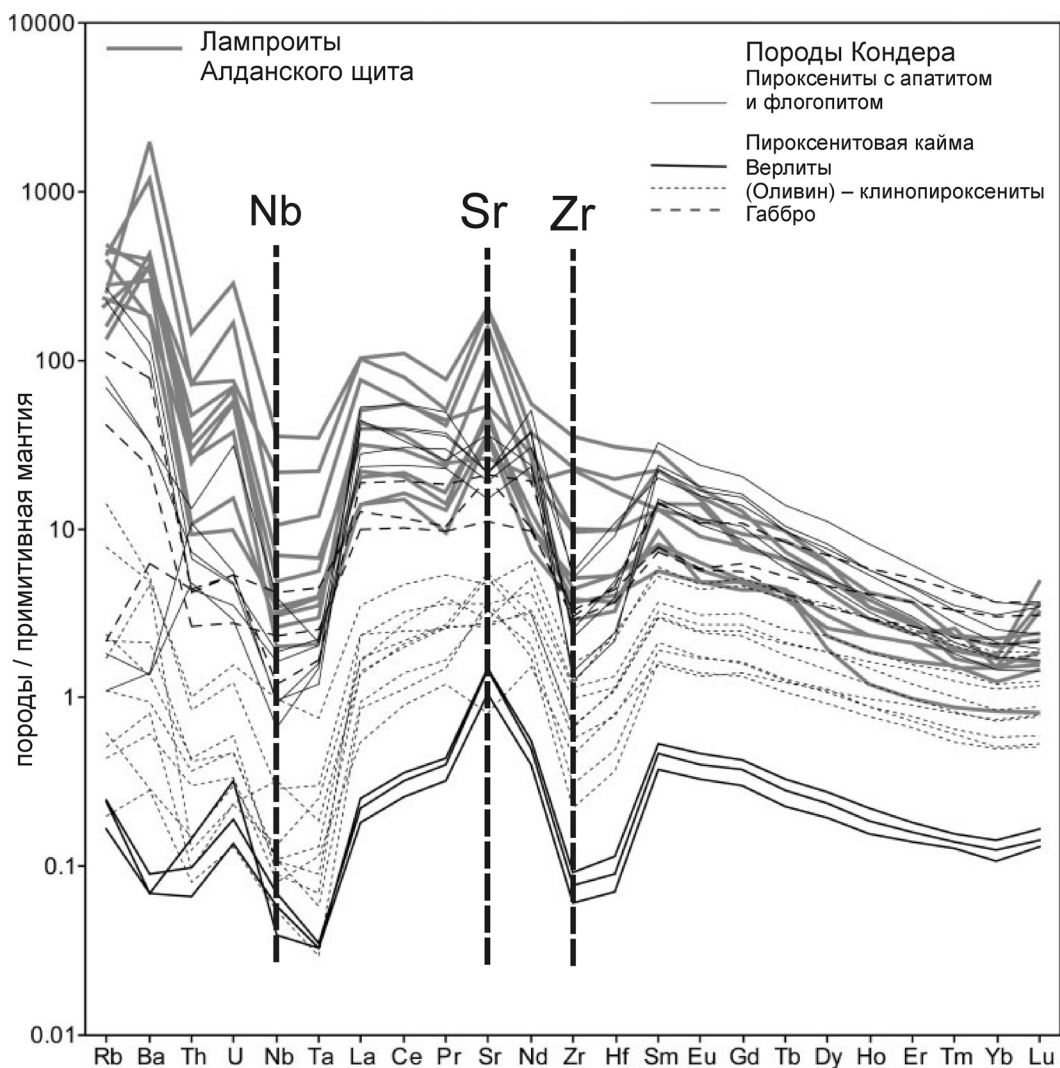


Рис. 5. Спайдерграмма несовместимых редких элементов пород, сопровождающих дунитовое ядро Кондерского массива (пироксенитов внешнего кольца, верлитов, габбро, апатит-флогопитовых пироксенитов центральной части) в сравнении с лампроитами Алданского щита (жирные графики в верхней части рисунка) по [54, 55].

### Тагильский комплекс

**Геологическая природа дунитовых тел.** Зональные дунит-пироксенитовые тела, с которыми связаны самые крупные в мире платиновые россыпи, долго рассматривались как магматические образования, генетически связанные с габбровой магмой. Л. Дюпарк [55, 56] полагал, что дунитовая жидкость внедрилась в уже твердые габбро, но позднее А.Н. Заварицкий [27] пришел к выводу, что дунитовая магма затвердела раньше габбровой, а пироксениты возникли при реакции последней с уже твердым дунитом.

Дуниты *всегда* окружены каймами (в пространстве – оболочками) пироксенитового или верлит-пироксенитового состава и *никогда* не соприкасаются с различными габбро непосредственно. Ранние представления о строении эталонного Нижне-Тагильского дунитового массива – “ядро” дунита с концентриче-

скими оболочками пироксенита и габбро [27] – пришлось признать ошибочными. Габбро оказалось кыльмитами, а дунит-пироксенитовое тело – геологически полностью обособленным. То же было установлено для Омутнинского тела, а до этого было уже достаточно очевидным для тел Вересового Бора и Светлого Бора. Все это постепенно привело к выводу о том, что тела Тагильского комплекса исходно геологически самостоятельны и генетически не связаны с габбро, хотя их пространственная связь с огромными массами габбро несомненна. Следовательно, они были включены в структуру Пояса *тектонически*, в эпоху высокотемпературной аккреции.

Подтверждение этого вывода пришло с неожиданной стороны (рис. 6). В 1950-х годах были открыты содержащие самородную платину дунитовые диапиры, интрузирующие кристаллический фундамент и осадочный чехол Алданского щита



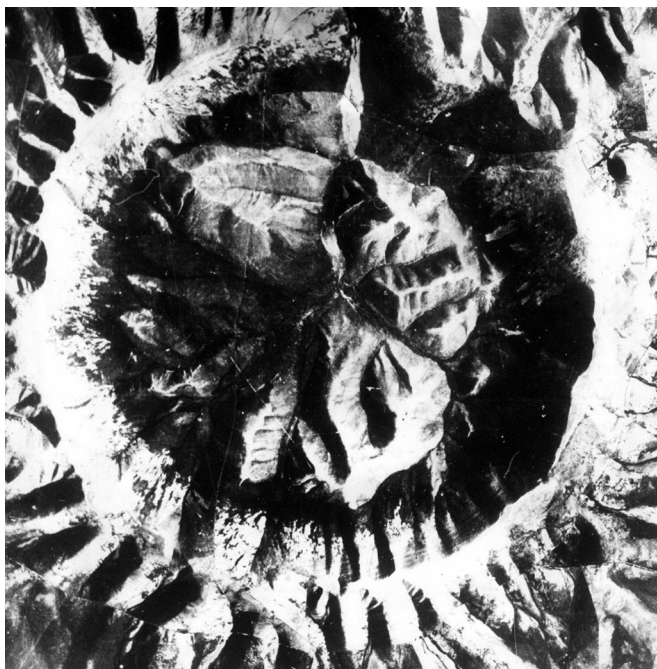


Рис. 6. Кондерский дунитовый массив – ключ к пониманию зональных комплексов Уральского типа.

Твердый и горячий мантийный диапир 5.5 км в поперечнике интрузирует кристаллический фундамент и осадочный чехол Алданского щита.

[41]. К ним неприменим традиционный образ магматической камеры, в которой образуются кумуляты. Резкие отличия в тектонике и в ансамбле сопровождающих пород как будто бы делали первую попытку отождествить алданские и уральские дуниты [6] сомнительной. Однако множество структурных, минералогических и геохимических данных объективно подтвердило вещественную идентичность “геосинклинальных” и “платформенных” платиноносных дунитов [14, 25, 37 и др.], из чего следует, что это вещество есть продукт одного и того же процесса. Фундаментальный факт наличия в Платиноносном поясе автономных, не связанных с габбро дунитовых тел Тагильского комплекса, вещественно идентичных алданским и генетически с ними единых, становится неоспоримым. Отсюда – парадоксальный вывод, заключающийся в том, что тела дунита в Платиноносном поясе представляют собой блоки чуждого Уральской складчатой области вещества платформенного типа.

**Соотношения дунита и пироксенита.** В абсолютном большинстве случаев понятие контакта между этими породами является чисто условным – все контакты в телах различной морфологии, при всем их внешнем разнообразии, имеют зональное строение. Зоны имеют переменную ширину, отдельные зоны могут быть редуцированы, но их последовательность остается неиз-

менной. Химический градиент в наиболее полном виде выражается в постепенной смене обычного хромитсодержащего дунита все более железистыми оливиновыми породами (метадунитами, оливинитами) с хроммагнетитом и магнетитом, зона которых столь же постепенно, по мере увеличения количества клинопироксена, сменяется верлит-пироксенитовой зоной с магнетитом и зеленой шпинелью (рис. 7). Такая схема универсальна для всех дунитовых тел в зональных комплексах (рис. 8). Ее трудно рассматривать иначе как результат **метасоматического** развития пироксенита по дуниту, сопровождавшегося выносом Mg (а также Cr, Ni) и **привносом**, по меньшей мере Fe, Ca, Si, Al (а также Ti, Mn, Co). Этот вывод, к которому пришел, следуя идее Н. Боуэна, еще А.Н. Заварицкий [27], в полном объеме сохранил свое значение и находит многочисленные подтверждения. Дунит представляется первичным твердым протолитом для всех оливиновых пород и всех пород верлит-пироксенитовой группы.

**Проблема платиноносного дунита.** Платиноносный дунит уральского типа является единственным связующим звеном двух, мало похожих одна

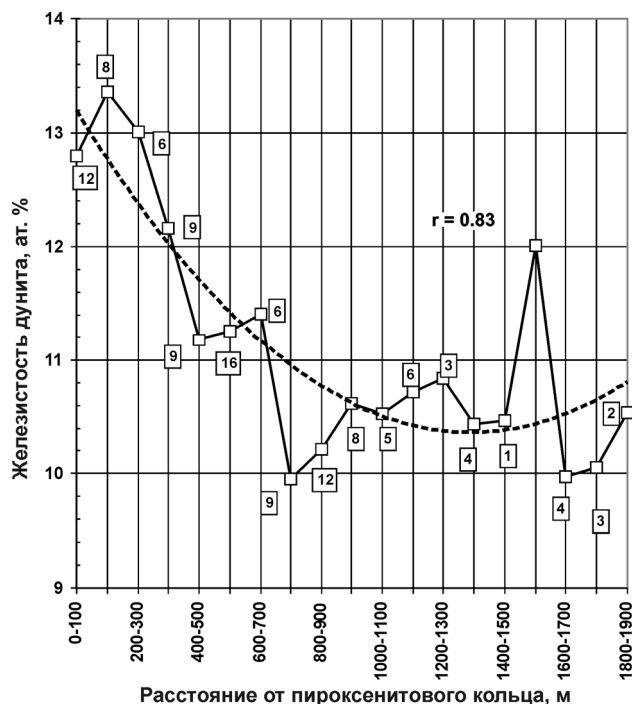


Рис. 7. Пространственная химическая зональность дунитовых тел (пример – “ядро” Кондерского массива) – ключ к пониманию ассоциации дунит-пироксенит.

Цифры на графике – количество анализов, использованных для вычисления средней железистости 100-метровых интервалов разреза.  $r$  – коэффициент корреляции тренда.



**Рис. 8.** Статистические графики, иллюстрирующие химическую эволюцию от “первичного” дунита к железистой оливниновой породе, в зональных комплексах различных геодинамических обстановок.

*Детальные разрезы:* 1, 3 – горячего меланжа Денежкина Камня (1) и Кытлымского массива (3); 6 – Иовского тела; 7–9 – Кондерского, Нижне-Тагильского, Уктусского массивов, 10 – тела Желтой Сопки. *Статистические данные:* 2 – Гулинский массив; 4 – Маймеча-Котуйская провинция; 5 – Кольский полуостров; 11 – Инаглинский массив.

на другую, природных ассоциаций. Постоянство состава и платиноидной минерализации уже само по себе может говорить об универсальности, “глобальности” порождающего его глубинного процесса. Пока можно лишь утверждать, что этот процесс свойствен мантии платформенных областей Земли; в современных и древних океанических образованиях платиноносный дунит не обнаружен. Однако верхняя мантия платформ, судя по глубинным включениям в кимберлитах и базальтах, имеет гарцбургит-лерцолит-эклогитовый, но не дунитовый состав. В то же время, все интрузии мантийного твердого вещества на платформах представлены исключительно дунитом уральского типа.

Отсюда, вполне логичное, однако, умозрительное предположение: дунит не слагает мантию платформ, он *зарождается* в каких-то особых зонах при каких-то, недостаточно пока понятных, условиях, а затем проникает в кристаллическое основание или даже в осадочный чехол платформ, т.е.

фактически на уровень дневной поверхности, в виде твердо-пластичных диапиров, трубчатая форма которых возникает как энергетически наиболее выгодная. Возможно, что дунитовые тела типа алданских суть лишь незначительные апофизы таких зон. Остается также недостаточно ясным, при каких условиях это вещество вовлекается в структуру складчатых областей (Урал, Корякия, Аляска). Следовательно, *механизм* образования этого вещества остается неясным. С одной стороны, дунит не может рассматриваться как *кумулят* каких-либо магм. С другой, если считать его предельно деплетированным мантийным *реститом*, то совершенно неясно, какие мантийные выплавки ему соответствуют. Отсюда – многочисленность спекулятивных моделей генезиса зональных комплексов.

### Сухогорский комплекс

Этот комплекс, слагающий в структуре Платиноносного пояса крупные блоки, сложен серией пород от оливнинового габбро до троктолита, как правило, отчетливо полосатой или имеющей хаотическое строение, с постепенными переходами от меланократовых габбро до анортозитов. Все эти породы содержат анортит в парагенезисе с оливином  $\text{Fa}_{20}\text{--}\text{Fa}_{30}$ , клинопироксеном, магнетитом, ильменитом и зеленой шпинелью. Железистые оливниновые породы и породы верлит-пироксенитового ряда присутствуют в габбровой матрице в виде небольших, обычно линзовидных тел.

Происхождение оливин-анортитовых габбро, не имеющих химического эквивалента среди вулканитов, – одна из самых глубоких петрологических проблем, которую здесь нет возможности рассматривать. Они никогда не проявляют себя геологически как жидкость и не имеют признаков кристаллизации из жидкости, напротив, обнаруживают массу особенностей, присущих породам высоких фаций метаморфизма – типично метаморфические структуры, высокоравновесные парагенезисы, высокотемпературные пластические деформации и т.д. Кристаллизация некоторых их разновидностей (троктолитов) из расплава недвусмысленно запрещена надежными экспериментальными данными по модельной системе анортит-форстерит [9]. Их полосатые текстуры (“расслоенность”) образовались в результате двух синхронных процессов: высокотемпературного пластического течения и метаморфической дифференциации, сопровождаемых синтетектонической рекристаллизацией. Строго говоря, полосатые габбро следовало бы определить как фемические гнейсы специфического состава [7].

Оливин-анортитовые габбро слагают моновариантные серии, в которых составы плагиоклаза и фемических минералов постоянны, не зависят от их количественных соотношений и не коррелируют со стратиграфией разрезов. Особенно показатель-

но для таких серий распределение Sr: породы представляют собой как бы механическую смесь двух конечных членов – фемических минералов (практически не содержащих Sr) и плагиоклаза с *постоянным* для каждой серии содержанием Sr. Этот факт можно объяснить только тем, что в момент формирования этих пород концентрация Sr в минеральной фазе определялась не его концентрацией в данном объеме, а уровнем *химического потенциала* Sr в эквипотенциальной системе метаморфического типа. Сухогорские габбро очень близки к “примитивным” габбро 3-го слоя океана, образование которых может быть связано с процессом *рециклинга* древней литосферы. Их протолитом, как и у “примитивных” габбро океана, может быть эклогит – тугоплавкий остаток плавления древней литосферы в зонах субдукции [8, 13].

Однако здесь есть некоторая неясность: океанские габбро сопровождаются огромными массами мантийного перидотита (точнее, последние сопровождаются небольшими массами габбро). В Сухогорском комплексе нет каких-то “своих” гипербазитов, которые должны были бы сопровождать оливин-анортитовые габбро, хотя, *по общим соображениям*, они должны были бы существовать. Вопрос остается неясным. Нет признаков того, что таким отсутствующим членом Сухогорского комплекса могли бы быть огромные массы платиноносного дунита, а те небольшие тела пироксенитов, верлитов и метадунитов, которые присутствуют в оливин-габбровой матрице, суть тектонические фрагменты Тагильского и Тылайского комплексов.

### Тылайский комплекс (горячий меланж)

Картированием установлено, что единственной формой тесного сонахождения дунитов и габбро являются толщи тектонитов Тылайского комплекса, в которых дуниты (тела 2-го структурного типа – см. выше) слагают тектонические блоки и линзы в стратифицированной пироксенит-тылайитовой матрице.

Тылайский комплекс, первоначально названный “Западной ассоциацией” [15], слагает в сегменте Платиноносного пояса от 58°40' до 60°40' с.ш. четыре крупных блока с хорошо выраженным концентрическим центриклинальным структурным рисунком (рис. 9). Все они приурочены к тому отрезку Пояса, на котором присутствуют крупные автономные дунитовые тела, и непосредственно с ними соседствуют. Тела комплекса – это монолитные блоки, в структуре которых переслаиваются дуниты, пироксенит-верлитовые породы, порфиридные оливиновые габбро (тылайты Л. Дюпарка) и “обычные” оливин-анортитовые габбро сухогорского типа (рис. 10). Другие элементы в составе комплекса не установлены. Блоки различаются, в первую очередь, долей дунита, – от чрезвычайно насыщенных

дунитовыми телами Тылайского и Косьвинского блоков к “малодунитовому” блоку Денежкина Камня. В Качканарском блоке содержатся лишь реликты дунита (тела магнетитовых оливинитов).

Крайне сложные соотношения элементов комплекса временами приводили наблюдателей к ошибочным выводам, например, о присутствии в тылайт-пироксенитовой толще реликтов осадочных пород [29]. Высказанное в свое время предположение о том, что комплекс возник путем послонного метасоматического замещения крупных дунитовых интрузий [15], также пришлось признать ошибочным [7]. По имеющимся данным, в дунит-пироксенит-тылайитовых разрезах записан процесс высокотемпературного тектонического смещения фрагментов Тагильского и Сухогорского комплексов. Гетерогенная смесь твердого и горячего вещества, имевшая реологические свойства вязкой жидкости, была пластически деформирована с образованием характерных концентрических мегаструктур – “брахисинклиналей” [40]. Морфологическое сходство последних с расслоенными интрузиями дает основание разным авторам время от времени возвращаться к трактовке 50-летней давности [45]. Вывод о тектоно-метаморфической природе Тылайского комплекса делает понятным целый ряд важных фактов:

1. Хаотичность химической структуры разрезов, отсутствие корреляции состава пород со стратиграфией блоков (в частности, присутствие дунитовых тел на всех горизонтах разрезов).

2. Наличие тектонических дунитовых тел (линз, пластов, “жил”, “силлов”) в пироксенит-тылайитовой толще.

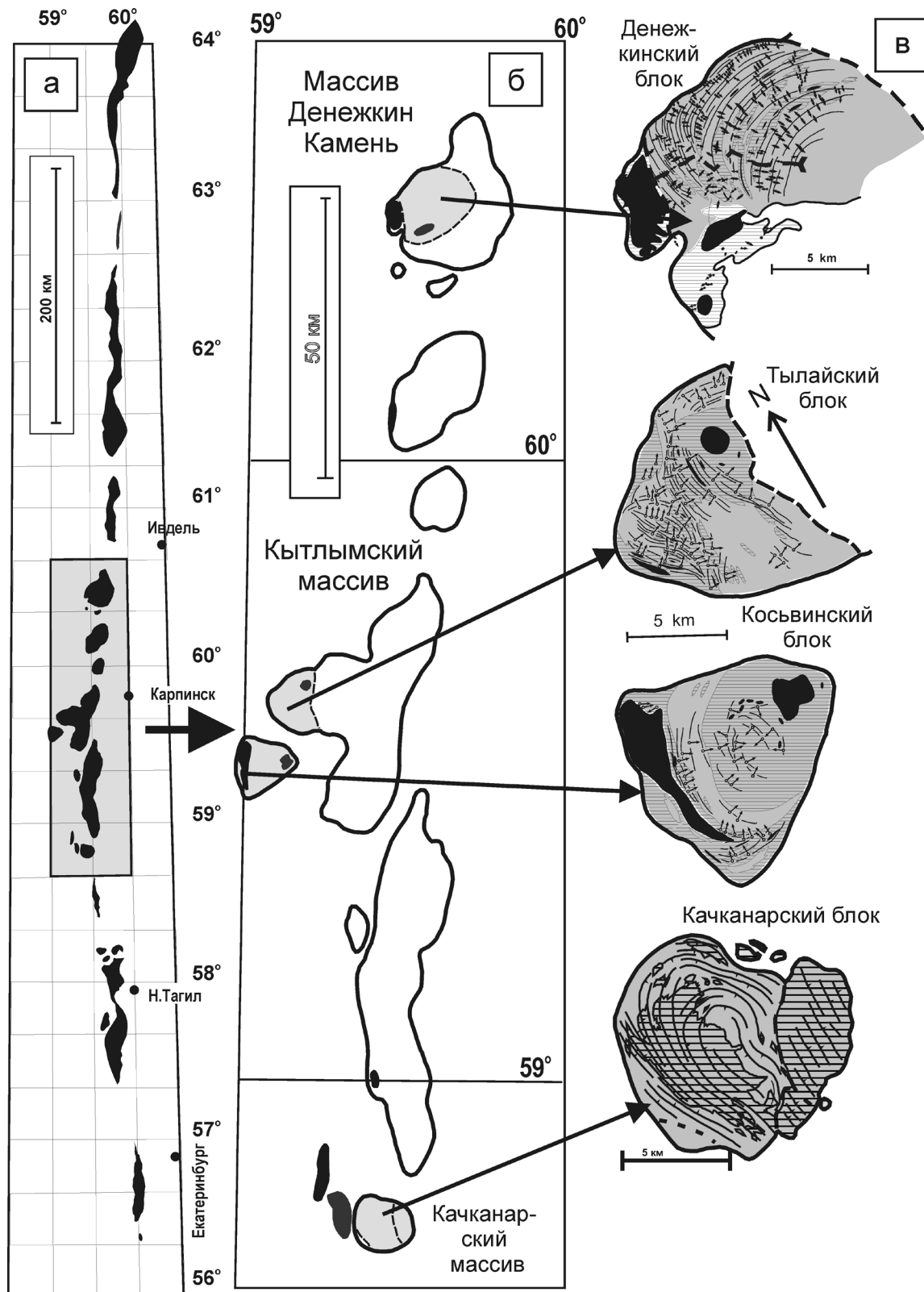
3. Несогласие структурного рисунка блоков с петрографическими границами внутри них, указывающее на то, что химическая субстанция пород древнее структуры.

Для Тылайского комплекса предложен термин “горячий меланж” [10]. Образование горячего меланжа сопровождалось диффузией, химическим обменом между компонентами смеси и метаморфической дифференциацией. Это привело, в конечном счете, к появлению в первом приближении химически абсолютно непрерывного, но хаотически распределенного в пространстве, петрографического ряда – от оливиновой породы до пироксенита и анортозита, уравновешенного в рамках гранулитовой фации низкого давления. В ряде случаев можно предполагать привнос вещества из внешнего источника, выразившийся в появлении разностей тылайитов, обогащенных щелочами и редкими элементами [15, 18, 19].

### Валенторский комплекс

Валенторский комплекс по составу пород резко отличается от всех других. Он сложен габбро-





**Рис. 9.** Блоки Тылайского комплекса (горячего меланжа) в структуре Платиноносного пояса.

а – схема Пояса в целом, черная заливка – массивы, серая заливка – область распространения Тылайского комплекса; б – схема строения сегмента Пояса, в пределах которого присутствуют блоки горячего меланжа (серая заливка), черная заливка – наиболее крупные дунитовые тела, автономные или интегрированные в горячий меланж; в – структурные схемы блоков горячего меланжа, черное – дунитовые тела, штриховка – клинопироксениты, серая заливка – тылаиты и оливиновые габбро.





**Рис. 10.** Структура блока горячего меланжа Денежкина Камня (мелкомасштабный аэроснимок).

норитами, среди которых можно выделить первичный тип и метаморфизованные, “модифицированные” разновидности. Первичный тип представлен лабрадорowymi габбро-норитами офитовой структуры, обогащенными калием, обычно однородными до монотонности, лишенными полосатых текстур, рудных и пегматоидных сегрегаций. Элементы других комплексов встречаются в них крайне редко как небольшие включения (блоки, ксенолиты?). Габбро-нориты представляют собой довольно узкую химическую группу, примерно соответствующую глиноземистым толеитам островных дуг. Их первичный парагенезис включает два пироксена (бедный Са авгит с железистостью до 40 и гиперстен – до 50 ат. %), лабрадор  $An_{50}-An_{65}$ , ортоклаз, довольно часто оливин или кварц и примесь титаномагнетита. По совокупности признаков габбро-нориты первичного типа всегда рассматривались как ортомагматические породы. Метаморфизм первичных габбро-норитов в *PT*-условиях гранулитовой фации низкого давления, под влиянием собственного остаточного тепла и внешних тектонических воздействий, дает широкий спектр “модифицированных” габбро-норитов – дупироксеновых габбро, имеющих примерно тот же минеральный состав. Этот процесс сопровождается пластической деформацией, синтетектонической рекристаллизацией, выносом калия (с исчезновением ортоклаза), понижением железистости пироксенов [10], а в присутствии воды – реакцией ортоклаза и гиперстена с образованием биотита. Структуры пород при этом все более приближаются к гранобластовым и бластомилонитовым.

Однако петрогенезис Валенторского комплекса, слагающего около половины объема Платиноносного пояса, не столь ясен. Нет геологических доказательств того, что габбро-нориты образуют магматические интрузии в более древней матрице, – объективно все габбро-норитовые тела представляют собой блоки с тектоническими внешними ограничениями. Нет достоверных признаков существования дайковой серии габбро-норитов и их комагматов среди тагильских вулканитов [50]. В больших массах габбро-норитов не обнаружено интрузивных фаз и повторных внедрений. Из этого как будто бы следует, что кристаллизация магмы, не сопровождавшаяся фракционированием, должна была происходить в камерах грандиозных размеров, заполненных жидкостью в один прием. Однако грандиозные магматические камеры не обнаружены даже в срединно-океанических хребтах, где их наличие представлялось более чем вероятным [13]. Наконец, в габбро-норитах не обнаружены включения – фрагменты из области магнезиализации. Обнаружены лишь мелкозернистые (“роговиковые”) включения, отличающиеся от габбро-норита единственно микроструктурой. На все эти вопросы пока нет даже приблизительных ответов. Однако достаточно ясно, что Валенторский комплекс геологически и генетически автономен.

### Серебрянский комплекс

Серебрянский комплекс – это зоны гидратации (водного метаморфизма), наложенные на раннюю структуру Платиноносного пояса. Водный флюид проникал в деформированную, монолитную, горячую (около  $700^{\circ}\text{C}$ ), уравновешенную в условиях гранулитовой фации низкого давления и на тот момент совершенно безводную кристаллическую матрицу по линейным зонам проницаемости. Условно можно выделить три геологических типа проявлений Серебрянского комплекса. *Рассеянный* тип – это хаотически распределенные, не связанные между собой каймы, симплектиты, прожилки, пойкилообласты роговой обманки, встречающиеся очень часто, в том числе и в пределах реликтовых “сухих” блоков. *Линейный* тип свойствен локальным зонам растяжения – подводящим каналам водного флюида, таким, как мощный горячий шов между Качканарским и Гусевогорским блоками [20] или еще более мощный шов Кумбы, в котором синхронно проявились водный метаморфизм, пластическое течение, гранитизация и, возможно, селективное плавление габбрового субстрата [26]. Наконец, *ареальный* тип фиксируется обширными полями, в которых преобладают роговообманковые габбро. Ареалы имеют прихотливые очертания и накладываются на структуры ранней эпохи, не подчиняясь им, пересекая зоны сочленения вещественных комплексов и блоков. (классический

пример – Серебрянский ареал в центральной части Кытлымского массива) [15], представляющий собой, по сути дела, гигантскую брекчию, в которой блоки анортит-роговообманковых “габбро” (габбро-амфиболитов) цементируются роговообманковыми пегматитами и анортозитами. При первом знакомстве с этой серией возникает впечатление полного хаоса, однако стабильность состава минералов позволяет считать Серебрянский комплекс, пожалуй, наиболее равновесным среди габброидных комплексов Платиноносного пояса. Однозначным индикатором процесса гидратации являются габбровые парагенезисы, в присутствии водного флюида неустойчивые и продуцирующие обыкновенную роговую обманку. Ее состав колеблется в широких пределах, но не может быть произвольным, в силу чего, даже в случае избытка воды, может образоваться только равновесное ее количество. При этом возникает некоторое количество избыточных фаз, устойчивых в данных условиях – плагиоклаза, пироксенов, оливина и оксидов. Отсюда становится понятной широкая изофациальная ассоциация горных пород, обычная для ареалов Серебрянского комплекса: роговообманковые, диопсид-роговообманковые, реже оливин-роговообманковые “габбро” (строго говоря, *габброподобные амфиболиты*), габбро-пегматиты и анортозиты, горнблендиты, пироксениты, верлиты, оливиновые породы. Водный метаморфизм сопровождается, как правило, заметными метасоматическими изменениями исходного субстрата – базификацией, реже – гранитизацией.

### Динамотермальный ореол (ДТО)

Попытки понять сущность этой единицы Пояса – от первых упоминаний о “полосатых трапповых гранулитах” [33] до формулировки понятия “динамотермальный ореол” [8] – заняли несколько десятилетий. Породы ДТО – это деформированные метавулканиды преимущественно базальтового состава с редко встречающимися реликтивными вулканическими структурами. Они мелкозернисты; им свойственны тонкополосчатые (но не сланцеватые!) динамометаморфические текстуры, в которых можно различить участки с ламинарной полосчатостью, складки течения, плойчатость, зоны инъекций и собирательной рекристаллизации, сегрегации светлого и темного материала, наконец, будины и тектонические блоки тех же гранулитов и пород эндоконтакта массивов. Ранние парагенезисы соответствуют гранулитовой фации низкого давления, поздние – амфиболитовой фации (роговая обманка + плагиоклаз  $An_{40}-An_{60}$ ).

В свое время породы с безводными парагенезисами, названные роговиками, рассматривались как доказательство горячего контакта массивов с вулканическим окружением. Это определение и

сейчас (в том смысле, что “роговики”, а точнее – гранулиты образовались при воздействии габбро-гипербазитовых масс) остается в силе. Однако, достоверные случаи температурной зональности в контактах “роговиков” с вулканитами Тагильской зоны отсутствуют. Крупные блоки пород ДТО “впаяны” в структуру массивов, а крупные блоки гипербазитов и габбро цементируются гранулитовой матрицей (случай гор Синея, Голой и Толстой в Баранчинском массиве). Все это позволяет рассматривать ДТО не просто как контактовый ореол массивов, а как аллохтонный на данном эрозионном срезе метаморфический комплекс, образовавшийся в глубинной зоне по вулканитам палеозойской коры и эксгумированный вместе с габбро-гипербазитовыми блоками [10].

### Гранитоидный комплекс

С тем же событием тектонического растяжения связано внедрение гранитоидной магмы. Высокостронциевые гранитоиды прорывают все структуры и вещественные комплексы Пояса, в том числе и ДТО. Они являются составной частью структуры Пояса и так же аллохтонны по отношению к вулканогенной “раме”, как и сами массивы. Области гранитообразования не вскрыты нигде на современном эрозионном срезе. Гранитоиды, внедряясь из корневой области глубинной зоны на более высокие уровни, выполняют камеры, возникшие при расхождении (расколе) крупных габбро-гипербазитовых блоков. Состав гранитоидов различен по простиранию Пояса: так, например, на участке от Тагильского до Кытлымского массива они представлены плагиогранитами, в то время как в структуре Денежкина Камня – тоналитами [12]. Их общая геохимическая черта – высокие содержания стронция. Это может означать, что синхронные эпизоды гранитообразования в глубинной зоне Пояса были связаны с габбровым субстратом, однако магматические очаги были разобщены. Сиениты Кушвинского и Тагильского массивов, имеющие, по новейшим данным, тот же цирконовый изотопный возраст и те же геохимические черты, что и гранитоиды [45], прорывают габбро-нориты и динамотермальный ореол, что можно наблюдать в районе Естюнинского месторождения. Однако, по-видимому, они прорывают и вулканогенные толщи Тагильской зоны, где с ними связаны Гороблагодатский и Высокогорский рудные узлы [35]. Внедрение сиенитов, возможно, следует рассматривать как единственный магматический эпизод, имевший место уже после перемещения Пояса на уровень верхней коры. Эпоха растяжения и гидратации с синхронным гранитоидным магматизмом, включая появление сиенитов, – последнее серьезное событие в истории Платиноносного пояса.

### Относительная последовательность событий

Нет геологических доказательств того, что массивы Пояса интродуцируют вмещающие вулканиты Тагильской зоны, а слагающие их монокристаллические блоки – друг друга, – магматические контакты достоверно не наблюдались. Доступные непосредственному наблюдению стыки блоков можно квалифицировать как *горячие швы* (Денежкин Камень, Кытлымский и другие массивы). В некоторых случаях эти зоны подновлялись в эпоху растяжения и гидратации (Качканарский и Кумбинский массивы). Наиболее ранние горячие швы, связывающие воедино тела разных комплексов, наблюдаются внутри блоков и не выходят за их внешние контуры (Сухогорский блок, в структуре которого “спаяны” оливиновые габбро и габбро-нориты).

Геологически однозначные возрастные отношения отмечаются в единственном случае: гранитоиды прорывают все без исключения структурно-вещественные единицы Пояса. Почти столь же уверенно можно судить об относительном возрасте Серебрянского комплекса: во времени он занимает место между гранитоидами и всеми другими комплексами, а время его образования чрезвычайно близко ко времени внедрения гранитоидов. Гранитоиды прорывают роговообманковые габбро и в то же время десилицируются в зонах гидратации (ареалы типа Черноисточинского).

Тагильский и Сухогорский комплексы выступают как независимые, связанные с разными источниками и наиболее ранние единицы, возрастные соотношения между которыми неясны. Однако их вещество, фрагменты и реликты слагают тектоническую смесь горячего меланжа Тылайского комплекса, из чего следует, что он образовался тогда, когда Тагильский и Сухогорский комплексы уже существовали. Ни одна из этих трех единиц не содержит вещества Валенторского комплекса – ни в виде магматических внедрений, ни в виде включений или тектонических блоков. Принимая во внимание, напротив, наличие включений (скорее тектонических, чем ксенолитов) этих трех единиц в габбро-норитах, можно предполагать, что Валенторский комплекс появился после того, как образовался горячий меланж.

В какой-то момент истории глубинной зоны Платиноносного пояса габбро-гипербазитовые блоки пришли в контакт с вулканическим материалом Тагильской зоны, преимущественно базальтовым, деформируя его и преобразуя в тонкополосчатые двупироксеновые гранулиты (“роговики”), которые становятся еще одной единицей Пояса (ДТО). Наконец, в эпоху горячей аккреции все эти разнородные элементы были тектонически объединены, а затем, со сменой знака тектонических сил, претерпели мощный водный метаморфизм с образованием роговообманковых габбро,

синхронный или почти синхронный с внедрением гранитоидных расплавов. На этом история глубинной зоны закончилась. Единое тело зоны было фрагментировано и перемещено в вулканические толщи верхней коры.

### ИЗОТОПНАЯ ГЕОХРОНОЛОГИЯ

Данные по изотопному возрасту Платиноносного пояса, полученные **U-Pb и Sm-Nd методами на современном уровне точности**, появились чуть более 10 лет тому назад. Начало нового методического периода отмечено кратким сообщением Д. Бош о датировании U-Pb методом (SIMS) циркона из габбро Кумбинского массива [53]. Позднее появились хорошо документированные возрастные данные, которые датируют критические точки истории Пояса.

### Древнейшие образования

Для дунитов, слагающих автономные зональные тела, пока имеется единственная изотопная датировка, полученная методом SIMS (SHRIMP-II) по циркону из Нижне-Тагильского массива [36]. U-Pb данные в координатах  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ – $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  демонстрируют наличие трех возрастных кластеров. Первый соответствует возрасту  $585 \pm 29$  млн. лет, второй представлен единственным значением  $1608 \pm 56$  млн. лет, третий кластер составляют остальные точки измерения, локализованные в диапазоне от  $2656 \pm 21$  до  $2852 \pm 59$  млн. лет (поздний архей). По-видимому, архейские U-Pb данные характеризуют собственный циркон дунита и датируют временной диапазон, возможно, близкий к моменту генерации дунита в субконтинентальной мантии. Более “молодая” датировка  $585 \pm 29$  млн. лет, не входящая в этот диапазон, возможно, имеет отношение к эпохе образования горячего меланжа, следы близкого соседства с которым в прошлом (тылайский участок по речке Зотихе) сохранились в Нижне-Тагильском массиве. Все это подтверждает вывод о генетической самостоятельности уральских дунитовых “ядер” и позволяет считать их наиболее древними образованиями – блоками архейского вещества, тектонически включенными в структуру Платиноносного пояса.

Более чем вероятно, что многочисленные дунитовые тела горячего меланжа (Тылайского комплекса) являются фрагментами Тагильского комплекса. Первые результаты изотопного датирования цирконов из дунита крупного тела Косьвинского Плеча [51] дали **U-Pb возрастные кластеры в диапазоне 1802–315 и 2838–333 млн. лет**. Выделяется 4 популяции циркона: 1-я (4 зерна, возраст от ~1200 до ~2840 млн. лет); 2-я (2 зерна, от 410 до 430 млн. лет); 3-я и 4-я (14 зерен, от 327 до 352 млн. лет). Эти данные весьма противоречивы и не поддаются однозначной интерпретации. С одной стороны, древ-



ние цифры согласуются с древней датировкой Тагильского комплекса. С другой – силурийские события, “глобально” проявленные в Платиноносном поясе, не были представительно отражены U-Pb системой цирконов. Наконец, малопонятной остается кластер в диапазоне 330–350 млн. лет, поскольку в Поясе достоверно не установлены реальные события моложе ~415 млн. лет.

### Доордовикские образования

**“Псевдолейцитовые” тылаиты.** В Косьвинском блоке горячего меланжа присутствуют обогащенные щелочами тылаиты, содержащие кислый плагиоклаз и биотит [15]. Е.В. Пушкарев обнаружил в них симплектиты ортоклаз-нефелинового состава (“псевдолейцит”), подобные ранее найденным в тылаитах Нижне-Тагильского массива [46]. Полученная для косьвинских “псевдолейцитовых” тылаитов Rb-Sr эрохрона  $340 \pm 22$  млн. лет была логически связана с U-Pb возрастом наиболее молодой популяции цирконов в косьвинском дуните [51]. Был сделан весьма категоричный вывод: *“формирование дунит-клинопироксенит-тылаитовой серии (горячего меланжа – А. Е.) Кытлымского массива происходило в нижнем карбоне и охватывало временной интервал от 360 до 330 млн. лет... по крайней мере на 80–60 млн. лет моложе главной фазы островодужного магматизма... проявившегося в... ситуации и отмеченного формированием габбро-норитов”* [39]. Этот вывод находился в резком противоречии с фундаментальными геологическими фактами. Вскоре результаты Sm-Nd датирования показали, что породы горячего меланжа Косьвинского и Тылайского блоков имеют возраст в интервале 550–440 млн. лет, а “псевдолейцитовые” тылаиты –  $441 \pm 27$  млн. лет [38]. Наконец, новые U-Pb данные (SIMS, SHRIMP II), полученные по циркону из тех же тылаитов, позволили сделать вывод о том, что верхний предел их U-Pb возраста составляет не менее  $425.1 \pm 9.6$  млн. лет [23]. Таким образом, вывод о каменноугольном возрасте “псевдолейцитовых” тылаитов (и всего горячего меланжа, составной частью которого они являются), следует признать глубоко ошибочным.

**Горячий меланж Денежкина Камня.** Здесь Sm-Nd методом датирован разрез стратифицированного блока горячего меланжа [19]. В координатах  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ – $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  измеренные изотопные составы можно разделить на три группы, не обнаруживающие явной связи ни с положением в разрезе, ни с вещественными особенностями проб. Соответствующие им тренды с несколько разными начальными отношениями  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ , по-видимому, отражают некие статистические совокупности внутри крайне неоднородной общности пород горячего меланжа. Изотопные данные указывают на кембрийский и позднекембрийский возраст изученных об-

разцов. Общая эрохрона отвечает Sm-Nd возрасту  $537 \pm 83$  млн. лет; близкому к значению, полученному для горячего меланжа Кытлымского массива.

**Горячий меланж в целом.** Возможно, что формирование горячего меланжа было длительным. Поскольку его геологическая и химическая структура не связана с какими-либо магматическими событиями, можно предполагать, что этот процесс сопровождался выравниванием (не всегда идеальным) характеристик Sm-Nd изотопной системы. Благодаря этому первично горячая гетерогенная тектоническая смесь приобрела черты монолитного единовременного образования. В целом все новые Sm-Nd геохронологические данные позволяют утверждать, что: (1) все блоки Тылайского комплекса одновозрастны и (2) Тылайский комплекс имеет доордовикский изотопный возраст, как и входящие в его структуру фрагменты Тагильского и Сухогорского комплексов. На древний (от 493 до 560 млн. лет) возраст последнего указывают также единичные Sm-Nd данные, полученные для оливин-анортитовых габбро Денежкина Камня и Кумбы [34].

### Силурийские комплексы

Отчетливо выделяется датируемая относительно узким возрастным интервалом 415–430 млн. лет силурийская группа, в которую входят Валенторский, Серебрянский и Гранитоидный комплексы.

**Валенторский комплекс.** Д. Бош датировала U-Pb методом (SIMS, TIMS) циркон из “амфиболового пегматитового габбро” массива Кумба [52]. Здесь содержится досадная неточность, не относящаяся, впрочем, к изотопным данным. Проба, из которой выделен циркон, была отобрана особо тщательно как эталонный образец лабрадоритового габбро-норита с ортоклазом, наиболее близкого к “первичному” типу. Эту породу принципиально нельзя отнести к роговообманковому габбро. Следовательно, полученные Д. Бош надежные цифры U-Pb изотопного возраста –  $419 \pm 10$  и  $425 \pm 3$  млн. лет, согласующиеся с полученными Sm-Nd изотопным методом для габбро-норита из Чистопского массива –  $419 \pm 12$  млн. лет [42], – характеризуют время образования габбро-норитов Валенторского комплекса – одного из важнейших элементов Платиноносного пояса.

**Серебрянский комплекс.** Возраст этого комплекса (время появления парагенезисов с роговой обманкой) ограничен надежно датированными событиями – образованием габбро-норитов и внедрения гранитоидов. Датирование “эпигаббро” – продукта гидратации и гранитизации габбро-норитов – U-Pb (SHRIMP-II) методом позволило получить цифру  $412.1 \pm 5.3$  млн. лет [24]. Ранее для горн-блендитов Качканарского массива K-Ar методом по флогопиту и роговой обманке был получен возрастной интервал 415–432 млн. лет [31]. Все эти данные



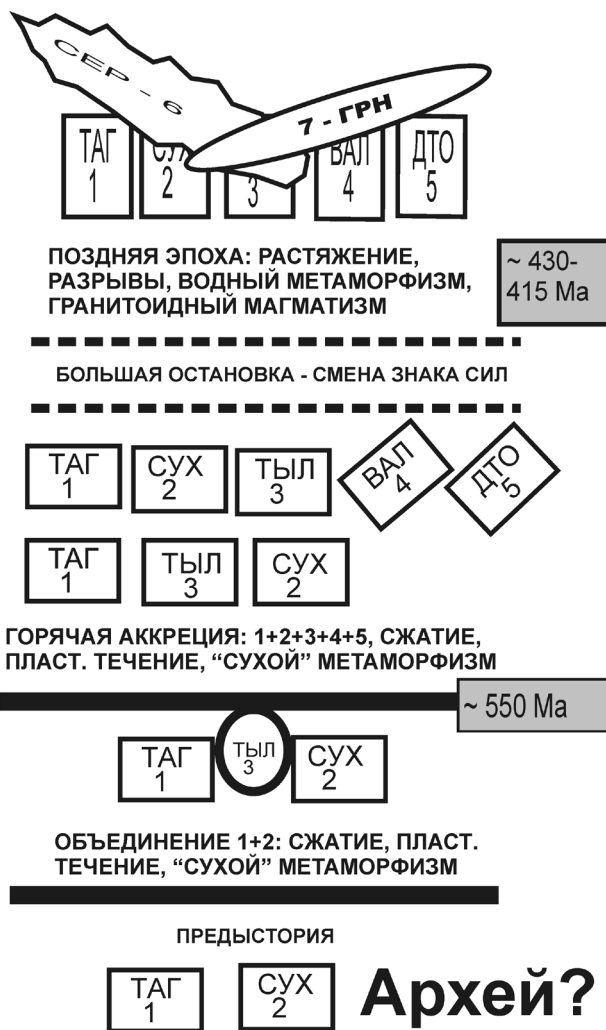
дают прямые указания на время важнейшей, “глобальной” и самой поздней для Платиноносного пояса тектоно-метаморфической эпохи. Полученные цифры изотопного возраста, по существу, отражают *возраст новообразованной роговой обманки* в самых разных, первично “сухих” породах Пояса, а также позволяют судить о времени *преобразования* титаномагнетитовых руд качканарского типа и о времени *образования* платиноносных медносульфидных руд волковского типа.

**Динамотермальный ореол (ДТО)** непосредственно не датирован, но достаточно ясно, что возраст *метаморфизма* его вулканогенного субстрата ограничен образованием габбро-норитов и образованием Серебрянского комплекса, поскольку ранние двупироксеновые “роговики” (гранулиты) нередко преобразуются в условиях амфиболитовой фации, превращаясь в кытлымиты. Возраст самого субстрата, по-видимому, в основном островодужного, проблематичен, но едва ли древнее среднеордовикского.

**Гранитоидный комплекс.** Данные, полученные U-Pb (TIMS) методом по цирконам из плагиогранитов Кытлымского массива –  $415 \pm 10$  и  $416.6 \pm 1.6$  млн. лет [22], – представляют особый интерес, поскольку известно, что плагиограниты прорывают все структурно-вещественные комплексы Пояса, в том числе ДТО. Эти позднесилурийские цифры: (1) датируют время наиболее позднего *магматического события* в истории предполагаемой глубинной зоны; (2) подтверждают вывод о близости времени водного метаморфизма и внедрения плагиогранитов и, наконец, (3) дают надежный верхний возрастной предел (около 415 млн. лет) для всех без исключения структурно-вещественных, в том числе рудоносных, комплексов Пояса.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

За 100 лет усилиями многих исследователей Платиноносного пояса Урала были составлены превосходные геологические карты, открыты новые фундаментальные геологические факты, получено огромное количество данных по составу горных пород, руд и минералов, опубликованы многочисленные статьи и монографии. Долгое время Пояса без особого обсуждения рассматривался как цепь затвердевших в верхней коре магматических камер. Однако затем появились сомнения в таком толковании, а в последние 50 лет понимание структуры, вещества и истории Пояса принципиально изменилось. Главный итог заключается в том, что определение “габбро-пироксенит-дунитовая магматическая формация” [32] полностью лишилось своего содержания. Нейтральная географическая дефиниция “Платиноносный пояс Урала” кажется более выразительной. Пояс как единое целое уникален, самодостаточен и может быть отождествлен лишь



**Рис. 11.** Схема тектоно-метаморфической эволюции Платиноносного пояса Урала (с учетом возрастных U-Pb и Sm-Nd изотопных данных).

1–7 – вещественные комплексы (см. текст), соответственно: Тагильский, Сухогорский, Тылайский, Валенторский, Динамотермальный ореол, Серебрянский, Гранитоидный.

с самим собой. Попытки объяснить его геодинамическую природу по геохимическим данным пока успеха не имели.

Главный геологический вывод состоит в том, что в единой структуре Платиноносного пояса объединены генетически не связанные комплексы горных пород. Пояс возник не в результате какого-то единого “акта творения”, – он является составным образованием, состоящим из тектонически совмещенных единиц, различающихся не только составом и внутренним строением, но и принципиально – генезисом, геодинамической обстановкой генерации (не всегда достаточно понятной) и временем образования – от позднего архея до позднего силура. В веществе Пояса записана сложная и длительная история, ранние этапы которой имели ме-

сто еще до зарождения Уральско-го палеозойского орогена.

Изотопные данные, по существу, подтвердили и “оцифровали” схему тектоно-метаморфической эволюции Пояса, разработанную ранее на геолого-петрологической базе [10], и внесли в эту схему большую определенность (рис. 11). Среди вещественных единиц, входящих в структуру Пояса, выделились две группы, разделенные значительным временным разрывом, – древняя (доордовикская), включающая уральские дунитовые “ядра”, которые можно считать блоками древнейшего вещества, и более молодая (силурийская). Разнородные и разновозрастные комплексы объединились в единое целое в эпоху горячей аккреции, имевшую место в глубинной зоне в позднем силуре. Время появления в структуре Уральской складчатой области того, что мы называем Платиноносным поясом, еще предстоит установить.

Из всего этого следует, что обозначение разнородной и одновременной общности горных пород, слагающих Пояс, настойчиво повторяемыми словами “магматизм Урала” или “интрузивный магматизм Урала”, не способствует пониманию проблемы. Природа четырех из семи слагающих Пояс вещественных комплексов – Тылайского, Серебрянского, Динамотермального ореола и Гранитоидного – достаточно ясна. Но на вопрос о первоприроде вещества трех первичных и одновременных составляющих – Тагильского, Сухогорского и Валенторского комплексов – до сих пор не удается ответить однозначно, хотя спекуляций на этот счет достаточно много. Таким образом, второй итог 100-летнего изучения уникального российского объекта – это возникновение новых проблем, подход к решению которых пока далеко не ясен.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бутырин Н.В.* Обсуждение некоторых основных вопросов геологического строения и петрологии Западного (Платиноносного) пояса габбро-перидотитовой формации Урала // Тр. Горно-геол. ин-та УФАН СССР. Вып. 33. Свердловск, 1958. С. 301–312.
2. *Воробьева О.А.* О некоторых особенностях геологического строения Баранчинского массива на Урале // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1946. № 5. С. 61–78.
3. *Высоцкий Н.К.* Месторождения платины Исковского и Нижне-Тагильского районов на Урале // Тр. Геол. Ком. Нов. сер. № 62. СПб., 1913. 694 с.
4. Геологическая карта Урала. Масштаб 1 : 1 000 000 / Под. ред. Д.В. Наливкина. М.-Л.: Геол. изд-во, 1930. На 2 листах.
5. *Ефимов А.А.* Об основных мигматитах (кытлымитах) Кытлымского платиноносного массива // Советская геология. 1963. № 2. С. 45–57.
6. *Ефимов А.А.* Проблема дунита // Советская геология. 1966. № 5. С. 13–27.
7. *Ефимов А.А.* “Горячая тектоника” в гипербазитах и габброидах Урала // Геотектоника. 1977. № 1. С. 24–44.
8. *Ефимов А.А.* Габбро-гипербазитовые комплексы Урала и проблема офиолитов. М: Наука, 1984. 232 с.
9. *Ефимов А.А.* Природа троктолита // Докл. АН СССР. 1985. Т. 281, № 6. С. 1419–1423.
10. *Ефимов А.А.* Платиноносный пояс Урала: тектоно-метаморфическая история древней глубинной зоны, записанная в ее фрагментах // Отечественная геология. 1999. № 3. С. 31–39.
11. *Ефимов А.А.* Генезис жильных плагиоклазитов Черноисточинского ареала в Тагильском массиве (Платиноносный пояс Урала): десиликация плагиогранитного протолита в габбро // Литосфера. 2003. № 3. С. 41–62.
12. *Ефимов А.А.* Гранитоиды в структуре платиноносного массива Денежкин Камень (Северный Урал) // Ежегодник-2005. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2006. С. 149–154.
13. *Ефимов А.А.* Проблема третьего сейсмического слоя современных и древних океанов: природа вещества, механизм образования, аналоги в наземных комплексах // Фундаментальные исследования океанов и морей. М.: Наука, 2006. С. 210–230.
14. *Ефимов А.А., Вотяков С.Л., Чащухин И.С.* Эволюция дунитов Платиноносного пояса Урала: роль химического, температурного и кислородного факторов // Докл. АН. 2005. Т. 405, № 1. С. 93–98.
15. *Ефимов А.А., Ефимова Л.П.* Кытлымский платиноносный массив. М.: Недра, 1967. 336 с.
16. *Ефимов А.А., Ефимова Л.П., Маегов В.И.* Тектоника Платиноносного пояса Урала: соотношение вещественных комплексов и механизм формирования структуры // Геотектоника. 1993. № 3. С. 34–46.
17. *Ефимов А.А., Куусалу Т.И.* О природе анортитовых габбро Серебрянского Камня и связанного с ними медного оруденения // Докл. АН СССР. 1962. Т. 145, № 1. С. 181–184.
18. *Ефимов А.А., Маегов В.И.* О природе “скрытой расслоенности” в разрезе полосатой габбро-гипербазитовой серии Денежкина Камня (Северный Урал) // Докл. АН СССР. 1981. Т. 256, № 3. С. 658–662.
19. *Ефимов А.А., Попов В.С., Кременецкий А.А., Беляцкий Б.В.* Блоки доордовикских пород в структуре Платиноносного пояса Урала: Sm-Nd изотопный возраст дунит-пироксенит-тылайитового комплекса массива Денежкин Камень // Литосфера. 2010. № 2. С. 35–46.
20. *Ефимов А.А., Потапова Т.А.* Жильная плагиоклазитовая серия Качканарского массива (Урал) – продукт десициации плагиогранитного штокверка // Регион. геол. и металлогения. 2002. № 15. С. 45–57.
21. *Ефимов А.А., Потапова Т.А., Берлибле Д.Г.* Химическая эволюция пироксенов уральских габбро: роль барического, термического, кислородного и химического факторов // Геохимия. 1999. № 5. С. 466–485.
22. *Ефимов А.А., Ронкин Ю.Л., Зиндерн С. и др.* Новые U-Pb данные по цирконам плагиогранитов Кытлымского массива: изотопный возраст поздних событий в истории Платиноносного пояса Урала // Докл. АН. 2005. Т. 403, № 4. С. 512–516.
23. *Ефимов А.А., Ронкин Ю.Л., Матуков Д.И.* Новые U-Pb (SHRIMP II) данные по циркону из щелочных

- тылаитов Косьвинского Камня: изотопный возраст горячего меланжа Платиноносного пояса Урала // Докл. АН. 2008. Т. 423, № 2. С. 243–247.
24. *Ефимов А.А., Ронкин Ю.Л., Матуков Д.И. и др.* Изотопный возраст эпохи водного метаморфизма в истории Платиноносного пояса Урала: новые U-Pb SHRIMP данные по цирконам гранитизированных габбро-норитов // *Офиолиты: геология, петрология, металлогения и геодинамика*. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. С. 98–101.
  25. *Ефимов А.А., Таврин И.Ф.* О генетическом единстве платиноносных дунитов Урала и Алданского щита // *окл. АН СССР*. 1978. Т. 243, № 4. С. 991–994.
  26. *Ефимов А.А., Флерова К.В.* Амфиболитовый метаморфизм и гранитизация габброидов Кумбинского массива (Северный Урал) в зоне древнего “горячего” тектонического шва // *Докл. АН СССР*. 1979. Т. 245, № 1. С. 200–203.
  27. *Заварицкий А.Н.* Коренные месторождения платины на Урале // *Мат-лы по общей и прикл. геологии*. Вып. 108. Л.: Изд-во Геол. Ком., 1928. 56 с.
  28. *Заварицкий А.Н.* Изверженные горные породы. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 479 с.
  29. *Иванов О.К.* Высокотемпературные зональные контактовые образования дунитовых массивов Платиноносного пояса Урала // *Советская геология*. 1979. № 1. С. 49–60.
  30. *Иванов О.К.* Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала. Екатеринбург: УрГУ, 1997. 488 с.
  31. *Иванов О.К., Калеганов Б.А.* Новые данные о K-Ar возрасте ультрамафитов Платиноносного пояса Урала // *Докл. АН*. 1993. Т. 328, № 6. С. 720–724.
  32. *Левинсон-Лессинг Ф.Ю.* Геологический очерк Южно-Заозерской дачи и Денежкина Камня на Северном Урале // *Тр. СПб. Общ. естествоисп.* 1900. Т. 30, № 5. 257 с.
  33. *Левинсон-Лессинг Ф.Ю.* О новом месторождении платины на Урале (в Синих горах около Баранчи) // *Изв. СПб. Политехн. ин-та*. 1909. Т. 2, вып. 2. С. 427–428.
  34. *Маегов В.И., Петров Г.А., Ронкин Ю.Л., Лепихина О.П.* Первые результаты Sm-Nd изотопного датирования оливин-анортитовых габбро Платиноносного пояса Урала // *Офиолиты: геология, петрология, металлогения и геодинамика*. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2006. С. 110–113.
  35. *Малахова Л.В.* Петрология Тагильского сиенитового массива. Свердловск: Ин-т геологии УФАИ СССР, 1966. 144 с.
  36. *Малич К.Н., Ефимов А.А., Ронкин Ю.Л.* Архейский U-Pb изотопный возраст циркона дунитов Нижне-Тагильского массива (Платиноносный пояс Урала) // *Докл. АН*. 2009. Т. 427, № 1. С. 101–105.
  37. *Некрасов И.Я., Ленников А.М., Октябрьский Р.А. и др.* Петрология и платиноносность кольцевых щелочно-ультраосновных комплексов. М.: Наука, 1994. 381 с.
  38. *Попов В.С., Беляцкий Б.В.* Sm-Nd возраст дунит-клинопироксенит-тылаитовой ассоциации Кытлымского массива, Платиноносный пояс Урала // *Докл. АН*. 2006. Т. 409, № 1. С. 104–109.
  39. *Пушкарёв Е.В., Феритатер Г.Б., Беа Ф. и др.* Изотопный Rb-Sr возраст псевдолейцитовых тылаитов Платиноносного пояса Урала // *Докл. АН*. 2003. Т. 388, № 3. С. 97–100.
  40. *Реиштыко В.А.* Брахисинклинали габбро-перидотитовых массивов Платиноносного пояса Урала и их происхождение // *Магматизм, метаморфизм, металлогения Урала*. Т. 1. Свердловск: УФАИ СССР, 1963. С. 393–404.
  41. *Рожков И.С., Кицул В.И., Разин Л.В., Боришанская С.С.* Платина Алданского щита. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 119 с.
  42. *Ронкин Ю.Л., Иванов К.С., Шмелев В.Р., Лепихина О.П.* Sr-Nd изотопная геохимия и Sm-Nd возраст Платиноносного пояса Урала, Россия // *Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях: тез. докл. междунар. симпоз.* М: ИГЕМ РАН, 1997. С. 300–301.
  43. *Успенский Н.М.* О генезисе конфокальных ультраосновных массивов Урала // *Петрология и минералогия некоторых рудных районов СССР*. М.: Госгеолтехиздат, 1952. С. 54–78.
  44. *Феритатер Г.Б., Беа Ф., Пушкарёв Е.В. и др.* Новые данные по геохимии Платиноносного пояса Урала: вклад в понимание петрогенезиса // *Геохимия*. 1999. № 4. С. 352–370.
  45. *Феритатер Г.Б., Краснобаев А.А., Беа Ф. и др.* Интрузивный магматизм ранних стадий развития Уральского эпиконтинентального орогена: U-Pb геохронология (LA ICPMS, NORDSIM, SHRIMP-II), геохимия, закономерности эволюции // *Геохимия*. 2009. № 2. С. 150–170.
  46. *Феритатер Г.Б., Пушкарёв Е.В.* Нефелинсодержащие тылаиты в дунит-клинопироксенит-габбровой ассоциации Платиноносного пояса Урала // *Изв. АН. Сер. геол.* 1992. № 4. С. 74–84.
  47. *Чащухин И.С., Вотяков С.Л., Ефимов А.А. и др.* Хромшпинели Кондерского дунитового массива (Алданский щит): ЯГР-исследование, особенности связи металл-кислород по данным квантово-механических расчетов, приложения для оксиметрии ультрамафитов // *Ежегодник-2001*. Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2002. С. 147–156.
  48. *Чащухин И.С., Вотяков С.Л., Пушкарёв Е.В. и др.* Оксиметрия ультрамафитов Платиноносного пояса Урала // *Геохимия*. 2002. № 8. С. 846–863.
  49. *Штейнберг Д.С.* Некоторые закономерности локализации уральских эндогенных месторождений железа и меди, генетические взаимосвязи с интрузиями // *Мат-лы по геологии Урала*. Тр. СГИ. Вып. 22. Свердловск, 1955. С. 171–193.
  50. *Язева Р.Г., Бочкарев В.В.* Платиноносный пояс Урала и Тагильская палеодуга: соотношения магматизма и геодинамики // *Геотектоника*. 2003. № 2. С. 75–86.
  51. *Bea F., Fershtater G.B., Montero P. et al.* Recycling of continental crust into mantle as revealed by Kytlym dunite zircons, Ural Mts, Russia // *Terra Nova*. 2001. V. 13, № 6. P. 407–412.
  52. *Bosch D., Bruguier O., Efimov A.A., Krasnobayev A.A.* U-Pb Silurian age for a gabbro of the Platinum-bearing Belt of the Middle Urals (Russia): evidence for beginning of closure of the Uralian Ocean // *Mem. Geol. Soc. London*. 2006. V. 32. P. 443–448.
  53. *Bosch D., Krasnobayev A.A., Efimov A.A. et al.* Early Silurian ages for the gabbroic section of the mafic-ul-

- tramafic zone from the Urals Platinum Belt // *Terra Nova*. 1997. V. 9. Abstract Supplement № 1. P. 122.
54. *Burg J.P., Bodinier J.-L., Gerya N. et al.* Translithospheric mantle diapirism: Geological evidence and numerical modeling of the Kondyor zoned ultramafic complex (Russian Far-East) // *J. Petrol.* 2009. V. 50. № 2. P. 289–321.
55. *Davies G. R., Stolz A. J., Mahotkin I. L. et al.* Trace element and Sr-Pb-Nd-Hf isotope evidence for ancient, fluid-dominated enrichment of the source of Aldan shield lamproites // *J. Petrol.* 2006. V.47. P. 1119–1146.
56. *Duparc L., Pearce F.* Recherches géologiques et pétrographiques sur l'Oural du Nord dans la Rastesskaya et Kizelovskaya datcha (gouvernement de Perm) // *Mem.Soc.phys. de Geneve*. 1902. V. 34, Fasc. 2. P. 57–218.
57. *Duparc L., Pearce F.* Recherches géologiques et pétrographiques sur l'Oural du Nord dans la Rastesskaya et Kizelovskaya datcha (gouvernement de Perm). Deuxieme memoir // *Mem. Soc. phys. d'hist. nat. de Geneve*. 1905. V. 34, Fasc.5. P. 383–602.

Рецензент Е.В. Аникина

## The grand total of centennial study of the Uralian Platinum Belt

A. A. Efimov

*Institute of Geology and Geochemistry, Uralian Branch of RAS*

The definition “gabbro-pyroxenite-dunite magmatic formation”, designating suite of rocks of the Uralian Platinum Belt, has lost its meaning. Not all rocks of plutonic appearance, entering into this suite, crystallized from magma. The Belt has arisen not because of the only “creation event”. In its substance has recorded a complex of tektonic-metamorphic history, which is not concerning of the host Tagil volcanic zone one. The Belt is a compound formation consisting of seven tectonically combined units (complexes), differing in their composition, structure, genesis, geodynamic conditions of generation and formation age – from the Late Archaean to Late Silurian. Joining of these complexes during the hot accretion epoch and the subsequent moving to structure of the upper crust has led to occurrence of a linear 1000-kilometre structure – the Uralian Platinum Belt. The origin of three from the seven complexes (dunite-pyroxenitic, olivine-gabbroic and gabbro-noritic) remains in different degree problematic.

**Key words:** *Urals, Platinum Belt, dunite, clinopyroxenite, olivine gabbro, tylaite, gabbro-norite, granulite, hot tectonics, metamorphism, isotope age.*