

УДК 552.3+550.4(571.5+571.651)

П.Л. Тихомиров, М.В. Лучицкая

## МЕЛОВЫЕ ГРАНИТОИДЫ СЕВЕРО-ВОСТОКА АЗИИ. СТАТЬЯ 1. ГЕОЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ И ГЕОХИМИЯ

**Введение.** Позднеюрско-меловые гранитоидные плутоны составляют большую часть вскрытых эрозией плутонических образований Северо-Востока Азии, определяют многие аспекты региональной металлогении и играют роль важного геодинамического индикатора. Для большей части массивов установлены главные геометрические параметры, возраст, структурно-вещественный состав, а также формационная принадлежность. Вместе с тем имеющиеся прецизионные данные по содержанию элементов-примесей и по составам минералов достаточно скудны и недостаточны для региональных обобщений. Остаются невыясненными многие детали, касающиеся источников магм и физико-химических условий кристаллизации расплавов. В итоге геодинамические реконструкции и металлогенические модели лишаются немалой части фактической основы. Статья предполагает несколько восполнить этот пробел. В качестве основного предмета обсуждения здесь выступают новые данные о составе пород и минералов ряда гранитоидных плутонов: 1) Восточно-Прибрежно-Тайгоносского поясов (южная часть п-ова Тайгонос), 2) Танюрерского плутона Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП), 3) массивов Чаунской складчатой зоны: Пээкинейского, Мольтыканского и Телекайского.

### Общая геологическая характеристика изученных массивов

Рассматриваемые массивы входят в состав плутонических комплексов трех различных тектонических элементов: 1) Западно-Корякской складчатой системы (Тайгоносский сегмент), 2) Чаунской зоны Верхояно-Чукотской складчатой области и 3) ОЧВП (рис. 1).

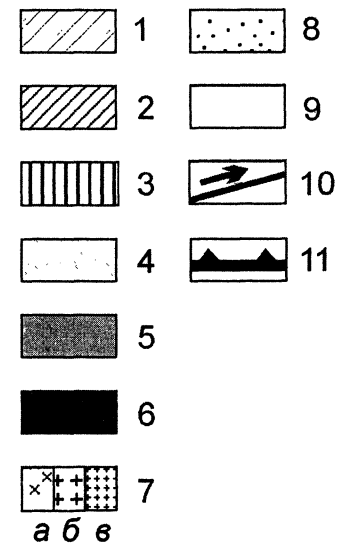
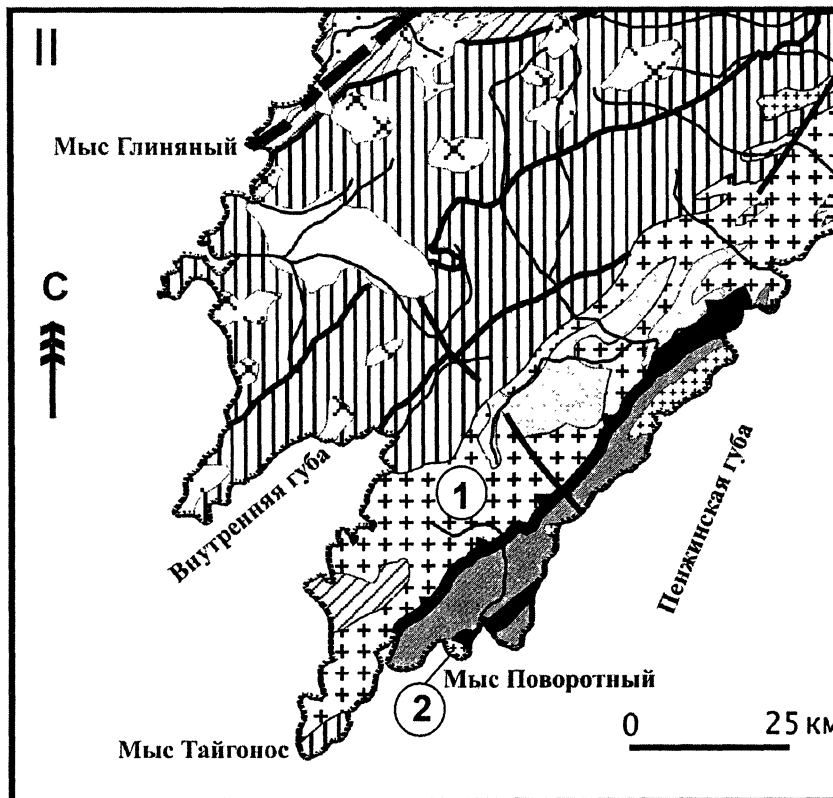
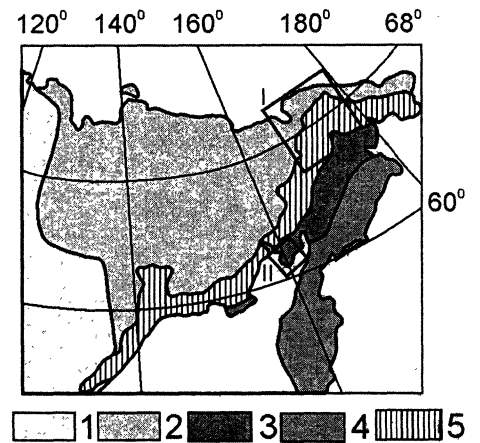
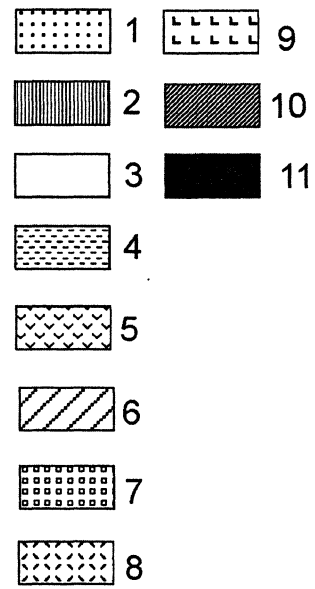
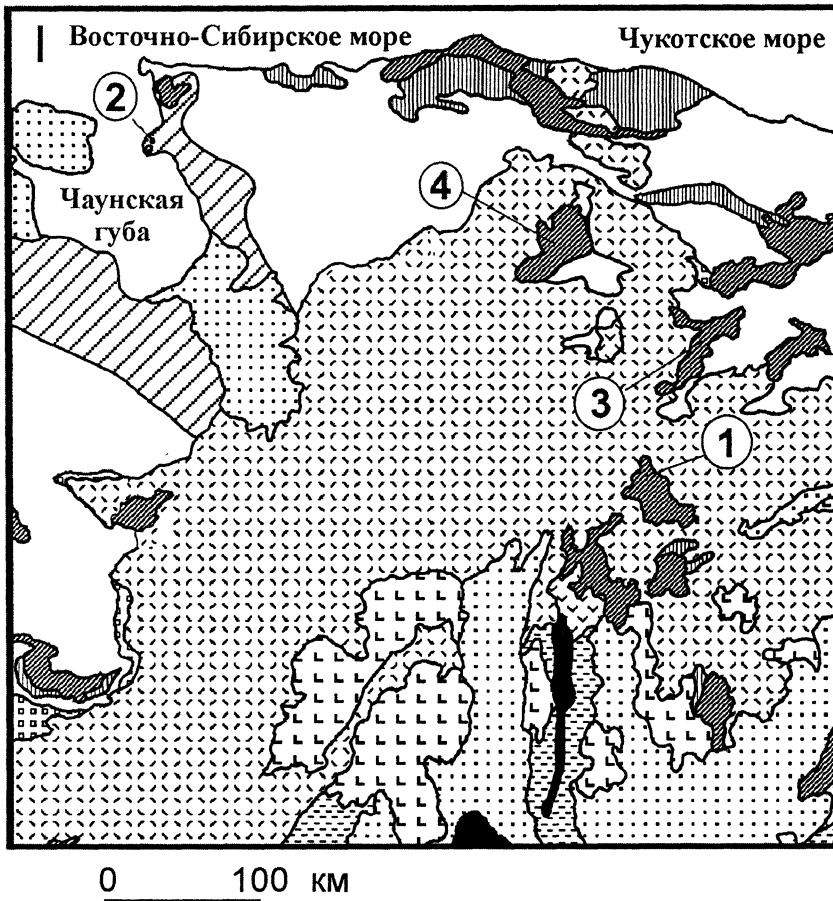
*Восточно-Тайгоносский* плутон имеет линейную северо-восточную ориентировку. Его протяженность составляет 200 км при ширине 25 км. Вмещающие породы — метаморфиты амфиболитовой фации. В наиболее эродированной северо-восточной части массив представлен серией пластовых тел гнейсовидных гранитоидов. На юго-западе, где величина эрозионного среза меньше, плутон приобретает форму дифференцированного факолита. Большинство массивов *Прибрежно-Тайгоносского пояса* имеет небольшие размеры (несколько километров) и форму, близкую к изометричной.

*Пээкинейский массив* расположен на восточном побережье Чаунской губы (рис. 1). В плане массив

субизометричный, площадь 2,5×3 км. Вмещающие породы — полого залегающие терригенные позднеюрско-раннемеловые осадки. *Мольтыканский батолит* — один из крупнейших массивов Чаунской зоны имеет площадь выхода 1630 км<sup>2</sup>. В плане интрузивное тело немного вытянуто в северо-восточном направлении, вкрест простирания основных складчатых структур района (рис. 1). *Телекайский плутон* в плане имеет Т-образную форму (рис. 1), площадь его обнаженной части составляет около 800 км<sup>2</sup>. Гранитоиды прорывают и метаморфизуют терригенные образования позднего триаса и позднеюрско-альбскую молассу [10], мощность которой в пределах региона не превышает 3 км. Северная часть массива имеет лейкогранитовый состав, меньшая по размерам южная часть сложена гранитами и гранодиоритами. Данных о непосредственных взаимоотношениях пород северной и южной частей нет; возможен их тектонический контакт. Петрографические и геохронологические параметры указывают на полиформационность Телекайского массива [10], и поэтому далее в тексте его северная и южная части рассматриваются отдельно как принадлежащие к различным плутоническим комплексам.

*Танюрерский плутон ОЧВП* расположен в пограничной зоне Центрально-Чукотского сектора и Восточно-Чукотской фланговой зоны [1] вулканического пояса (рис. 1). Наблюдению доступны лишь разобщенные выходы плутонических пород в бассейне р. Танюрер на территории 90×120 км. Массив имеет сложное строение и, согласно современным представлениям, включает образования трех интрузивных комплексов раннего и позднего мела. Объектом специального исследования избрана северная, наиболее молодая часть массива. Гранитоиды здесь интродуцируют туронские вулканы и в свою очередь пересекаются дайками базальтоидов и риолитов, вероятно, комагматичных эродированной верхней (кампанской) части вулканогенного разреза.

Результаты наиболее надежных из имеющихся изотопных датировок приведены в таблице. Принимая во внимание новые данные по гранитоидам Чаунской зоны и вулканикам ОЧВП [3, 11], можно заключить, что в пределах изученной территории крупные гранитные плутоны формировались в течение всего мелового периода: в Чаунской зоне — с берриаса по кампан, в пределах современного п-ова Тайгонос — в альбе, а в северной части ОЧВП — в сеноне.



Таблица

Изотопные датировки гранитоидных массивов

Тектоническая позиция	Массив	Материал	Возраст, млн лет	Метод датирования	Ссылка
Западно-Корякская складчатая система	Восточно-Тайгоносский	Биотит	102,1±0,4/103,1±0,5 102,3±0,3/103,3±0,3	Ar—Ar	[2]
		Циркон	103,4±1,7 97,0±1,1 104,6±1,0	SHRIMP U—Pb	[5]
	Прибрежно-Тайгоносский	Биотит	100,5±0,4/101,1±0,4 99,03±0,3/101,3±0,5	Ar—Ar	[2]
		Амфибол	102,9±2,6/103,5±1,9 101,6±0,7/100,9±0,6		
		Циркон	106,5±0,9 105,5±0,9	SHRIMP U—Pb	[5]
Чаунская зона Верхояно-Чукотской складчатой области	Мольтыканский	Биотит, амфибол	от 117 до 109 (13 определений)	K—Ar	[10]
ОЧВП	Танюерский	Амфибол	79,2±1,9	Ar—Ar	[11]
		Биотит	79,7±0,4 82,9±0,7		
		Плагиоклаз	77,3±0,4		

Петрография

В составе *Восточно-Тайгоносского плутона* преобладают гранодиориты и тоналиты, связанные постепенными переходами [4]. Гранодиориты — массивные светло-серые среднезернистые породы, сложенные плагиоклазом  $Ap_{40-25}$  (55—75%), кварцем (12—15%), калиевым полевым шпатом (5—15%), амфиболом (7—8%), биотитом (4—6%), среди аксессуарных фаз обычны апатит, сфен, циркон и титаномагнетит. Тоналиты отличаются от гранодиоритов низким, не более 1%, содержанием K—Na полевого шпата. Эндоконтактовые части массива представлены более меланократовыми породами — габбро-диоритами, диоритами, кварцевыми диоритами. В подчиненном количестве встречаются также биотит-амфиболовые граниты и лейкограниты.

Изученный интрузив *Прибрежно-Тайгоносского пояса* включает полный ряд пород от габбро до тоналитов, через диориты и кварцевые диориты; переходы

между петрографическими разностями постепенные. Габбро — массивные крупнозернистые породы, сложенные плагиоклазом  $Ap_{55-50}$ , амфиболом, орто- и клинопироксеном в различных пропорциях. Тоналиты сложены плагиоклазом  $Ap_{45-25}$  (65—80%), кварцем (15—20%), амфиболом (1—7%), биотитом (2—8%), K—Na полевым шпатом (~1%), из аксессуарных минералов присутствуют апатит, сфен, титаномагнетит и ильменит.

*Пээкинейский* и *Мольтыканский массивы* петрографически сходны. В составе обоих тел преобладают массивные порфиридные гранодиориты и кварцевые сиениты с крупными фенокристами K—Na полевого шпата. Основная масса преимущественно среднезернистая, сложена андезином-олигоклазом  $Ap_{43-24}$ , ортоклазом, бледным актинолитизированным амфиболом, красно-бурым биотитом и кварцем. Из аксессуарных минералов наиболее типичны апатит, циркон, ортит, сфен и ильменит.

Рис. 1. Расположение изученных массивов в общей структуре Северо-Востока Азии (на врезке), схемы геологического строения Центральной Чукотки (I) и п-ова Тайгонос (II). Схема I составлена на основе геологической карты СССР масштаба 1:2 500 000 (1983) с незначительными изменениями; схема II — по схеме из работы С.Д. Соколова и др. [8].

На врезке: 1 — Сибирская платформа; 2—4 — складчатые области: Верхояно-Чукотская, 3 — Западно-Корякская, 4 — Корякско-Камчатская; 5 — Охотско-Чукотский вулканогенный пояс.

I: 1 — кайнозойские впадины; 2 — выступы палеозойского фундамента мезозой; 3 — смятые в складки образования триаса—юры—неокома (Верхояно-Чукотская складчатая область); 4 — мел-кайнозойские комплексы Корякско-Камчатской складчатой области; 5 — образования позднеюрско-неокомовых вулканических дуг; 6 — отложения Раучанского прогиба (верхняя юра—неоком); 7 — нижнемеловые отложения “предвулканогенной молассы”, по [1]; 8 — вулканы ОЧВП; 9 — поздние платобазальты; 10 — крупные гранитоидные и габбро-гранитоидные плутоны; 11 — габбро-ультрабазитовые массивы. Цифры в кружках — плутоны: 1 — Танюерский, 2 — Пээкинейский, 3 — Телекайский, 4 — Мольтыканский.

II: 1 — метаморфизованные образования Пылгинской шовной зоны; 2—4 — Центрально-Тайгоносский террейн: 2 — вулканогенно-терригенные образования верхнего палеозоя — нижнего мезозоя, 3 — вулканогенно-терригенные образования верхней юры—нижнего мела осевой зоны Удско-Мургальской дуги, 4 — туфо-терригенные отложения и комплексы фундамента преддуговой части Удско-Мургальской дуги; 5, 6 — Береговой террейн: 5 — триасово-нижнемеловые терригенные, вулканогенные и кремнистые образования аккреционной структуры, 6 — офиолиты; 7 — гранитоиды поясов: а — Восточно-Тайгоносского, б — Прибрежно-Тайгоносского, в — Северо-Тайгоносского; 8 — верхнемеловые базальты ОЧВП; 9 — неоген-четвертичные отложения; 10 — разломы (стрелками обозначены направления перемещений); 11 — Южно-Тайгоносский надвиг. Цифры в кружках — исследованные массивы: 1 — Восточно-Тайгоносского пояса, 2 — Прибрежно-Тайгоносского пояса

Южную часть Телекайского плутона составляют массивные среднезернистые биотит-амфиболовые граниты и гранодиориты. В их составе — кварц, ортоклаз, плагиоклаз  $Ap_{40-20}$ , синевато-зеленый амфибол, темно-бурый биотит. Акцессорные фазы те же, что и в гранитоидах Мольтыканского и Пээкинейского массивов.

Массивные порфиридные лейкограниты главной фазы северной части Телекайского плутона сложены кварцем, низким ортоклазом или микроклинном, олигоклазом  $Ap_{24-10}$  с каймами постмагматического альбита и густо окрашенным бурым биотитом (от 1 до 3—4%). Среди акцессорных минералов помимо обычных апатита, циркона, ортита и ильменита нередко присутствуют флюорит и турмалин.

Петрографический состав многофазного Танюерского массива весьма разнообразен. Преобладают среднезернистые гранодиориты, равнозернистые и порфиридные, сложенные кварцем (15—25%), плагиоклазом  $Ap_{40-25}$  (40—50%), ортоклазом (15—25%), буроватым амфиболом (7—12%) в парагенезе с красновато-бурым биотитом (5—10%). В наиболее меланократовых разностях выявлены реликты гиперстена и авгита. Из акцессорных фаз широко распространены циркон, апатит, титаномагнетит, сфен, реже встречаются ортит и ильменит.

В породах всех изученных массивов присутствуют мелкозернистые меланократовые включения, по составу варьирующие от гранодиоритов до габбро и монцитов. Для всех них характерен резкий идиоморфизм плагиоклаза и темноцветных минералов по отношению к кварцу и  $K-Na$  полевому шпату, а также обильный мелкий игольчатый апатит. В настоящее время считается доказанной генетическая связь таких включений с процессами механического смешения расплавов разного состава [18].

#### Аналитические методы

Данные о составе пород получены в химико-аналитическом центре ГИН РАН и в химико-аналитических лабораториях ИГЕМ РАН и ИМГРЭ. Концентрации петрогенных элементов определялись с использованием методов мокрой химии и XRF, элементов-примесей — методом XRF (квантограф АРФ-6, спектрометр “Philips PW2400”), РЗЭ, U и Th — методом INAA с использованием гамма-спектрометра с полупроводниковым детектором GEM-30185 “Ortech”. Применялись стандартные методики с обычной для них чувствительностью.

#### Геохимические особенности гранитоидов

**Петрогенные элементы.** Собранные аналитические данные доступны на web-сайте и отражены на приведенных диаграммах (рис. 2—5). Наиболее разнообразны магматиты Танюерского плутона, включающие полный ряд от габбро до лейкогранитов (рис. 2, 3). Изученные породы Прибрежно-Тайгоносского пояса представлены диоритами, кварцевыми диоритами и тоналитами; в составе остальных интрузивов преобладают

граниты, гранодиориты и граносиениты. Выборы по плутонам Чаунской зоны относительно однородны и лишены отчетливых трендов дифференциации (рис. 2, 3).

Лучшим дискриминатором среди петрогенных элементов оказались щелочные металлы.  $K/Na$  отношение и общая щелочность гранодиоритов закономерно повышаются в ряду плутонов: Прибрежно-Тайгоносский — Восточно-Тайгоносский — Танюерский — южная часть Телекайского — прочие интрузивы Чаунской зоны (рис. 3, а, б). Средние значения коэффициента  $K/(K+Na)$  меняются от 0,1 (Прибрежно-Тайгоносский пояс) до 0,54 (Пээкинейский массив). Гранитоидам Прибрежно-Тайгоносского пояса свойственна наибольшая в данной выборке известковистость и соответственно наименьшая глиноземистость (рис. 2, 3, г). Для большинства остальных массивов средняя величина  $Al/(K+Na+2Ca)$  близка к единице и превышает 1,05 лишь в породах Пээкинейского интрузива и северной части Телекайского плутона (рис. 3, г).

**Элементы-примеси.** Микроэлементный состав изученных пород (рис. 4) гораздо разнообразнее, чем содержания петрогенных оксидов. Анализ полученных данных позволяет разделить плутоны на пять групп, объединяющих массивы: 1) Прибрежно-Тайгоносский, 2) Восточно-Тайгоносский, 3) Танюерский и южную часть Телекайского, 4) Пээкинейский и Мольтыканский, 5) северную часть Телекайского. Группы перечислены в порядке возрастания общего обогащения пород несовместимыми литофильными элементами, содержания которых обнаруживают устойчивую корреляцию с содержаниями  $K_2O$ , гораздо более явную, чем с кремнекислотностью.

Самыми “истощенными” в рассматриваемой выборке являются гранитоиды Прибрежно-Тайгоносского пояса. Их отличают минимальное  $La/Yb$  отношение, относительно слабые  $Ta-Nb$  минимумы и повышенное содержание Y и тяжелых РЗЭ, что придает общий положительный наклон спайдеграммам (рис. 4). Микроэлементный состав пород Прибрежно-Тайгоносского пояса близок предполагаемому среднему составу нижней коры континентов [9]. В гранитоидах Восточно-Тайгоносского плутона содержания LILE несколько выше (рис. 4). Общей особенностью всех изученных пород п-ова Тайгос является изменчивость содержания Sr (рис. 4, а, б) и Eu (рис. 4, в), вероятно, это следствие фракционирования значительной массы плагиоклаза. Танюерский плутон и южная часть Телекайского массива характеризуются умеренными концентрациями несовместимых элементов. Их состав близок к среднему для верхней коры континентов (рис. 4, б). Пээкинейский и Мольтыканский массивы заметно обогащены LILE и легкими РЗЭ. Свойственное им  $La/Yb$  отношение вдвое превышает среднее для верхней континентальной коры. Вместе с тем на их спайдеграммах сохраняются общие для всех изученных пород минимумы по Nb, Ta и P (рис. 4, а, б). Породы северной части Телекайского массива выделяются специфическими геохимическими характеристиками, присущими некоторым лейкогранитам и аляскитам.

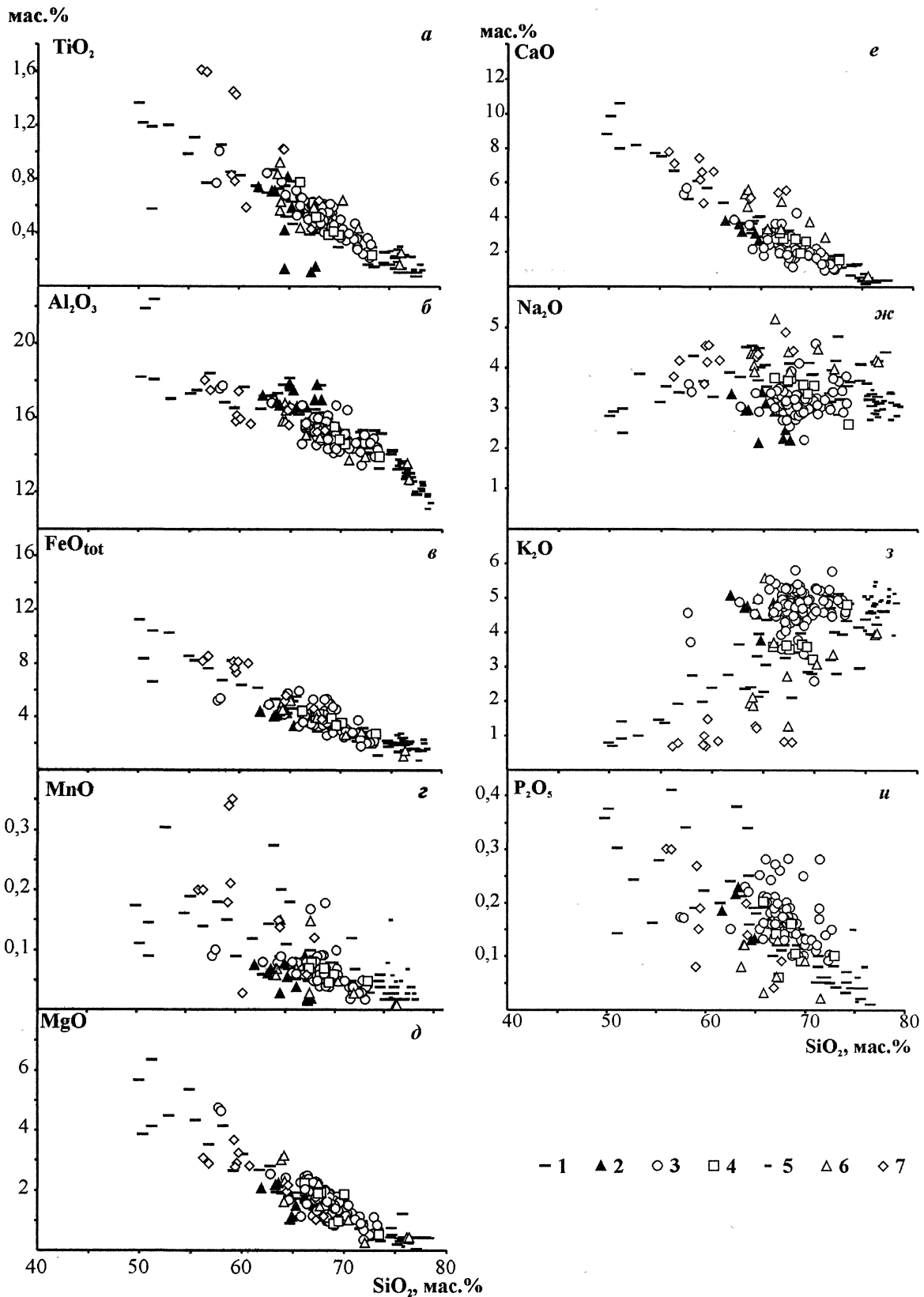


Рис. 2. Диаграммы Харкера для пород изученных массивов: 1 — Танюерского, 2 — Пээкинейского, 3 — Мольтыканского, 4—5 — Телекайского (4 — южная часть, 5 — северная часть), 6 — Восточно-Тайгонского, 7 — Прибрежно-Тайгонского

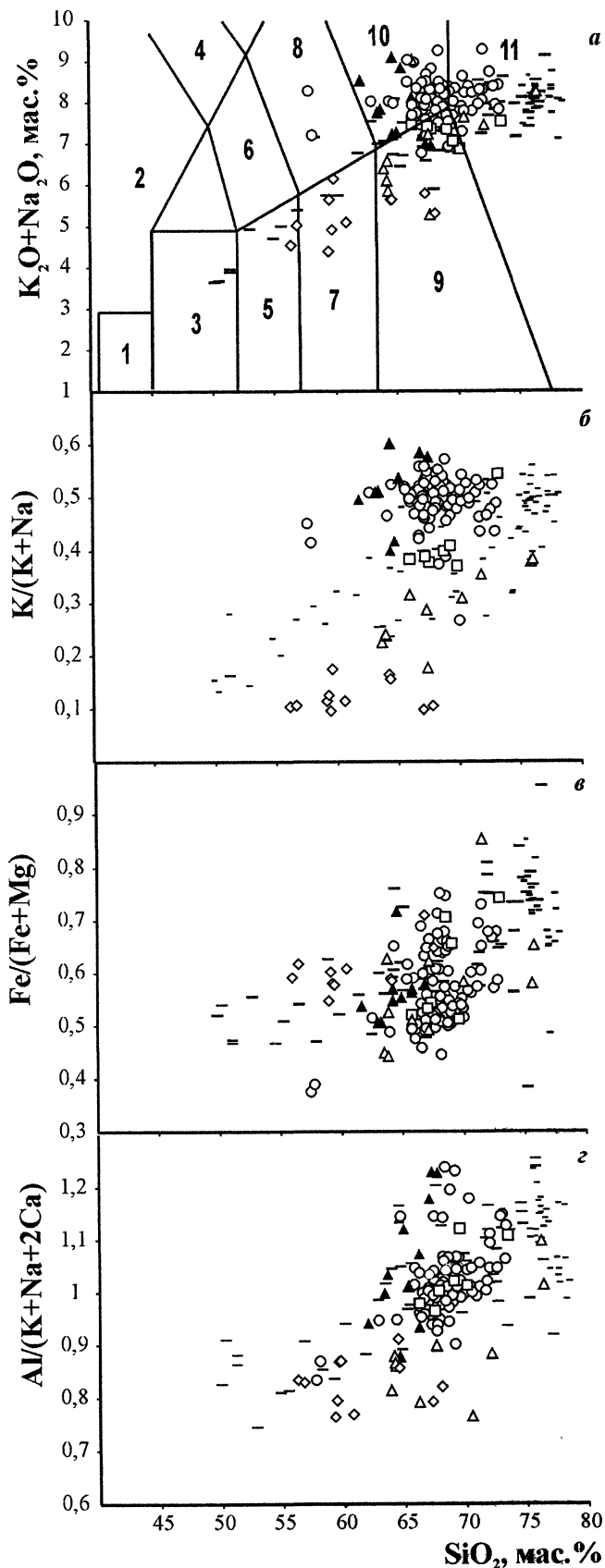


Рис. 3. Диаграммы  $K_2O+N_2O-SiO_2$ ,  $K/(K+Na)-SiO_2$ ,  $Fe/(Fe+Mg)-SiO_2$ ,  $Al/(Na+K+2Ca)-SiO_2$  для меловых гранитоидов Северо-Востока Азии. Условные обозначения см. на рис. 2. Поля составов эффузивных аналогов плутонов, по [14]: 1 — пикриты, 2 — тефриты и базаниты, 3 — базальты, 4 — трахибазальты, 5 — андезитбазальты, 6 — трахиандезитбазальты, 7 — андезиты, 8 — трахиандезиты, 9 — дациты, 10 — трахидациты, 11 — риолиты

Высокое содержание большинства несовместимых литофильных элементов сочетается в них с резкими минимумами по Ba, Sr, P и Eu, а также со значительным обогащением тяжелыми РЗЭ (рис. 4).

На дискриминационных диаграммах (рис. 5) точки большинства изученных массивов расположены в поле гранитоидов активных континентальных окраин. Лейкограниты северной части Телекайского интрузива близки постороженным внутриплитным образованиям. Позиция Пээкинейского и Мольтыканского плутонов определяется менее отчетливо: по геохимическим характеристикам они занимают промежуточное положение между гранитоидами надсубдукционных зон, постколлизийных поднятий и позднеорогенных обстановок.

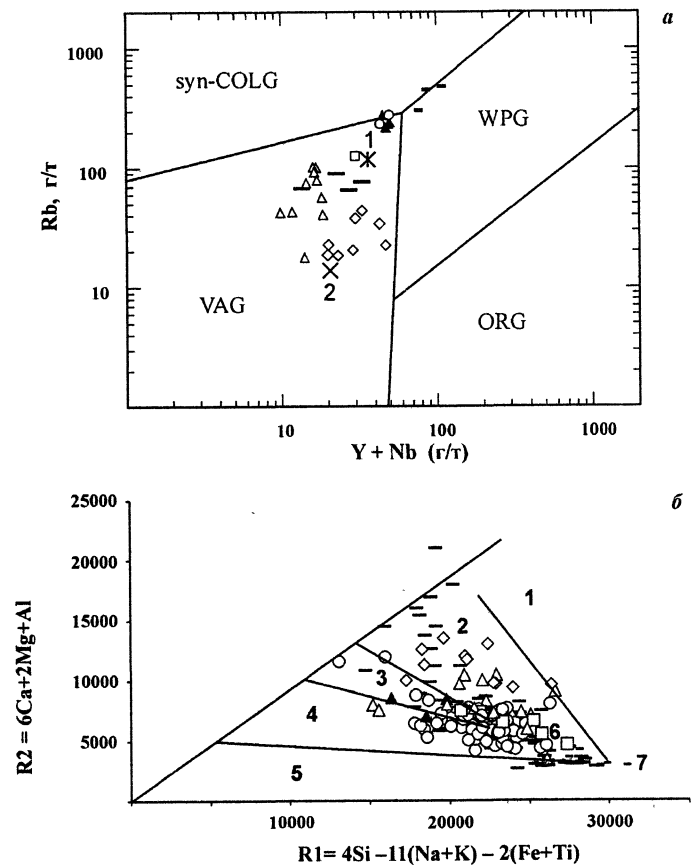


Рис. 5. Дискриминационные диаграммы для меловых гранитоидов Северо-Востока Азии: а — Rb — Y + Nb, по [16], б — R1—R2, по [13]. Условные обозначения см. на рис. 2. Поля составов гранитоидов: VAG — вулканических дуг, syn-COLG — синколлизийных обстановок, WPG — внутриплитных обстановок, ORG — океанических хребтов. Поля магматических серий: 1 — производных мантийных магм, 2 — надсубдукционных, 3 — постколлизийных поднятий, 4 — позднеорогенных, 5 — анорогенных, 6 — синколлизийных, 7 — постороженных

### Обсуждение результатов

По петрографическим и геохимическим особенностям породы всех включенных в рассмотрение плутонов соответствуют I-типу [17], за исключением субщелочных лейкогранитов северной части Телекайского массива, в равной степени проявляющих черты I, A и S-гранитов, и пород Прибрежно-Тайгонесского пояса, проявляющих некоторое сходство с M-гранитами.

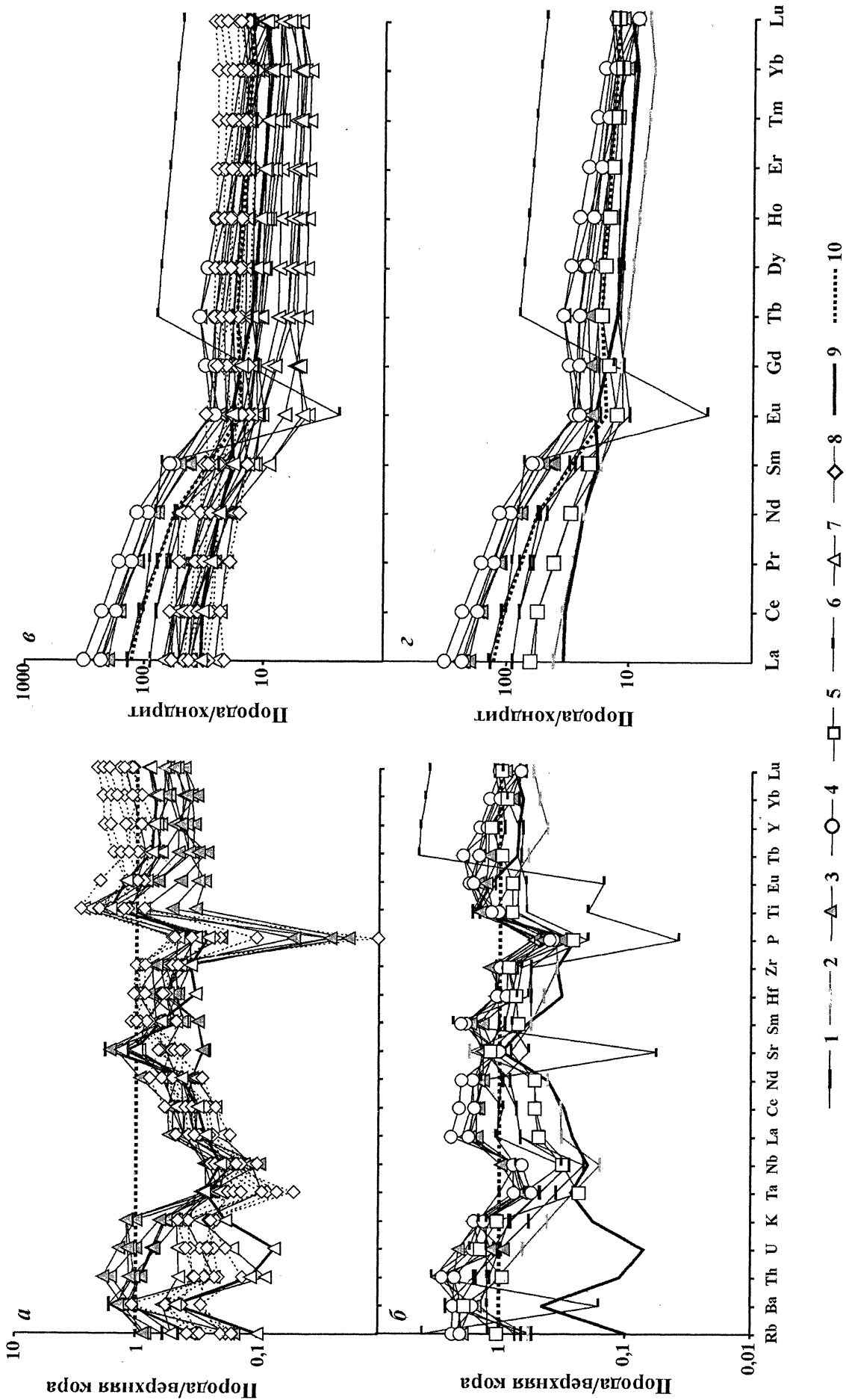


Рис. 4. Слайд-диаграммы (а, б) и РЗЭ-диаграммы (в, д) для меловых гранитоидов Северо-Востока Азии. Нормы по составам верхней коры, по [9], и хондрита С1: 1—7 — массивы: 1 — Танорерский, 2 — Пээкинйский, 3 — Мольтыканский, 4—5 — Телекайский (4 — южная часть, 5 — северная часть), 6 — Восточно-Тайтоносский, 7 — Прибрежно-Тайтоносский; 8 и 9 — средние составы нижней и верхней континентальной коры соответственно, по [9]

Лейкограниты северной части Телекайского интрузива, подобно большинству магматитов с внутриплитными характеристиками, своей геохимической спецификой в большей мере обязаны условиям формирования (низкая степень плавления, длительная дифференциация и участие обогащенных мантийных флюидов), чем местным особенностям состава источника [19]. Различия же между остальными четырьмя геохимическими типами гранитоидов, выявленными нашими исследованиями, по-видимому, являются следствием различий в составе источников магм. Собранные факты позволяют заключить, что, во-первых, от внутриконтинентальных областей к зонам с корой переходного типа степень общего обогащения источника снижается независимо от возраста магматитов; во-вторых, современный п-ов Тайгонос объединяет разнородные блоки коры, геохимические характеристики которых следуют той же закономерности общего обеднения с приближением к океану; в-третьих, геохимический облик I-гранитоидов контролируется в основном локальными особенностями состава субстрата, а не геодинамической обстановкой (в частности, об этом свидетельствует сходство состава Танюерского плутона и южной части Телекайского массива); наконец, Танюерский интрузив и массивы Чаунской зоны сформированы главным образом за счет вещества зрелой континентальной коры, а гранитоиды п-ова Тайгонос — за счет “молодой” коры, в составе которой преобладают относительно обедненные островодужные комплексы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Белый В.Ф.* Стратиграфия и структуры Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. М., 1977.
2. *Бондаренко Г.Е., Морозов О.Л., Лэйер П., Минюк П.С.* Новые данные Ar—Ar изотопного датирования магматических и метаморфических пород полуострова Тайгонос (Северо-Восток России) // Докл. РАН. 1999. Т. 369. № 1. С. 76—83.
3. *Ефремов С.В., Дудкин Д.В., Козлов В.Д.* Гранитоиды восточного побережья Чаунской губы // Магматизм и метаморфизм Северо-Востока Азии / Материалы IV регионального петрографического совещания по Северо-Востоку России. Магадан, 2000. С. 141—145.
4. *Луцицкая М.В.* Геохимическая характеристика гранитоидов Восточно-Тайгоносского и Прибрежно-Тайгоносского поясов в южной части п-ова Тайгонос: сходство и отличие с I- и M-типами гранитов // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2001. Т. 76. Вып. 3. С. 52—62.
5. *Луцицкая М.В., Хоуриган Дж., Бондаренко Г.Е., Морозов О.Л.* Новые данные SHRIMP U—Pb-исследований цирконов из гранитоидов Прибрежно- и Восточно-Тайгоносского поясов, южная часть п-ова Тайгонос // Докл. РАН. 2003. Т. 389. № 6. С. 763—769.
6. *Некрасов Г.Е.* Тектоника и магматизм Тайгоноса и Северо-Западной Камчатки. М., 1976.
7. *Парфенов Л.М., Натанов Л.М., Соколов С.Д., Цуканов Н.В.* Террейны и аккреционная тектоника северо-востока Азии // Геотектоника. 1993. № 1. С. 68—78.
8. *Соколов С.Д., Бондаренко Г.Е., Морозов О.Л., Луцицкая М.В.* Тектоника зоны сочленения Верхояно-Чукотской и Корьякско-Камчатской складчатых областей // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2001. Т. 76. Вып. 6. С. 24—37.
9. *Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М.* Континентальная кора: ее состав и эволюция. М., 1988.
10. *Тихомиров П.Л.* Петрология гранитоидов Телекайского рудного района (Центральная Чукотка): Автореф. канд. дис. СПб., 1998.
11. *Тихомиров П.Л., Акинин В.В., Исполатов В.О.* и др. Возраст северной части Охотско-Чукотского вулканогенного пояса: новые данные Ar—Ar и U—Pb геохронологии // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2006 (в печати).
12. *Barbarin B.* Granitoids: main petrogenetic classifications in relation to origin and tectonic setting // Geol. J. 1990. Vol. 25. N 3/4. P. 227—238.
13. *Batchelor R.A., Bowden P.* Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters // Chem. Geol. 1985. Vol. 48. P. 43—55.
14. *Le Maitre R.W.* A classification of igneous rocks and glossary of terms. Oxford, 1989.
15. *Nokleberg W.J., Parfenov L.M., Monger J.W. H. et al.* Phanerozoic tectonic evolution of the Circum-North Pacific // US Geol. Surv. (USGS) 2001. Prof. Pap. 1626.
16. *Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G.* Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks // J. Petrol. 1984. Vol. 25. N 4. P. 956—983.
17. *Pitcher W.S.* Granites and yet more granites forty years on // Geol. Rundschau. 1987. Bd. 76. N 1. S. 51—79.
18. *Vernon R.H.* Microgranitoid enclaves in granites — globules of hybrid magma quenched in a plutonic environment // Nature. 1991. Vol. 309. P. 438—439.
19. *Whalen J.B., Currie K.L., Chappell B.W.* A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis // Contrib. to Mineral. and Petrol. 1987. Vol. 95. P. 407—419.