

УДК 553.4:550.4

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ГЕНЕЗИС КРУПНЫХ МНОГОФАЗНЫХ ПЛУТОНОВ В ЯДРАХ И НА ПЕРИФЕРИИ РАЗНОВОЗРАСТНЫХ МАГМАТИЧЕСКИХ АРЕАЛОВ МОНГОЛО-ОХОТСКОГО СКЛАДЧАТОГО ПОЯСА

В. С. Антипин^{1,*}, академик РАН М. И. Кузьмин¹, Д. Одгэрэл²,
Л. В. Куш¹, Н. В. Шептякова¹

Поступило 31.01.2019 г.

Раннемезозойский Бага-Хэнтейский плутон является частью Дауро-Хэнтэйского батолита, образование которого связывается с воздействием Монгольского плюма на нижние горизонты континентальной коры в зоне коллизионного сжатия, возникшей при закрытии Монголо-Охотского океана. В образовании батолита и его обрамления участвовали мантийные и коровые источники расплавов. Массив Их-Наротин-Хид тяготеет к границе рифтовой области на периферии позднемезозойского ареала. Петрогеохимическая близость его пород к составу вмещающих гнейсов является основанием относить последние как к наиболее вероятному субстрату при образовании палингенных гранитов известково-щелочного ряда. Различия в составе пород крупных плутонов отражены в слабой дифференцированности пород Бага-Хэнтейского массива, что, возможно, определялось условиями анатексиса и последующим формированием расплавов в обстановке коллизионного сжатия, а граниты Их-Наротин-Хидского массива формировались в обстановке растяжения, благоприятствовавшей глубокой дифференциации магматических расплавов.

Ключевые слова: плутон, ареал, гранитоид, геохимия, петрология, генезис, Монголия, плюм.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524874418-423>

В последнее время важное значение придаётся геологическим, геодинамическим и металлогеническим условиям формирования крупнейших батолитов Центральной и Северо-Восточной Азии, расположенных в центральных областях зональных магматических ареалов, формирующихся под влиянием мантийных плюмов [1]. Обширная область проявления внутриплитного магматизма в поздней перми и раннем триасе (270–240 млн лет) под влиянием плюмовой активности находилась в пределах Хангайского ареала в Монголии. Центром ареала является Хангайский батолит, представленный гранитоидами известково-щелочного ряда с преобладанием гранодиоритов и в меньшей степени магматических пород повышенной щёлочности, преимущественно развитых в обрамляющих плутон рифтовых зонах. Предполагается, что мантийные расплавы внедрялись в основание земной коры, вызывая её плавление, и взаимодействовали с анатектическими магмами, определяя изотопно-гео-

химические характеристики гранитоидов [2]. Образование гигантских батолитов (наряду с Хангайским, также Ангаро-Витимский и Дауро-Хэнтейский) характерно для геологического развития активной континентальной окраины Сибирского палеоконтинента в позднем палеозое и мезозое. На примере раннемезозойского тектономагматического ареала Монголо-Забайкальской области показано, что пространственная и возрастная сопряжённость гранитоидов различных геохимических типов с проявлениями мантийного магматизма позволяет предполагать их образование под влиянием теплового воздействия магм на породы коры и последующего их анатексиса [3]. Таким образом, батолиты формируются в центральных частях зональных ареалов, где имеются глубокие “корни” земной коры, образованной в результате закрытия Монголо-Охотского бассейна и столкновения (коллизии) континентальных обрамляющих его структур. Здесь в сравнительно небольшом возрастном интервале (300–190 млн лет [3]) под влиянием глубинного мантийного вещества магм и флюидов происходит формирование батолитов за счёт палингенного плавления субстрата нижних частей земной коры. Очевидно, что крупные плу-

¹ Институт геохимии им. А.П. Виноградова

Сибирского отделения Российской Академии наук, Иркутск

² Институт палеонтологии и геологии

Монгольской академии наук, Улан-Батор

*E-mail: antipin@igc.irk.ru

тоны гранитоидов играют важную роль в строении зональных магматических ареалов.

В работе проведён сравнительный анализ крупных эталонных многофазных массивов гранитоидов, относящихся к разновозрастным ареалам магматизма западной части Монголо-Охотского пояса, различающихся особенностями строения и механизмов формирования. Раннемезозойский магматический ареал отчётливо зональный. В его центральной части расположен гигантский Дауро-Хэнтейский гранитоидный батолит, а в периферийных зонах распространены вулканоплутонические субщелочные и щелочные комплексы пород, а также интрузии гранитов редкометалльных типов. Эталонным для батолита массивом является крупный многофазный Бага-Хэнтейский плутон, образование которого, а также магматических пород его обрамления происходило в возрастном интервале 230–195 млн лет, а состав и изотопно-геохимические особенности гранитоидов рассмотрены ранее в [3–5].

Формирование позднемезозойского ареала было сопряжено с рифтогенными процессами, протекавшими в интервале поздняя юра — ранний мел (156–100 млн лет). Они охватили территорию Северо-Восточной Монголии и Восточного Забайкалья, расположенную непосредственно к югу и востоку от раннемезозойского магматического ареала. В строении магматического ареала преобладают вулканические породы, представленные породами трёх серий различной щёлочности: бимодальной, шошонитовой и базанитовой, которые формировались в интервале от 120 до 104 млн лет [6]. В отличие от раннемезозойского в позднемезозойском ареале проявления интрузивного магматизма редки и контролируются преимущественно его пограничными разломами. На территории Монголии они представлены редкими интрузивными массивами, в том числе Их-Хайрханской группы (Их-Хайрхан, Бага-Хайрхан), массивом Барун-Цогто, дайковой серией онгонитов (Онгон-Хайрхан), являющихся субвулканическими эквивалентами Li–F-гранитов [4, 7], и некоторыми другими.

Наиболее крупным и эталонным среди этих массивов является массив Их-Наротин-Хид, который по размерам, многофазному строению и петрографическим характеристикам гранитоидов близок к Бага-Хэнтейскому плутону, но остаётся наименее изученным в отношении состава и геохимических особенностей пород, а также условий их генезиса. Целью работы является сравнительная характеристика Их-Наротин-Хидского и Бага-Хэнтейского массивов, являющихся крупнейшими интрузивными

образованиями в составе разных по строению соответственно позднемезозойского и раннемезозойского магматических ареалов, и оценка причин, в том числе геодинамических, обусловивших черты их сходства и различия. В основу работы положены первые прецизионные геохимические данные по позднемезозойскому массиву Их-Наротин-Хид.

Массив Их-Наротин-Хид расположен в Восточной Монголии в пределах Северной Гоби и приурочен к системе разломов северо-восточного простирания, один из которых ограничивает плутон вдоль его восточного контакта. Образую форму полуовала и варьируя по ширине от 10 до 30 км, массив занимает площадь около 400 км². С запада и юга вмещающими для него служат гнейсы, мраморизованные известняки верхнепротерозойского возраста, а на севере и вблизи восточного контакта — незначительно метаморфизованные песчано-сланцевые отложения и палеозойские гранитоиды (рис. 1).

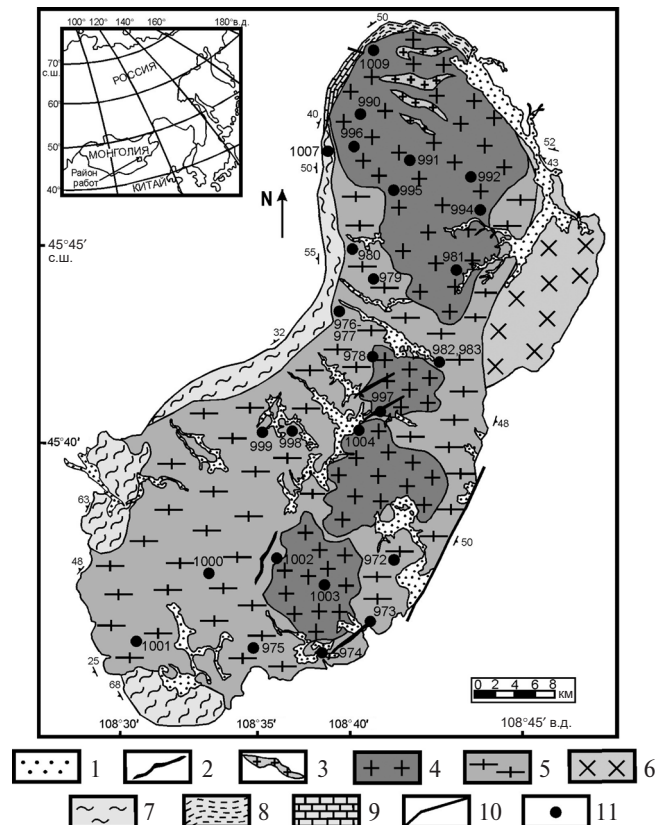


Рис. 1. Схема геологического строения массива Их-Наротин-Хид (с использованием данных по [8]). 1 — современные отложения; 2 — дайки субщелочных базальтоидов; 3 — жилы пегматитов; 4 — среднезернистые граниты 2-й фазы; 5 — крупнозернистые порфировидные граниты 1-й фазы; 6 — палеозойские гранитоиды; 7 — порфиробластические гнейсы; 8 — кристаллические сланцы; 9 — мраморизованные известняки; 10 — зоны разломов; 11 — номера и точки отбора проб и образцов.

Массив характеризуется довольно сложным внутренним строением. В его юго-западной и центральных частях распространены крупнозернистые порфиroidные граниты ранней фазы с вкрапленниками калиевого полевого шпата размером до $3,5 \times 2$ см. Основная масса в них представлена полевыми шпатами, кварцем, биотитом и редко роговой обманкой. Центральную и северную части Их-Наротин-Хидского массива преимущественно слагают средне- и равномерно-зернистые биотитовые граниты 2-й фазы, которые прорывают более ранние порфиroidные граниты. В зонах эндоконтакта гранитоиды часто имеют гнейсовидную текстуру, иногда обогащены биотитом и нередко содержат гранат и мусковит. В северной части массива наблюдаются многочисленные ксенолиты и прослои вмещающих пород, непосредственно залегающих вблизи его контактов (мраморы, кварциты и сланцы). В гранитах отмечены также ксенолиты расщепленных амфиболитов, содержащих слои богатых и бедных пироксенном парагнейсов и мигматитов, которые не встречаются среди вмещающих пород [8]. Характерными акцессорными минералами гранитов Их-Наротин-Хида являются титанит, апатит, циркон, алланит, флюорит, редко монацит и рудные: магнетит, пирит, гематит и ильменит. Граниты ранних фаз плутона секутся дайками и пластовыми телами мелкозернистых лейкогранитов, аплитов и жилами пегматитов, которые выделены в фазу дополнительных интрузий. Для них также характерны двуслюдяные разновидности с гранатом и отмечаются зональные шлировые пегматиты с гнёздами, содержащими берилл и рудные минералы. Наиболее поздним проявлением магматизма в массиве являются редкие дайки субщелочных базальтоидов, по составу близкие к абсарокитам. В среднезернистых биотитовых гранитах ранее были обнаружены зоны грейзенизации, содержащие кварцевые жилы с вольфрамитом. Наряду с кварц-вольфрамитовыми жилами в гранитах отмечены жильные зоны кварц-флюоритовых пород [7].

Первые возрастные данные по Их-Наротин-Хидскому массиву были получены К–Аг-методом по биотитам из порфиroidных гранитов ранней фазы (131 млн лет) и среднезернистых гранитов 2-й фазы (122 млн лет) [7]. Позднее раннемеловой возраст гранитоидов исследуемого плутона Их-Наротин-Хид (136–130 млн лет) и расположенного на его северо-восточном продолжении массива Алтанширее (134–128 млн лет) был определён по цирконам U–Pb-, а также $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -методами [8].

При сравнительном анализе пород Бага-Хэнтэйского и Их-Наротин-Хидского массивов, принад-

лежащих разным по строению магматическим ареалам, наряду с возрастными установлены также существенные различия их химизма (табл. 1). В отличие от гранодиорит-гранитной серии пород Бага-Хэнтэя преимущественно гранитный состав всех фаз Их-Наротин-Хида характеризуется большими содержаниями SiO_2 и K_2O и значительно меньшими — Al_2O_3 , FeO, MgO, CaO и Na_2O . Существенно кремнекислые и калиевые граниты главных фаз Их-Наротин-Хидского массива имеют и более высокий уровень концентраций большинства редких элементов: литофильных (Li, Cs, Rb, Sn), халькофильных (Pb, Zn) и высокозарядных (Nb, Ta, Hf, Th, U), и в них проявлен отчётливо выраженный минимум содержаний Ba, Sr, Eu по отношению к гранитоидам Бага-Хэнтэя. Это свидетельствует о формировании гранитов Их-Наротин-Хида из магмы, претерпевшей процессы внутрикамерной магматической дифференциации, что подтверждается более низким средним значением K/Rb-отношения (117) для исследуемых гранитов по сравнению с гранитоидами Бага-Хэнтэя (391). Жильные тела лейкогранитов и аплитов Их-Наротин-Хидского массива близки по составу к гранитам ранних фаз, но поздние пегматиты обогащены K, Rb, Pb и в значительной мере обеднены Ba, Sr, Zr, Hf и REE (табл. 1). Первые геохимические данные по кварц-мусковитовым грейзенам Их-Наротин-Хида свидетельствуют о резком концентрировании в них F, Li, Rb, Cs, Sn, Th, U, LREE и наличии минимумов концентраций Ba, Sr, Ta. По уровню содержаний породообразующих оксидов и концентраций большинства проанализированных редких элементов граниты обеих фаз Их-Наротин-Хида близки к вмещающим их древним гнейсам, что может служить показателем формирования гранитов массива при процессах плавления гнейсового субстрата.

При сопоставлении гранитоидов Бага-Хэнтэйского и Их-Наротин-Хидского массивов важно также учесть геодинамические механизмы, приведшие к их образованию. Раннемезозойский Бага-Хэнтэйский плутон является частью Дауро-Хэнтэйского батолита, образование которого связывается с воздействием Монгольского плюма на нижние горизонты континентальной коры в зоне коллизии сжатия, возникшей при закрытии Монголо-Охотского океана [1]. По данным изотопно-геохимических исследований [4, 9] в образовании батолита и его обрамления участвовали мантийные и коровые источники расплавов. При высокой степени плавления протолита раннекаледонской континентальной коры Хэнтэйского прогиба формировались гранодиориты ядра ареала. Вариации изо-

Таблица 1. Состав раннемезозойских (Бага-Хэнтэй) и позднемезозойских (Их-Наротин-Хид) гранитоидов Монголии

Элемент Фаза	Бага-Хэнтэй [5]			Их-Наротин-Хид						Вмещающая толща
	1	2	3	1	2	3	Пегматит	Грейзен	Абсарокит	Гнейс
SiO ₂	64,77	68,29	74,27	73,53	73,10	75,50	74,01	75,16	51,04	73,92
TiO ₂	0,78	0,40	0,22	0,19	0,19	0,06	0,05	0,17	3,25	0,15
Al ₂ O ₃	16,95	17,41	12,76	13,63	13,78	13,65	13,32	11,44	14,28	13,77
Fe ₂ O ₃	1,77	0,46	0,72	1,12	1,11	0,90	0,46	3,89	10,06	1,02
FeO	2,05	1,98	1,25	0,63	0,79	0,27	0,15	1,17	1,01	0,70
MnO	0,12	0,09	0,08	0,03	0,04	0,03	0,03	0,07	0,10	0,04
MgO	1,39	0,84	0,27	0,21	0,24	0,04	0,03	0,25	1,52	0,13
CaO	3,02	1,63	0,91	1,03	0,99	0,62	0,18	1,04	7,07	0,92
Na ₂ O	4,94	4,33	3,56	3,43	3,40	4,10	2,46	0,21	2,96	3,78
K ₂ O	3,59	3,88	4,83	5,12	5,31	4,62	7,85	3,77	2,81	4,79
P ₂ O ₅	0,18	0,14	0,02	0,09	0,08	0,04	0,05	0,07	1,82	0,08
п. п. п.	0,50	0,41	0,42	0,52	0,53	0,32	0,22	2,86	3,80	0,42
Сумма	100,06	99,86	99,31	99,53	99,56	100,15	98,81	100,10	99,72	99,72
F, ppm	730	640	600	790	615	105	180	11500	1500	500
Li	26	34	22	77	60	21	30	420	31	48
Rb	81	88	119	384	311	445	556	860	60	392
Cs	3,0	3,0	2,0	8,5	7,5	6,7	10	38	6	8
Sn	3,1	4,1	1,9	2,5	5,2	3,9	3,1	98	16	2,7
Ta	0,4	0,8	0,7	1,1	2,2	7,1	4,1	0,02	2,4	1,1
Be	1,8	3,4	1,2	5,8	4,5	6,0	2,8	6,7	3,2	3,8
Sr	236	200	200	139	170	42	32	14	900	141
Ba	800	686	840	428	541	90	45	161	1970	421
Y	26	34	13,4	11,1	18,9	9,4	9,8	26	44	26
Pb	11	12	10	31	36	38	56	30	22	45
Zn	39	33	15	87	170	62	118	163	254	125
Zr	284	175	160	150	178	55	20	140	516	148
Hf	3,1	3,7	2,7	4,8	6,1	4,5	1,5	4,6	12,9	5,3
Nb	4,4	9,3	4,5	15,8	19,4	24,8	19,0	6,0	39	20
La	42	41	37	40	38	13	7,7	61	98	31
Ce	72	67	66	65	80	27	15	109	208	56
Yb	3,0	4,0	1,8	1,3	2,6	4,9	1,2	2,6	3,4	2,7
Th	8,0	21,4	9,7	42,5	50,0	23,2	14,3	49	8,1	38
U	1,0	2,4	2,3	3,2	3,6	2,5	1,7	13,3	3,3	3,5
K/Rb	386	375	412	116	142	93	117	37	390	102
n	4	5	7	9	8	4	Ихн 997	Ихн 972	Ихн 973	Ихн1007

Примечание. Составы пород массивов: Бага-Хэнтэй (1 — порфировидные гранодиориты 1-й фазы, 2 — гнейсовидные граниты 2-й фазы, 3 — лейкограниты с биотитом 3-й фазы). Их-Наротин-Хид (1 — порфировидные граниты 1-й фазы, 2 — среднезернистые граниты 2-й фазы, 3 — аплиты и пегматиты фазы дополнительных интрузий). Породообразующие оксиды (мас.%) определены классическим химическим методом (аналитик Г.А. Погудина), редкие щелочные элементы (ppm) — методом фотометрии пламени (аналитики Л.В. Алтухова, И.М. Хмелевская), F — методом МАЕС (аналитик И.Е. Васильева), другие редкие — методом ICP-MS (аналитики Л.А. Чувашова, О.В. Зарубина) с контролем по международным стандартным образцам на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7700x ("Agilent Technologies", USA) в Центре коллективного пользования "Байкальский Центр Нанотехнологий" Технопарка Иркутского государственного технического университета (БЦНТ ФГБОУ ВО ИРНИТУ, г. Иркутск). n — число анализированных проб. Номера проб.

топного состава неодима и кислорода в породах батолита [2, 3] позволяют предполагать, что по мере роста их кремнекислотности возрастала доля ювенильного компонента в источнике гранитоидов Бага-Хентея. Судя по геохронологическим данным,

завершение развития раннемезозойской магматической области произошло около 190 млн лет назад, что свидетельствует о прекращении к этому времени воздействия теплового источника (плюма) на литосферу [3].

Массив Их-Наротин-Хид (122–136 млн лет) возник в другой геологической обстановке — в пределах зоны рифтогенеза, порождённого одним из плюмов Центрально-Азиатского горячего поля мантии [1]. Массив тяготеет к границе рифтовой области. Петрохимическая близость его пород к составу вмещающих гнейсов даёт основание относить последние как к наиболее вероятному субстрату при образовании палингенных гранитов известково-щелочного ряда. Их плавление происходило под влиянием мантийных магм щелочно-базальтоидного и абсарокит-шошонитового составов, дайки которых прорывают граниты массива, но, кроме того, широко проявлены в рифтогенных впадинах в его обрамлении.

Таким образом, сопоставление крупных массивов гранитоидов, сформировавшихся в разных по строению магматических ареалах, указывает на то, что ведущим механизмом формирования их магм являлись процессы анатексиса. Это отразилось на их составе, унаследовавшем характеристики вмещающей коры. Различия в составе продуктов плавления отражены в слабой дифференцированности пород Бага-Хэнтэйского массива, что, возможно, определялось условиями анатексиса и последующим формированием расплавов в обстановке коллизионного сжатия. В отличие от него магматические расплавы Их-Наротин-Хидского массива формировались в обстановке растяжения, благоприятствовавшей их глубокой дифференциации. Тем не менее в обоих случаях источником тепла, порождавшего анатексис, являлись мантийные плюмы, обеспечившие не только тепловое воздействие на литосферу, но и существенное участие мантийных магм в процессах гранитообразования.

Источники финансирования. Исследование проведено в рамках выполнения государственного задания по Проекту IX.129.1.3.(0350–2016–0029) и Проекту РФФИ 18–55–91049–МОНГ_оми.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузьмин М.И., Ярмолюк В.В. Мантийные плюмы Северо-Восточной Азии и их роль в формиро-

- нии эндогенных месторождений // Геология и геофизика. 2014. Т. 55. № 2. С. 153–184.
2. Ярмолюк В.В., Козловский А.М., Саватенков В.М., Ковач В.П., Козаков И.К., Котов А.Б., Ээнжин Г. Состав, источники и геодинамическая природа гигантских батолитов Центральной Азии: по данным геохронологических, геохимических и изотопных Nd исследований Хангайского батолита // Петрология. 2016. Т. 24. № 5. С. 468–498.
3. Коваленко В.И., Ярмолюк В.В., Сальникова Е.Б., Будников С.В., Ковач В.П., Котов А.Б., Пономарчук В.А., Козлов В.Д., Владыкин Н.В., Ханчук А.И. Источники магматических пород и происхождение раннемезозойского тектоно-магматического ареала Монголо-Забайкальской магматической области: 2. петрология и геохимия // Петрология. 2003. Т. 11. № 3. С. 227–254.
4. Коваленко В.И., Костицын Ю.А., Ярмолюк В.В., Будников С.В., Ковач В.П., Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Антипин В.С. Источники магм и изотопная (Sr, Nd) эволюция редкометалльных Li–F–гранитоидов // Петрология. 1999. Т. 7. № 4. С. 401–429.
5. Коваль П.В., Антипин В.С., Цыпуков Ю.П., Смирнов В.Н. Геологическое строение и вещественный состав Бага-Хэнтэйского батолита (МНР) // Геология и геофизика. 1978. № 5. С. 68–78.
6. Dash B., An Yin, Jiang N., Tseveendorj B., Han B. Petrology, Structural Setting, Timing, and Geochemistry of Cretaceous Volcanic rocks in Eastern Mongolia: Constraints on Their Tectonic Origin // Gondwana Research. 2014. V. 27. P. 281–299.
7. Редкометалльные гранитоиды Монголии (петрология, распределение редких элементов и генезис). Тр. Совместной Советско-монгольской геологической экспедиции. М.: Наука, 1971. 240 с.
8. Daoudene Y., Gapais D, Ruffet G., Gloaguen E., Cocherie A., Ledru P. Syn-Thinning Pluton Emplacement during Mesozoic Extension in Eastern Mongolia // Tectonics. V. 31. TC3001. DOI: 10.1029/2011TC002926, 2012.
9. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И. Внутриплитовый вулканизм и его значение для понимания процессов в мантии Земли // Геотектоника. 1983. № 1. С. 28–45.

COMPARATIVE GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND GENESIS OF LARGE POLYSTAGE PLUTONS IN THE CORE AND PERIPHERY OF THE DIFFERENT AGE AREAS OF THE MONGOL-OKHOTSK FOLD BELT

V. S. Antipin¹, Academician of the RAS M. I. Kuzmin¹,
D. Odgerel², L. V. Kousch¹, N. V. Sheptyakova¹

¹*Vinogradov Institute of Geochemistry Sinerian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation*

²*Institute of Paleontology and Geology, Mongolian Academy of Sciences, Ulan-Bator, Mongolia*

Received January 31, 2019

The Early Mesozoic Baga-Khentey pluton is the fragment of the Dauria—Khentey batholith, which could have formed due by the mantle plume action on lower horizons of the continental crust within the zone of collisional compression by closing of the Mongol-Okhotsk ocean. The batholith and their peripheral zones possibly formed from the mantle and crustal sources of magma. The Ikh-Narotin-Khid Massif is located on the border of the rifting zones on periphery of the Late Mesozoic area. The petrographic and geochemical affinity of granitoids of the Ikh-Narotin-Khid massif and composition of gneisses from the country rocks might indicate that this was the substratum in formation of palingenic granites of the calc-alkali series. The distinctions in rock composition of the large plutons consist in minor differentiation of the Baga-Khentey Massif rocks probably related to the anatectic conditions and origin of melts in the collisional compression setting. The granites of the Ikh-Narotin-Khid Massif formed in the extension setting favorable for deep differentiation of magmatic melts.

Keywords: pluton, area, granitoid, geochemistry, petrology, genesis, Mongolia, plume.