

УДК 553.3/.4.078:553.2:551.73

## ГЕОХИМИЯ И ПЕТРОЛОГИЯ ЧИНДАГАТУЙСКОГО МАССИВА ЮГА ГОРНОГО АЛТАЯ

Гусев А.И.

Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукшина,  
Бийск, e-mail: anzerg@mail.ru

Приведены данные по петро-геохимии и петрологии Чиндагатуйского массива юга Горного Алтая. Массив сложен гранитами, умеренно-щелочными ранней фазы и лейкогранитами поздней. Породы относятся к пералюминиевому и железистому типу аноногенных моноклапатовых гиперсольвусных гранитоидов. По соотношению изотопов стронция и неодима гранитоиды относятся к стронций обогащенному и неодим деплелированному типу. На канонических диаграммах породы массива попадают в поле  $A_2$  – типа, формировавшихся в постколлизионной обстановке, вызванной функционированием плюма. Генерация пород массива протекала по сложному сценарию: экстремальная дифференциация базальтового расплава, контаминация коровыми материалами, представленными ортоамфиболитами и метаграувакками древней вулканической дуги.

**Ключевые слова:** аноногенные гранитоиды, граниты, умеренно-щелочные граниты, лейкограниты, геохимия, петрология, дифференциация базальтовой магмы, контаминация корового материала, изотопы Sr, Nd

## GEOCHEMISTRY AND PETROLOGY OF CHINDAGATUYSKII MASSIF OF SOUTH MOUNTAIN ALTAI

Gusev A.I.

*The Shukshin Altai State Academy of Education, Biisk, e-mail: anzerg@mail.ru*

Data on petro-geochemistry and petrology of Chindagatuyskii massif south Mountain Altai lead. Massif composed by granites, moderate-alkalic granites of early stage and leucogranites – late stage. Rocks refer to praluminous and ferroan type anorogenic monofeldspar gipersolvus granites. Granitoids on ratio of isotopes strontium and neodium to strontium-rich and neodium-depletion type. Rocks of massif on the canonic diagrams get in field  $A_2$ -type, forming in post-collisionic setting, calling function of plum. Generation of rocks massif leak on compose scenario: extremal differentiation basalt melt, contamination by crust material, presenting orto-amphibolites and meta-graywackes of old volcanic arc.

**Keywords:** anorogenic granitoids, granites, moderate-alkalic granites, leucogranites, geochemistry, petrology, differentiation of basalts, contamination of crust material, isotopes Sr, Nd

Чиндагатуйский массив является петротипическим интрузивом одноименного комплекса. Он располагается в области развития юрского магматизма, с которым пространственно и парагенетически связаны различные типы оруденения Li, Ta, Nb, Mo, W [1, 2]. Массив изучался в конце прошлого века, по нему отсутствуют общие геохимические и петрологические представления, а некоторые данные по геохимии и петрологии устарели. Цель исследования – осветить новые данные по петро-геохимии и петрологии Чиндагатуйского массива, перспективного на обнаружение оруденения молибдена и вольфрама.

### Результаты исследований и их обсуждение

Чиндагатуйский петротипический массив на территории российской части Горного Алтая занимает бассейн реки Чиндагатуй, имеет сложную форму и фиксируется отрицательной гравиметрической аномалией. По данным В.И. Тимкина, гранитоиды всех фаз характеризуются очень устойчивым структурно-текстурным обликом. Значительная часть мас-

сива сложена гранитоидами, относимыми к породам первой фазы, представленной биотитовыми и двуслюдяными гранитами средне-крупнозернистой и порфировидной до грубопорфировидной текстуры с фенокристаллами микроклина и плагиоклаза. Иногда среди пород первой фазы отмечаются умеренно-щелочные граниты. В эндоконтактовой части массива в интервале 1–3 м развиты породы гранит-порфирового облика. К породам второй фазы отнесены двуслюдяные слабо порфировидные граниты и лейкограниты с более крупными кристаллами плагиоклаза размером до 3–4 см и с повсеместным присутствием турмалина. Акцессорными минералами в породах первой фазы являются: циркон, ильменорутил, ильменит и зёрна гематита и магнетита. Спектр акцессориев в породах второй фазы: тот же, что и в гранитах ранней фазы, за исключением турмалина, который часто образует нодули в лейкогранитах. Абсолютный возраст гранитоидов Чиндагатуйского массива по данным U-Pb (по циркону), Ar-Ar (по биотиту и мусковиту) варьирует от 190 до 201 млн лет (нижняя юра).

Во всех гранитоидах массива фиксируется относительно не высокий уровень щелочности (средние значения  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 7,3\text{--}7,6\%$  по группам пород различной кремнекислотности от 68 до 75%) высокоглиноземистых пород известково-щелочной серии с единичными отклонениями к умеренно-щелочным и низкощелочным породам. Характерны стабильные повышенные значения коэффициента калиевости (0,47–

0,52) и невысокие значения коэффициента агпантности (0,69–0,71) при небольшом снижении от меланогранитов к лейкогранитам коэффициентов известковистости (от 0,12 до 0,07), окисленности железа (от 0,32 до 0,14) и при повышении коэффициентов железистости (от 0,59 до 0,78) и глиноземистости (индекс Шенда от 1,17 до 1,24).

Представительные анализы Чиндагатуйского массива сведены в таблице.

Химические составы пород Чиндагатуйского массива (оксиды – масс. %, элементы – г/т)

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8
	1	2	3	4	5	6	7	8
$\text{SiO}_2$	70,3	71,61	72,3	71,48	73,55	74,57	74,65	74,5
$\text{TiO}_2$	0,37	0,29	0,33	0,25	0,18	0,17	0,21	0,07
$\text{Al}_2\text{O}_3$	14,1	14,11	13,96	14,3	14,1	13,15	13,25	14,25
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,7	0,73	0,74	0,41	0,16	0,2	0,55	0,21
FeO	3,8	2,5	2,27	2,35	2,18	2,38	1,84	1,6
MnO	0,05	0,06	0,09	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
MgO	0,6	0,53	0,5	0,4	0,39	0,38	0,43	0,16
CaO	1,1	1,15	0,98	1,1	0,79	0,95	0,82	0,31
$\text{Na}_2\text{O}$	2,97	3,2	2,9	3,3	2,7	2,75	3,05	3,74
$\text{K}_2\text{O}$	5,1	4,8	4,65	5,4	4,8	4,45	3,99	4,1
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,24	0,32	0,24	0,22	0,26	0,18	0,22	0,16
Cr	35	25	21	18	20	20	19	19
V	52	55	51	40	48	45	42	41
Ni	8	6	4	3	5	4	3	5
Co	7	5	4	2	3	4	4	5
Pb	2	3	2	2	1	2	2	2
Cu	2	2	2	3	2	2	3	2
Zn	8	7	6	4	5	4	7	6
Mo	1,2	2	1	2,5	1	2	1	1
Zr	203	210	220	250	200	212	220	232
Ba	855	830	840	800	810	823	812	831
Ga	19	21	21	20	21	22	22	21
Nb	20,7	22	23	20,0	19	20,3	21,5	22
Be	5,6	5,5	5,2	6,3	5,0	4,8	5,0	5,1
Ta	3,5	3,2	3,4	3,3	5,4	4,8	3,3	3,2
Li	144	154	143	165	115	111	118	110
Cs	43	40	38	56	59	60	62	61
Rb	334	320	310	380	350	340	332	321
Sr	152	140	135	133	110	90	95	96
Hf	5,5	5,2	5,3	5,1	3,5	3,3	3,4	3,2
Y	45	44,8	49,2	40,7	23,2	24	18	17
U	8,5	8,2	8,1	15,0	16,2	16,3	17,1	14,5
Th	28,2	26,1	27	30,3	19,7	21,4	22,5	26,1
La	35,5	44,5	41,1	40,5	34,8	41,8	39,1	28,5
Ce	65,2	73,6	86,3	85,1	78,0	88,5	84,0	66,2
Pr	8,7	7,7	10,7	10,6	9,5	10,8	9,7	7,7
Nd	30,3	35,1	38,1	38,0	33,9	39,0	34,6	28,1
Sm	6,2	7,9	8,1	8,05	6,8	7,96	7,1	5,7
Eu	0,95	1,1	1,1	1,09	0,68	1,15	1,02	0,65
Gd	5,5	7,5	7,4	7,3	5,6	7,02	6,2	4,4

Окончание таблицы								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tb	0,93	1,3	1,02	1,03	0,74	1,08	0,94	0,7
Dy	4,96	4,5	6,3	6,28	3,43	6,52	5,6	3,3
Ho	1,1	0,95	1,2	1,19	0,6	1,2	1,08	0,6
Er	2,9	2,8	3,02	3,03	1,5	3,5	3,2	1,5
Tm	0,48	0,5	0,49	0,48	0,22	0,54	0,47	0,22
Yb	3,1	4,5	3,3	3,4	1,4	3,7	3,1	1,8
Lu	0,4	0,5	0,47	0,47	0,3	0,55	0,46	0,48
U/Th	0,30	0,31	0,3	0,49	0,82	0,76	0,76	0,56
ΣTR	211,22	237,25	257,8	247,22	200,67	237,32	214,57	166,85
(La/Yb) <sub>N</sub>	7,5	6,5	8,2	7,9	16,5	7,4	8,3	10,5
(La/Sm) <sub>N</sub>	3,51	3,45	3,11	3,08	3,14	3,22	3,37	3,07
Eu/Eu*	0,0385	0,0257	0,0254	0,0257	0,0247	0,0285	0,032	0,0359

**П р и м е ч а н и е.** Анализы выполнены: силикатный на главные компоненты химическим методом в Лаборатории Западно-Сибирского испытательного Центра (г. Новокузнецк); для микроэлементов – методом ICP-MS в лаборатории ИМГРЭ (г. Москва). Значения РЗЭ нормированы по хондриту по [4]. Eu\* = (Sm<sub>N</sub> + Gd<sub>N</sub>)/2.

Породы Чиндагатуйского массива: 1–3 – граниты, 4 – умеренно-щелочной гранит, 5–8 – лейкограниты.

Отношения U/Th во всех породах менее 1, что указывает на отсутствие наложенных гидротермальных изменений на анализируемые породы. Для пород массива характерны повышенные суммарные концентрации РЗЭ (от 166 до 257 г/т). Нормированные отношения (La/Yb)<sub>N</sub> повышены (от 6,5 до 16,5) и свидетельствуют о дифференцированном типе распределения лёгких и тяжёлых РЗЭ. Все породы массива имеют повышенные концентрации Ga, Nb, Cs, Zr, Ba, что характерно для анерогенных гранитоидов.

На диаграмме A/NK – A/CNK все породные типы Чиндагатуйского массива локализуются в пределах пералюминиевых гранитов (рис. 1, а).

Соотношение SiO<sub>2</sub> – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + MgO) показывает, что точки составов пород Чиндагатуйского массива располагаются в поле железистых разностей (рис. 1, б).

На диаграмме Y – Nb – Ce все породы Чиндагатуйского массива локализуются в поле анерогенных гранитов A<sub>2</sub> – типа монозпатовых гиперсольвусных, характерных для постколлизионных обстановок, вызванных функционированием плюма (рис. 2).

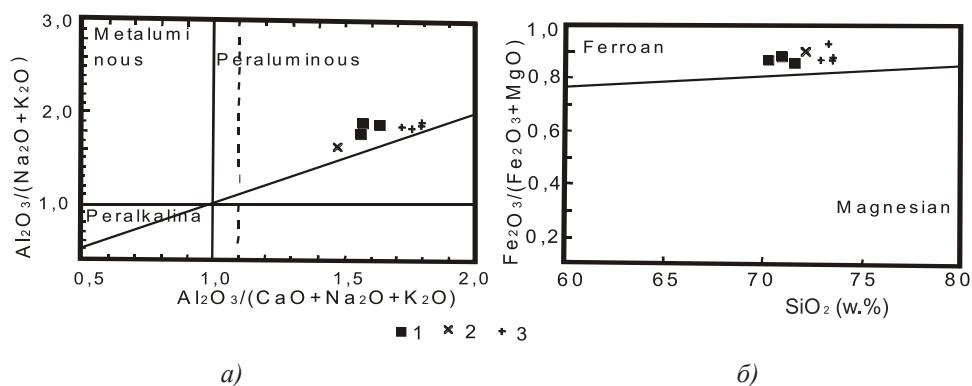


Рис. 1. а – диаграмма  $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O) - Al_2O_3/(Na_2O+K_2O+CaO)$  по [10] и б – диаграмма  $SiO_2 - Fe_2O_3/(Fe_2O_3+MgO)$  по [11] для пород Чиндагатуйского массива

Нами проанализирован лейкогранит Чиндагатуйского массива на соотношение изотопов стронция и неодима. Эти показатели составили:  $\varepsilon(Nd)_{t_1} = (-1,7)$ , а  $\varepsilon(Sr)_{t_1} = (+118,2)$ . Близкие данные при-

ведены у [9] для гранита, составляющие  $\varepsilon(Nd)_{t_1} = (-1,8)$ , а  $\varepsilon(Sr)_{t_1} = (+121,3)$ . На диаграмме соотношений  $\varepsilon(Nd)_{t_1}$  и  $\varepsilon(Sr)_{t_1}$ , составленной нами [3], фигуративные точки составов пород попадают в поле II, отвечающее

деплетированным значениям неодима и обогащением стронция (рис. 3). Этой си-

туации соответствует крайне высокая степень контаминации коровного материала.

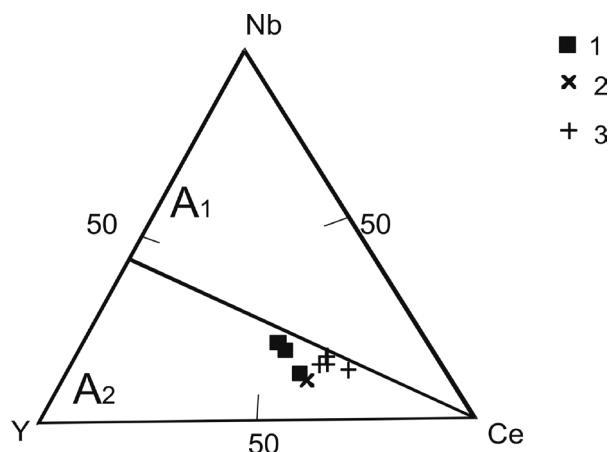


Рис. 2. Диаграмма  $Y - Nb - Ce$  по [5] для пород массивов. Поля гранитоидов по Дж. Эби [5]:  $A_1$  – анорогенные гранитоиды  $A_1$  – типа рифтов, мантийных горячих точек и плюмов;  $A_2$  – анорогенные гранитоиды  $A_2$  – типа постколлизионных обстановок, связанных с функционированием плюмов. Породы Чиндагатуйского массива: 1 – граниты, 2 – умеренно-щелочная гранит, 3 – лейкограниты

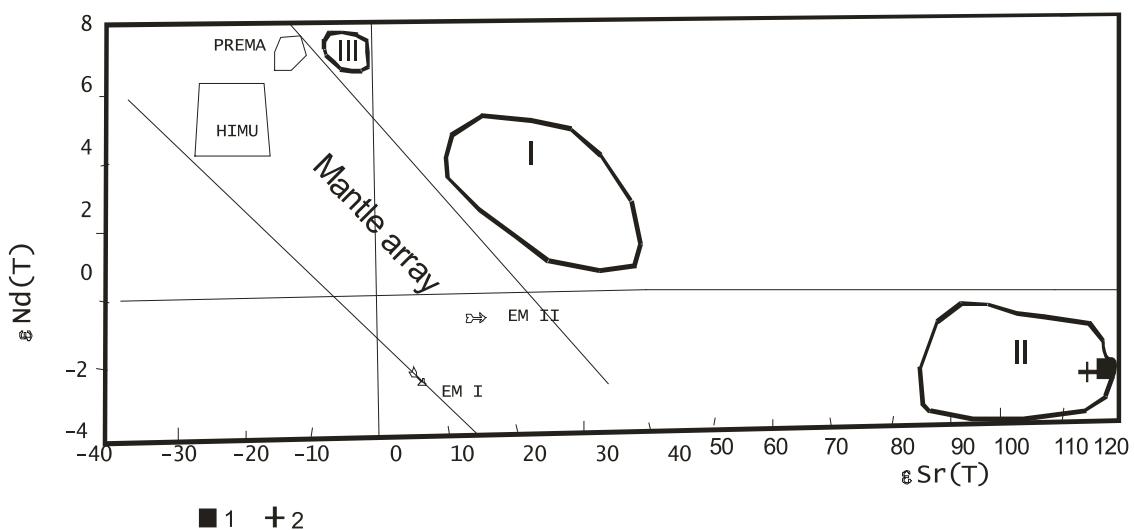


Рис. 3. Диаграмма  $\epsilon Sr(t) - \epsilon Nd(t)$  для анорогенных гранитоидов. Типы мантии по Зинделеру и Харту [12]: EM I и EM II – обогащённая мантия типов I и II; PREMA – примитивная мантия; HIMU – мантия с высоким изотопным уран-свинцовым отношением. Поля I, II, III – подтипы анорогенных гранитоидов по степени изотопной обогащённости и деплетированности.  
Породы Чиндагатуйского массива: 1 – гранит, 2 – лейкогранит

Полученные результаты указывают, что гранитоиды Чиндагатуйского массива относятся к пералюминиевому и железистому («ferroan») типу. Такие гранитоиды формировались по схеме сложного сценария. С одной стороны они генерированы в результате экстремальной дифференциации базальтовых расплавов с увеличивающейся щёлочностью и повышением давления в процессе дифференциации, а с другой – в результате сильной контаминации коровным материалом [8]. Таким коровным кон-

тамиантом могли служить амфиболиты и метаграувакки, что подтверждается анализом экспериментального плавления различных источников (рис. 4 а, б, с).

Амфиболитовая природа прослеживается для ранней фазы гранитов, а метаграувакковая – для поздних лейкогранитов и умеренно-щелочных гранитов. Соотношение  $SiO_2$  и  $A/CNK$  указывает, что все породы массива тяготеют к тренду плавления известково-щелочных вулканических пород орогенных поясов (рис. 4, д). Этими

вулканитами могли быть ортоамфиболиты. Плавление протекало с отделением альби-

та с образованием гиперсольвусных моношпатовых гранитов А-типа.

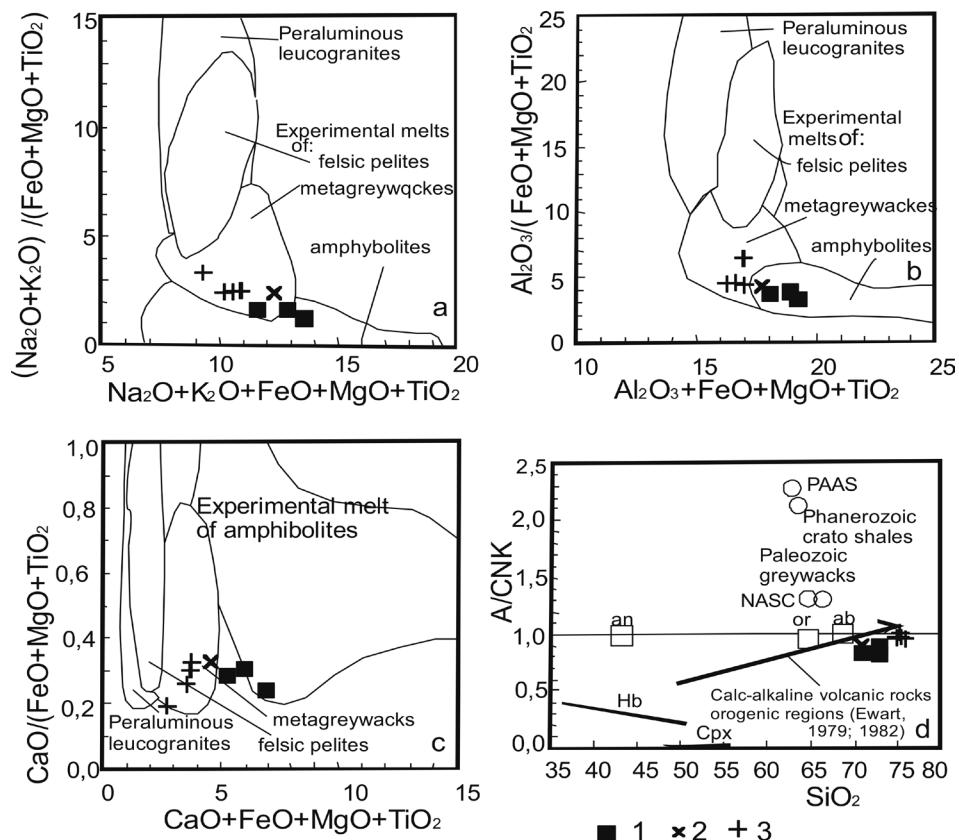


Рис. 4. Экспериментальные диаграммы: (a), (b), (c) – диаграммы композиционных экспериментальных расплавов из плавления фельзических пелитов (мусcovитовых сланцев), метаграувакк и амфиболитов для пород Чиндагатуйского массива; (d) – диаграмма  $\text{SiO}_2 - \text{A/CNK}$  для пород Чиндагатуйского массива. Тренд известково-щелочного фракционирования вулканических пород орогенных регионов, по [6, 7]. А-  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , CNK – Сумма  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ . Остальные условные те же, что на рис. 1

## Выводы

Чиндагатуйский массив сложен гранитами, умеренно-щелочными гранитами и лейкогранитами, относящимися к пералюминиевому и железистому типу гранитоидов аноногенного (А-типа). Это моношпатовые гиперсольвусные граниты, формировавшиеся в рамках сложного сценария: экстремальная дифференциация базальтового расплава и контаминация коровьим материалом, представленным ортоамфиболитами и метаграувакками. Геодинамическая обстановка их генерации близка к постколлизионной, вызванной функционированием плюма.

## Список литературы

- Гусев А.И. Петрология редкометалльных магмо-рудных метасоматических систем Горного Алтая // Известия Томского политехнического университета, 2005. – Т. 308, № 4. – С. 43–47.
- Гусев А.И. Минерагения и полезные ископаемые Республики Алтай. – Бийск: Изд-во АГАО, 2010. – 385 с.
- Гусев А.И., Гусев Н.И. Аноногенные гранитоиды: петрология, геохимия, флюидный режим. – Бийск: Изд-во АГАО, 2014. – 225 с.
- Anders E., Grevesse N. Abundances of the elements: meteoric and solar // Geochim. Cosmochim. Acta., 1989. – V. 53. – P. 197–214.
- Eby G.H. Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications // Geology, 1992. – Vol. 20. – P. 641–644.
- Ewart A. A review of the mineralogy and chemistry of Tertiary – Recent dacitic, latitic, rhyolitic and related salic rocks // Trondjemites, Dacites and Related Rocks. – Amsterdam, 1979. – P. 13–121.
- Ewart A. The mineralogy and petrology of Tertiary – Recent orogenic volcanic rocks: with special reference to the andesitic-basaltic compositional range // Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks. – Chichester, 1982. – P. 25–95.
- Frost C.D., Frost B.R. On Ferroan (A-type) Granitoids: their Compositional Variability and Modes of Origin // Journal of Petrology, 2010. – Vol. 52. – Issue 1. – P. 39–53.
- Kruk N. N., Rudnev S.N., Vystavnoi S.A., Paleskiy S.V. Sr-Nd isotopic systematic of granitoids and evolution of continental crust of the western part of Altai-Sayan fold region / Continental Growth in the Phanerozoic: Evidence from Central Asia. – Novosibirsk: Publishing House of SB RAS. Department «GEO». – P. 68–72.
- Maniar P.D., Piccoli P.M. Tectonic discrimination of granitoids // Geological Soc. America Bulletin, 1989. – V.101. – P. 635–643.
- Villaseca C., Barbero L., Herreros V. A re-examination of the typology of peraluminous granite types in intracontinental orogenic belts // Trans. of Royal Soc. of Edinburgh Earth Science, 1998. – V. 89. – P. 113–119.
- Zindler A., Hart C. Chemical geodynamics // Ann. Rev. Earth Planet. Sci., 1986. – V. 14. – P. 493–571.