

А. С. Варлаков

ПЕТРОГРАФИЯ КАЗБАЕВСКОГО И КАСАРГИНСКОГО ГИПЕРБАЗИТОВЫХ МАССИВОВ

A. S. Varlakov

PETROGRAPHY OF KAZBAEV AND KASARGIN ULTRABASITE MASSIFS

Described massifs occur among effusive-sedimentary strata that flank Chelybinsk dome-like granite-gneiss-schist structure. Kazbaev massif is made up mainly by apoharzburgite β -lizardite and chrysotile- β -lizardite serpentinites, of varying degree antigoritized and at some localities changed into antigorite serpentinites.

Kasargin massif is represented by β -lizardite serpentinites on the flanks, but main part of it is constituted by α -, β -lizardite harzburgites with dunite bodies. In places, chrysotile takes part in composition of serpentinites. Superpositional antigoritization practically is absent in the rocks.

Оба массива залегают среди палеозойских эффузивно-осадочных толщ, в западном и северном обрамлении Челябинского гранит-мигматит-гнейсово-сланцевого комплекса.

Казбаевский массив

Описываемый альпинотипный гипербазитовый массив в виде узкого тела мощностью 0.5—4.0 км прослеживается субмеридионально на 60 км, располагаясь приблизительно в средней части Восточно-Уральского поднятия к западу и северо-западу от Челябинского метаморфического комплекса. На отдельных участках главное тело расщепляется или сопровождается мелкими согласными сателлитами. В северной части массив отклоняется к востоку, следуя согласно северо-западной ок-раине Челябинского мигматит - гнейсово-сланцевого комплекса, близко подходя к гнейсово-сланцевым толщам. Южная оконечность массива (южнее дер. Казбаево), где его мощность увеличивается до 4 км, отклоняется к западу, упираясь в разрывное тектоническое нарушение (рис. 1).

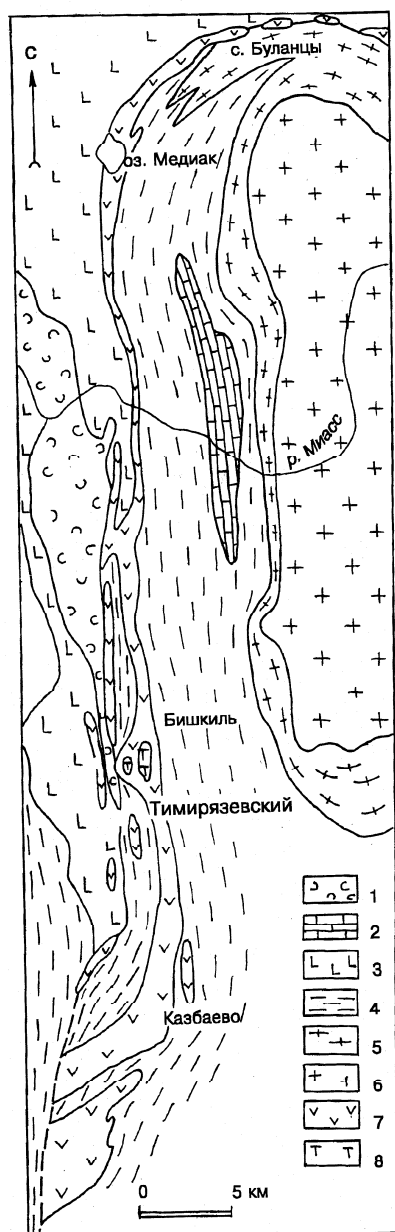


Рис. 1. Схема геологического положения Казбаевского гипербазитового массива (по Н. Ф. Мамаеву).

1 — песчаники, конгломераты, сланцы каменноугольные; 2 — известняки каменноугольные; 3 — андезит-базальтовые порфиры девонские; 4 — кремнистые сланцы, кварциты, филлиты раннего силура; 5 — гнейсы, мигматиты, кристаллические сланцы докембрия; 6 — гранитоиды; 7 — гипербазиты; 8 — талькиты и тальк-карбонатные породы.

Геолого-съёмочные работы на отдельных листах, куда попадает Казбаевский массив, проводились коллективами В. Ф. Турбанова в 60-е годы, а в южной части В. П. Костарева в середине 70-х годов. Наиболее полно территория, занимаемая массивом, охвачена геологической съёмкой масштаба 1:1000000, выполненной в начале 50-х годов Н. Ф. Мамаевым. В

отчетах отмеченных геологов сведения о массиве представлены весьма скромно, а датировка вмещающих толщ неоднозначна.

Массив очень слабо обнажен за исключением южной части. Однако он почти на всем протяжении вскрыт отдельными карьерами по добыче бутового камня, что позволило в достаточной мере разобраться в его петрографических особенностях.

Большая часть Казбаевского массива с востока граничит с кремнистыми, углисто-кремнистыми сланцами и кварцитами раннего силура, прослеживающимися внутрь его южной окраины, окаймляемой филлитами кембрия по Н. Ф. Мамаеву или ордовика по В. П. Костареву. Эти же породы слагают южную часть массива с запада. Севернее пос. Тимирязевского вдоль западной границы и на севере массива прослеживаются эффузивы основного состава, перекрываемые залегающими с разрывом песчаниками, конгломератами и известняками каменноугольного возраста. Здесь также развиты девонские базальт-андезитовые порфириды.

Казбаевский массив интересен тем, что пространственно не связан с глубинным разломом, залегая согласно с раннесилурийскими кремнистыми сланцами и кварцитами, окаймляя с запада Челябинскую купольную структуру и в его пределах практически не проявляется габброидный магматизм. Кроме того, в нем можно наблюдать многообразные процессы аллометаморфической серпентинизации. Возраст массива, исходя из офиолитового критерия, может быть определен как раннесилурийский.

Казбаевский массив сложен преимущественно апогарцбургитовыми серпентинитами; редко встречаются аподунитовые разности. Исходные породы — серпентинизированные диопсидсодержащие гарцбургиты — встречены в виде редких мелких реликтовых блоков в его северной части (пос. Буланцы) и восточнее пос. Тимирязевского. Ультраосновные породы во многих местах подверглись существенным деформационным процессам и часто рассланцованы, однако, среди деформированных серпентинитов всегда обнаруживаются крупные блоки и «обдавыши» массивного облика. На отдельных участках серпентиниты в результате кремне- и углекислого метасоматоза превращены в талькиты и тальк-карбонатные породы. Они наиболее широко развиты в районе южнее дер. Медведево.

Среди серпентинитов преобладают в разной степени антигоритизированные β -лизардитовые и хризотил- β -лизардитовые серпентиниты, а также чисто антигоритовые разности. Аподунитовые серпентиниты встречены в единичных шлифах, где они представлены в основном антигоритизированными хризотиловыми разновидностями.

β -Лизардитовые и хризотил- β -лизардитовые серпентиниты характеризуются четко выраженной крупнопетельчатой секториальной, реже ленточной структурами. Размер петель 0.3—1.0 мм. Петли β -лизардитовых серпентинитов сложены шнурами β -лизардита, в которых выявляется продольная спайность, и β -лизардитовыми ядрами секториального строения (рис. 2). β -Лизардит имеет бледно-зеленую окраску и часто при анализаторе обнаруживает гофрированное погасание и отдельность в ядрах, ориентированную радиально. В некоторых шлифах секториальность характеризуется сложным строением: часть секторов имеет заметно более высокое двупреломление по сравнению с соседними. Эти сектора, по-видимому, сложены γ -лизардитом, что свойственно этому серпентину. Шнуровидная часть ячеек, как правило, отличается более высоким двупреломлением по сравнению с ядрами (соответственно 0.009 и 0.002—0.003). Шнуры петель нередко отсутствуют и ядра непосредственно соприкасаются между собой, характеризуясь псевдоморфным обликом, и ведут себя как волнисто погасающие индивиды размером 0.5—1.0 мм. Типичные формы петель β -лизардита — это шнуры с продольной спайностью и ядра с радиально расположенными столбчатыми индивидами, параллельно вытянутости которых ориентирована ось N_p оптической индикатрисы.

Встречаются породы, в которых ячейки имеют концентрически зональное строение: шнуры петель и секториальные ядра выполнены соответственно пластинчатым и радиально-столбчатым β -лизардитом, а между ними находятся шнуры хризотила, внешняя часть которых имеет резкую границу, а внутренняя характеризуется зубчатыми очертаниями. Иначе говоря, хризотил развивается по β -лизардитовым ядрам петельчатых ячеек, фиксируя позднюю степень серпентинизации. Хотя и нельзя исключать вариант пульсирующего изменения физико-химической обстановки в ходе единого акта серпентинизации. Преимущественно β -лизардитовыми серпентинитами сложен участок массива в районе дер. Б. Усманово. В некоторых шлифах промежуточные шнуры обладают однородным строением, что сближает их с хризотилоидом, присутствие которого нельзя исключать.

Хризотил- β -лизардитовые серпентиниты в типичном виде встречены в северной части массива (район оз. Медиак) и в р-не пос. Тимирязевского. Под микроскопом они характеризуются

крупнопетельчатой сложнойструктурой. Внешние части ячеек (шнуры) сложены β -лизардитом, а ядра с низким двупреломлением секториально- и перекрещенно-волокнутого строения занимает хризотил (рис. 3).

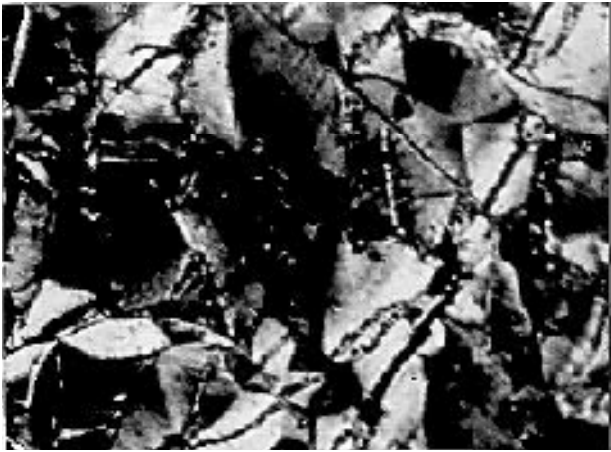


Рис. 2. Апогарцбургитовый β -лизардитовый серпентинит крупнопетельчатой секториальной структуры. Оз. Медиак, обр. 318, увел. 70, с анализатором.



Рис. 3. β -Лизардит-хризотилловый серпентинит; шнуры петель сложены β -лизардитом, а центр ячеек — волокнуто-секториальным хризотилом. Дер. Буланцы, обр. 314, увел. 150, с анализатором.

В строении ядер ячеек отчетливо выявляется зубчато-волокнустая морфология хризотилловых пакетов. Иногда в центре ячеек обнаруживаются мелкие реликты оливина, так, встречен шлиф лерцолита, где хризотил развивается в виде шнуров с зубчатыми, гребенчатыми границами по оливину. Обнаружены разности пород, где ячейки, состоящие из хризотила, погасают почти одновременно, т. е. волокна в них ориентированы субпараллельно. Различить секториальный и петельчатый β -лизардит и хризотил легко по знаку зоны. Повышение щелочности к концу процесса в ходе β -лизардитизации отражается в формировании хризотилловых ячеек, а также образовании редких мелких прожилков хризотил-асбеста и офита. К этому времени также приурочена кристаллизация тонких зерен магнетита, максимально концентрирующихся в шнурах и прожилках. Наряду с этим к востоку от пос. Тимирязевского обнаружены почти чистые хризотилловые серпентиниты с гребенчато-прожилковой и весьма неоднородной мелко-петельчатой волокнуто-секториальной структурами. Эти породы обычно образуются по дунитам, что свойственно пороодообразующему хризотилу. В хризотил-асбестовых месторождениях дунитовые участки нацело превращаются в хризотилловые серпентиниты. Отличие хризотила от хризотилоида представляет определенные трудности. Для точной диагностики хризотилоида, когда он находится в смеси с другими серпентинами, требуется проведение специальных тонких электронномикроскопических исследований. Наблюдаемые перекрестно-волокнустые структуры в серпентинитах практически однозначно свидетельствуют в пользу принадлежности серпентина к хризотилу. В Казбаевском массиве прожилки хризотил-асбеста мощностью от десятых долей до 2—3 мм не редкость. Однако они находятся в чисто β -лизардитовых серпентинитах.

В апогарцбургитовых β -лизардитовых серпентинитах присутствует бастит ксеноморфного облика и размером 2—6 мм. В породах с хризотилом бастит отличается весьма неоднородным строением.

Вдоль шнуров в виде неравномерно рассеянных мелких зерен постоянно присутствует магнетит в количестве 2—4 %. Хромшпинелиды бурой или желтовато-бурой окраски образуют ксеноморфные зерна размером 0.5—1.5 мм, замещаемые по периферии магнетитовой каймой. В аподунитовых разностях пород хромшпинелиды имеют идиоморфные очертания, бурую окраску, магнетитовую кайму и размер 0.5 мм.

Описанные породы неравномерно подвержены антигоритизации и на отдельных частях массива превращены в антигоритовые серпентиниты (район дер. Аджитарово и особенно в южной «раздутой» части массива). Антигорит развивается по β -лизардитовым и β -лизардит-хризотилловым серпентинитам в виде гребенчатых, чешуйчатых прожилков, агрегатов или образует рассеянные пластинчатые включения пластинок в β -лизардитовых ячейках (рис. 4).

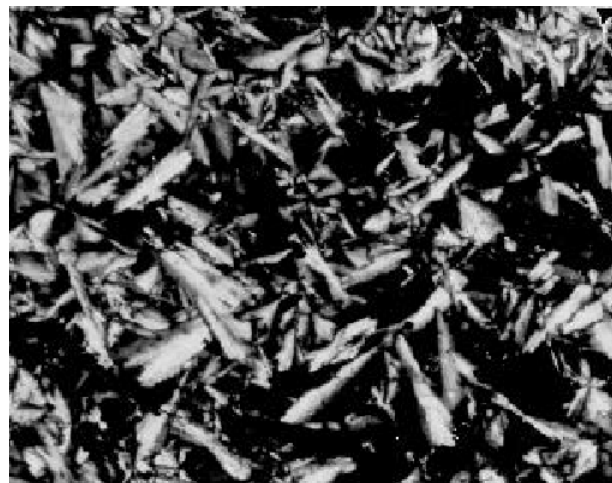
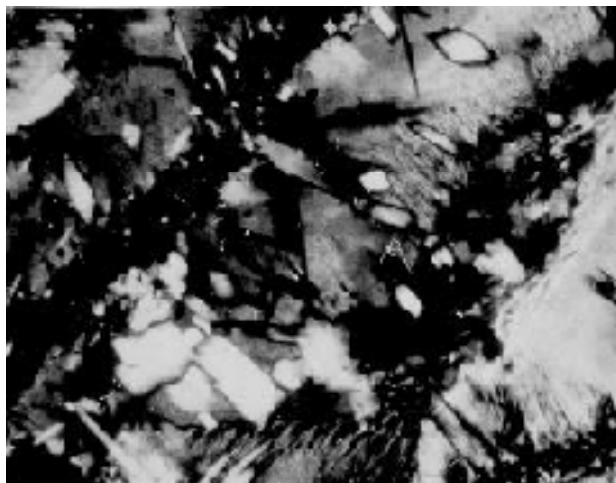


Рис. 4. Апогарцбургитовый β -лизардитовый серпентинит псевдоморфной структуры с рассеянными пластинками антигорита. Ст. Бишкиль, обр. 334, увел. 150, с анализатором

Рис. 5. Антигоритовый серпентинит. Ст. Бишкиль, обр. 329, увел. 70, с анализатором

Антигоритовые серпентиниты сложены лейстовидными зернами, игольчатыми пластинками и чешуйками размером 0.01—0.5 мм (рис. 5). Размер пластинок заметно колеблется в пределах одного шлифа. В породах неравномерно проявляется карбонатизация и оталькование. Карбонат наблюдается в виде прожилков, но чаще образует рассеянные метабластовые зерна размером до 1.0 мм. В связи с антигоритизацией возникают призматические зерна диопсида размером 0.2—0.8 \times 0.01—0.005 мм. Наибольшее развитие антигоритовые серпентиниты получили в южном окончании массива, где однако сохраняются редкие реликты β -лизардита.

Результаты химических анализов пород разного состава свидетельствуют об их принадлежности к продуктам серпентинизации альпинотипных гипербазитов (табл. 1). Их железистость соответствует стандарту ($f = 0.09—0.11$). Один анализ выделяется несколько повышенной железистостью. Остальные петрохимические параметры (основность fm и степень окисления h) отражают состав серпентиновых минералов и количественное поведение магнетита. Характерно отсутствие или низкое содержание извести, хотя исходные породы могли иметь лерцолитовый состав, что указывает на ее вынос в ходе серпентинизации.

Таблица 1

Химический состав (мас. %) и петрохимические характеристики гипербазитов Казбаевского массива, мас. %

Компоненты	1 329	2 330	3 331	4 332	5 338	6 345
SiO ₂	40.84	40.72	39.56	38.88	40.02	41.40
TiO ₂	следы	следы	следы	следы	следы	следы
Al ₂ O ₃	1.42	1.09	0.70	1.72	2.27	1.57
Cr ₂ O ₃	0.21	0.20	0.26	0.25	0.31	0.25
Fe ₂ O ₃	5.09	6.00	6.60	7.08	5.35	7.90
FeO	2.85	1.52	0.8	0.83	3.56	1.31
MnO	0.07	0.05	0.08	0.14	0.05	0.18
MgO	37.16	37.96	40.96	37.95	35.69	33.35
CaO	следы	следы	следы	следы	следы	1.03
H ₂ O	0.24	0.36	0.24	0.52	0.72	1.82
п.п.п.	11.86	12.30	11.08	12.66	12.34	11.58
Сумма	99.74	100.20	100.26	100.03	100.39	100.33
f	0.101	0.093	0.084	0.095	0.117	0.125
fm	1.51	1.53	1.68	1.61	1.50	1.37
h	61	78	88	89	57	85
FeO'	7.43	6.95	6.72	7.91	8.91	8.42

Примечание: 1—5 — апогарцбургитовые серпентиниты: 1 — антигоритовый, 2 — β -лизардит-хризотилитовый, 3 — антигоритизированный β -лизардитовый, 4 — хризотил- β -лизардитовый, 5 — антигорит- β -лизардитовый, 6 — антигоритизированный хризотилизованный лерцолит.

Рентгеновский анализ подтвердил данные наблюдений под микроскопом. Хризотил- β -лизардитовые серпентиниты обнаруживают характерные отражения β -лизардита ($d = 2.50, 2.14$ и 1.54 \AA) и хризотила ($d = 2.45$ и 2.09 \AA). В антигоритовых серпентинитах рефлекс 24.30 с $d = 1.558 \text{ \AA}$ имеет большую интенсивность по сравнению с 060 ($d = 1.54 \text{ \AA}$), что свидетельствует о высокой упорядоченности структуры этого минерала и соответственно о его образовании в результате перекристаллизации β -лизардита и хризотила. На кривых ДТА наблюдаются эндотермические эффекты с максимумом при $670\text{--}700^\circ$ в β -лизардитовых серпентинитах, а в хризотил- β -лизардитовых разностях два эндотермических пика при $665\text{--}680^\circ$ и $710\text{--}725^\circ$. Антигоритовые серпентиниты дают максимум эндотермических эффектов при $760\text{--}780^\circ$, что типично для антигорита.

Тальковые месторождения. Тальковые месторождения Казбаевского массива разведывались в 50-е годы А. Я. Хмарой. В результате было установлено их промышленное значение. Здесь находятся Медведевские (в 2.5 км к югу от ст. Бишкиль) и Казбаевские месторождения (близ дер. Казбаево). Наиболее крупное Восточно-Медведевское месторождение, находящееся в восточной приконтактной части массива, представлено талькитами и тальк-карбонатными породами, многочисленные тела которых залегают на контакте серпентинитов массива с вмещающими сланцами в виде залежей мощностью от единиц до десятков метров и прослеживаются по простиранию на десятки и сотни метров. Вмещающие углистые серицит-кварцевые сланцы превращены в хлоритовые и хлорит-тальковые сланцы, а серпентиниты на контакте с рудами подвержены оталькованию и карбонатизации. Характерно, что талькиты образуются также в самостоятельных серпентинитовых телах мощностью $50\text{--}200 \text{ м}$, расположенных согласно близ самого массива. Талькиты в основном состоят из пластинок талька, а в тальк-карбонатных рудах в разных количествах присутствует брейнерит. Обычна примесь хлорита и реликты антигорита. В зоне выветривания при выщелачивании брейнерита образуются обохренные рыхлые тальковые руды, прослеживаемые до глубины $10\text{--}12 \text{ м}$. При бурении разведочных скважин установлено, что контакты Казбаевского массива падают на запад и юго-запад под углом $40\text{--}80^\circ$. Подсчитанные запасы руд Восточно-Медведевского месторождения составляют около 2 млн т талькитов и $5\text{--}6 \text{ млн т}$ тальк-карбонатных разностей.

Месторождения тальковых руд Казбаевского массива сформировались в результате метасоматических преобразований серпентинитов под действием кремне- и углекислых растворов метаморфогенного происхождения.

Кроме тальковых руд в пределах Казбаевского массива обнаружены хромитовые рудопроявления, находящиеся в 1 км к западу от пос. Казбаево. Это мелкие жильные тела хромитов мощностью до 0.7 м и содержащие около $47\% \text{ Cr}_2\text{O}_3$.

В заключение следует отметить, что непосредственно к западу от Казбаевского массива, отделяясь от него синклинальной структурой, сложенной девонскими порфиритами, среди углисто-глинисто-кремнистых и кремнистых сланцев с прослоями основных эффузивов, вскрывается серия гипербазитовых тел разных форм и размеров, объединяемых под названием *Запываловский массив*. Он прослеживается на запад до пос. Травники и Мисяш. Этот массив, вероятно, представляет собой сильно деформированное и разорванное на отдельные части исходно единое пластообразное тело. Гипербазиты сильно перемяты, нередко рассланцованы и катаклазированы, большая их часть представлена апогарцбургитовыми, неравночешуйчатыми антигоритовыми серпентинитами. В шлифах из массивных блоков серпентинитов среди чешуек антигорита встречаются реликтовые пятна ленточного и секториального β -лизардита (тело к востоку от дер. Щапино). В породах сохраняются деформированные зерна бастита. Довольно обильны скопления мелких зерен магнетита. Магнетитом интенсивно замещаются ксеноморфные зерна, просвечивающих бурым цветом хромшпинелидов, размером до $1.5\text{--}2.5 \text{ мм}$. Почти в каждом шлифе встречаются карбонаты, зерна которых наследуют исходную петельчатую структуру (что выявляется по псевдоабсорбции). С серпентинитами этого массива связано крупное Запываловское месторождение тальковых руд, расположенное непосредственно к юго-востоку от пос. Запывалово, на границе серпентинитов и расположенных к востоку зеленокаменноизмененных порфиритов. Тальконосная полоса протягивается на расстояние около 3.0 км при общей мощности $100\text{--}800 \text{ м}$. В ее пределах находится несколько десятков линзообразных тел тальковых руд, имеющих мощность $1\text{--}16 \text{ м}$ и прослеживающихся по простиранию на $25\text{--}1125 \text{ м}$. Наибольшую ценность представляют выветрелые рыхлые талькиты. Подсчитанные запасы талькитов около 4 млн т .

В районе дер. Камышовка среди серпентинитов обнаружены выходы тела ($50\text{?}270 \text{ м}$) хромистых мартитизированных магнетитов (масс. %): 6.80 FeO ; $53.3 \text{ Fe}_2\text{O}_3$ и $12.32 \text{ Cr}_2\text{O}_3$, происхождение которых неясно.

Касаргинский массив

Этот массив находится в 10 км к северо-востоку от восточного окончания северной окраины Казбаевского массива. Он слабо обнажен, хорошие полускальные обнажения протяженностью около 1.5 км наблюдаются только вдоль юго-восточного берега оз. Касарги. Приводимый здесь материал получен на основе изучения этого участка. Согласно Е. А. Белгородскому, Касаргинский массив прорывает ордовик-верхнедевонские отложения, располагаясь в зоне сочленения Челябинского антиклинория и Алапаевско-Теченского синклинория. Отсутствие структурной связи между Казбаевским и Касаргинским массивами подтверждается также различиями в характере процессов их серпентинизации.

В пределах описываемой части Касаргинского массива обнажаются α - и β -лизардитизированные гарцбургиты и дуниты, апогарцбургитовые β -лизардитовые и хризотил- β -лизардитовые серпентиниты. Характерно, что в отличие от Казбаевского массива, здесь практически отсутствуют наложенные процессы антигоритизации. Можно встретить лишь отдельные прожилки гребенчатого тонкочешуйчатого антигорита.

α - и β -Лизардитизированные гарцбургиты вскрываются карьерами в 600 и 1000 м к юго-западу от северо-восточного края Касаргинского массива. Здесь обнажаются выветрелые сильно трещиноватые, местами рассланцованные серпентинизированные гарцбургиты, среди которых встречаются жилообразные тела серпентинизированных дунитов. Породы имеют темнозеленую, местами серо-белесую окраску и различаются по присутствию или отсутствию энстатита.

Под микроскопом серпентинизированные гарцбургиты характеризуются мелкопетельчатой структурой., образуемой сетью пересекающихся шнуров лизардита, шириной 0.01—0.03 мм, между которыми в ячейках петель находятся реликты зерен оливина и энстатита (20—40 %). Размер зерен оливина около 2 мм, а отдельных блоков 0.1—0.4 мм. Лизардитовые шнуры имеют бледнозеленую окраску и различие между α - и β - разновидностями не выявляется. Можно их диагностировать по степени развития сопутствующего магнетита: в β -лизардитизированных разновидностях встречаются цепочки мелких зерен магнетита размером 0.005—0.05 мм, а в α -лизардитизированных они отсутствуют или их содержание не превышает 1 %. Количество реликтового оливина 20—25 %. Зерна энстатита имеют ксеноморфные очертания, разбиты шнурами лизардита и имеют размер 2—6 мм. Наряду с этим присутствуют выделения бастита. Причем бастит в некоторых шлифах отличается неоднородностью строения (петельчатая изменчивость двупреломления). Встречаются шлифы с незначительной и неравномерно распределенной примесью магнетита, т. е. по-видимому, здесь нельзя провести четкую границу в породах, где образуются шнуры β - или α -лизардита. Об этом говорит присутствие наряду с бесцветными шнурами бледнозеленых разновидностей. Встречаются самостоятельные более или менее равномерно распределенные изометричные зерна магнетита размером 0.01—0.03 мм. Хотя обнаруживаются и зерна неправильной дендритовидной формы. Содержание магнетита колеблется в основном в пределах 1—2 %. Присутствуют прожилки офита, гребенчатого антигорита и карбоната, встречающегося также в центре ячеек петель, замещающая реликтовый оливин. Карбонат, скорее всего, возник при гипергенных процессах.

Лизардитизированные дуниты встречаются среди гарцбургитов в виде жильных тел, мощностью до 10 м. Они обладают под микроскопом особенностями, близкими гарцбургитам, т. е. для них характерна мелкопетельчатая структура, свойственная развитию α -лизардита. При этом в ячейках петель наряду с реликтовым оливином встречаются почти изотропные серпофитоподобные образования. В серпентинитах выявляется четко выраженное зонально-петельчатое строение. Шнуры петель, имеющие диаметр 0.2—0.5 мм, сложены β -лизардитом, выделяющегося заметно более высоким преломлением и двупреломлением по сравнению с центром ячеек. Ширина шнуров изменяется от 0.005 до 0.1 мм. Причем более тонкие шнуры окаймляют ячейки с меньшим диаметром. Вдоль широких шнуров β -лизардита концентрируются рассеянные тонкие выделения, а в центре шнуров прерывистые сплошные скопления магнетита шириной 0.02 мм. Центр ячеек занимает секториальный β -лизардит, двупреломление которого не превышает 0.002—0.003 ($n_g - n_p$ шнуров 0.008—0.009). Выявляется резкий контраст двупреломления и преломления между шнурами и ячейками петель. Между β -лизардитовыми шнурами и секториальными ячейками иногда располагаются шнуры хризотилоида (в пределах ячеек) шириной 0.01 мм. Они обладают двупреломлением, близким шнурам β -лизардита ($n_g - n_p = 0.008$), а преломление очень немного ниже секториальных ячеек. Границы хризотилоидных шнуров ровные, а с секториальными ячейками иногда зубчатые (рис. 6). В других шлифах секториальные ячейки оказываются сложенными хризотилом, с хорошо выраженным волокнистым (нередко перекрещенно-волокнистым) строением

хризотилоидных шнуров, окаймляющих ячейки, заключается в их более низком двупреломлении ($n_g - n_p = 0.004—0.005$), преломление слабо заметно ниже.



Рис. 6. Апогарцбургитовый хризотилоид-β-лизардитовый серпентинит. Касаргинский массив, обр. 293, увел. 100, с анализатором.

Хризотилоидные шнуры развиваются между β-лизардитовыми шнурами и низкодвупреломляющими секториальными ячейками β-лизардита.

Бастит четко выражен, причем в нем также проявляется подобие петельчатой структуры, выражающееся в наличии слабодвупреломляющих частей центра ячеек.

Хромшпинелиды ксеноморфных очертаний имеют размер зерен до 1.5—2.0 мм, просвечивают светлорубым цветом и характеризуются слабым развитием по ним магнетита. В дунитовых разностях наряду с ксеноморфными присутствуют зерна идиоморфных очертаний. Таким образом, в ходе серпентинизации пород образуются шнуры и секториальные ячейки β-лизардита. Затем ячейки замещаются хризотилоидом и образованием хризотила, выполняющим центральные секториальные ячейки петель.

Мелкопетельчатая структура свойственна фреатической серпентинизации. Присутствие шнуров α-лизардита, а также β-лизардита, образование которого сопровождалось выделением магнетита, свидетельствует о колеблющихся температурах фреатической серпентинизации. Химический анализ α-лизардитизированного гарцбургита приведен в табл. 2. Железистость породы ($f = 0.085$) соответствует типичному представителю альпинотипных гипербазитов. Основность ($fm = 1.72$) и низкое содержание извести отвечает сравнительно слабо серпентинизированному гарцбургиту. Повышенные потери при прокаливании обусловлены присутствием карбоната.

Таблица 2

Химический состав α-лизардитизированного гарцбургита (с карбонатом), мас. %

Компоненты	Кс 309	Компоненты	Кс 309	Петрохим. параметры	Кс 309
SiO ₂	38.16	MnO	0.24	f	0.085
TiO ₂	следы	MgO	40.03	fm	1.72
Al ₂ O ₃	0.31	CaO	0.31	h	70
Cr ₂ O ₃	0.26	H ₂ O	0.41	FeO'	6.66
Fe ₂ O ₃	5.15	п. п. п.	13.16		
FeO	2.03	Сумма	100.06		

Примечание. Следы — менее 0.05 %.

В заключение отметим, что Касаргинский массив выделяется фреатическим типом α -, β -лизардитовой серпентинизации с сохранением реликтов исходных дунит-гарцбургитов и практическим отсутствием аллометаморфической антигоритизации.