

## ГЕОХРОНОЛОГИЯ ГРАНИТОИДНЫХ КОМПЛЕКСОВ ГЛАВНОГО КОЛЫМСКОГО БАТОЛИТОВОГО ПОЯСА (СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ)

Т.Б. Русакова, И.Н. Котляр

*Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН, г. Магадан*

На основе комплексного анализа изотопных (Rb-Sr, K-Ar,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , U-Pb методы) и геологических материалов доказываемся среднеюрский возраст нера-бохапчинского, басугуньинского и колымского интрузивных комплексов, слагающих Главный Колымский батолитовый пояс. Показано, что изотопные системы гранитоидов были неоднократно нарушены в процессе формирования золото-редкометалльных, золото-кварцевых, оловянных руд, при внедрении поздних интрузий. Предложен новый методический подход к интерпретации изотопных данных.

**Ключевые слова:** Rb-Sr- и K-Ar-методы, изохроны, гистограммы, реликтовые даты, гранитоиды, Северо-Восток России.

## ВВЕДЕНИЕ

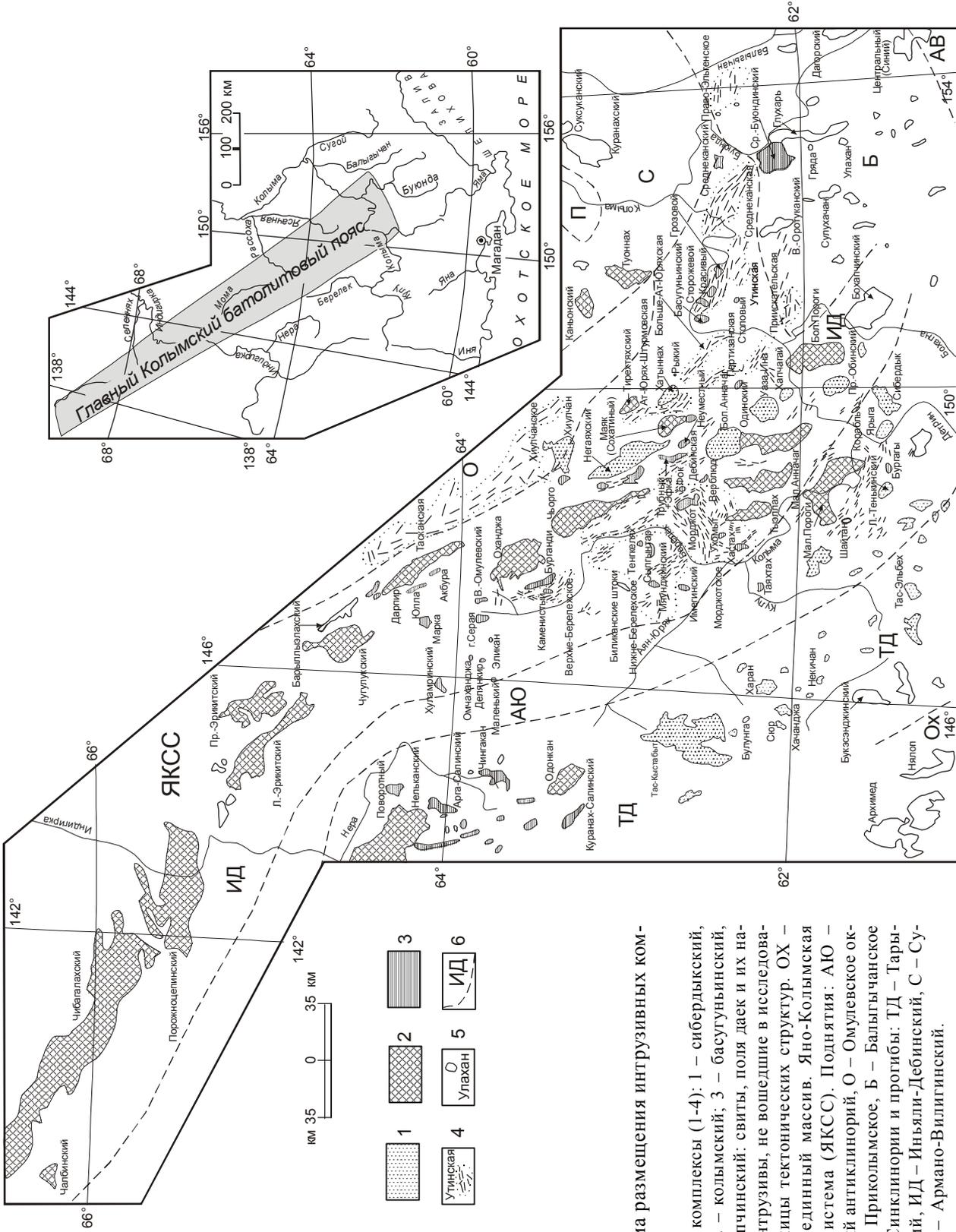
Главный Колымский батолитовый пояс (ГКБП) является составной частью Яно-Колымской складчатой системы (ЯКСС). Он простирается на 1100 км от верховьев р. Колымы до верховьев р. Селенных (рис. 1) и характеризуется насыщенностью полиформационными магматическими образованиями. В предлагаемой статье приводятся имеющиеся на сегодняшний день результаты Rb-Sr-, K-Ar-,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ - и U-Pb-датирования по трем ранним и наиболее распространенным интрузивным комплексам пояса: нера-бохапчинскому малых интрузий, басугуньинскому многофазному и колымскому батолитовому. Цель работы – на основе согласования результатов различных изотопных методов между собой и с геологическими данными установить время внедрения интрузий и моменты их термальных постмагматических преобразований.

Представление о наличии в регионе разновозрастных, различающихся между собой по составу интрузивных комплексов впервые было выдвинуто Ю.А. Билибиным. К наиболее древним образованиям он отнес гранитные батолиты, с которыми увязал золотое оруденение. Затем он же [1] и Е.Т. Шаталов [25] выделили в бассейне р. Колымы добатолитовые малые интрузии (позже они стали называться нера-бохапчинскими), раннемеловые граниты "колымского типа", а на побережье Охотского моря – позднемеловые гранитоиды "охотского" типа (рис. 2). Е.К. Устиев [21] дайковые свиты, связанное с ними золотое

оруденение и батолитовые гранитоидные интрузии отнес к позднеюрской фазе магматизма (рис. 2). Позднее В.Т. Матвеев [10] в дополнение к колымскому и охотскому комплексам выделил позднеюрский басугуньино-хатыннахский (басугуньинский), следующий за малыми интрузиями, но предшествующий колымским батолитам. Следует специально подчеркнуть, что возраст плутонов определялся, исходя из предположения об их интрузивных соотношениях с келловейскими отложениями, которые в то время относились к верхнему отделу юрской системы.

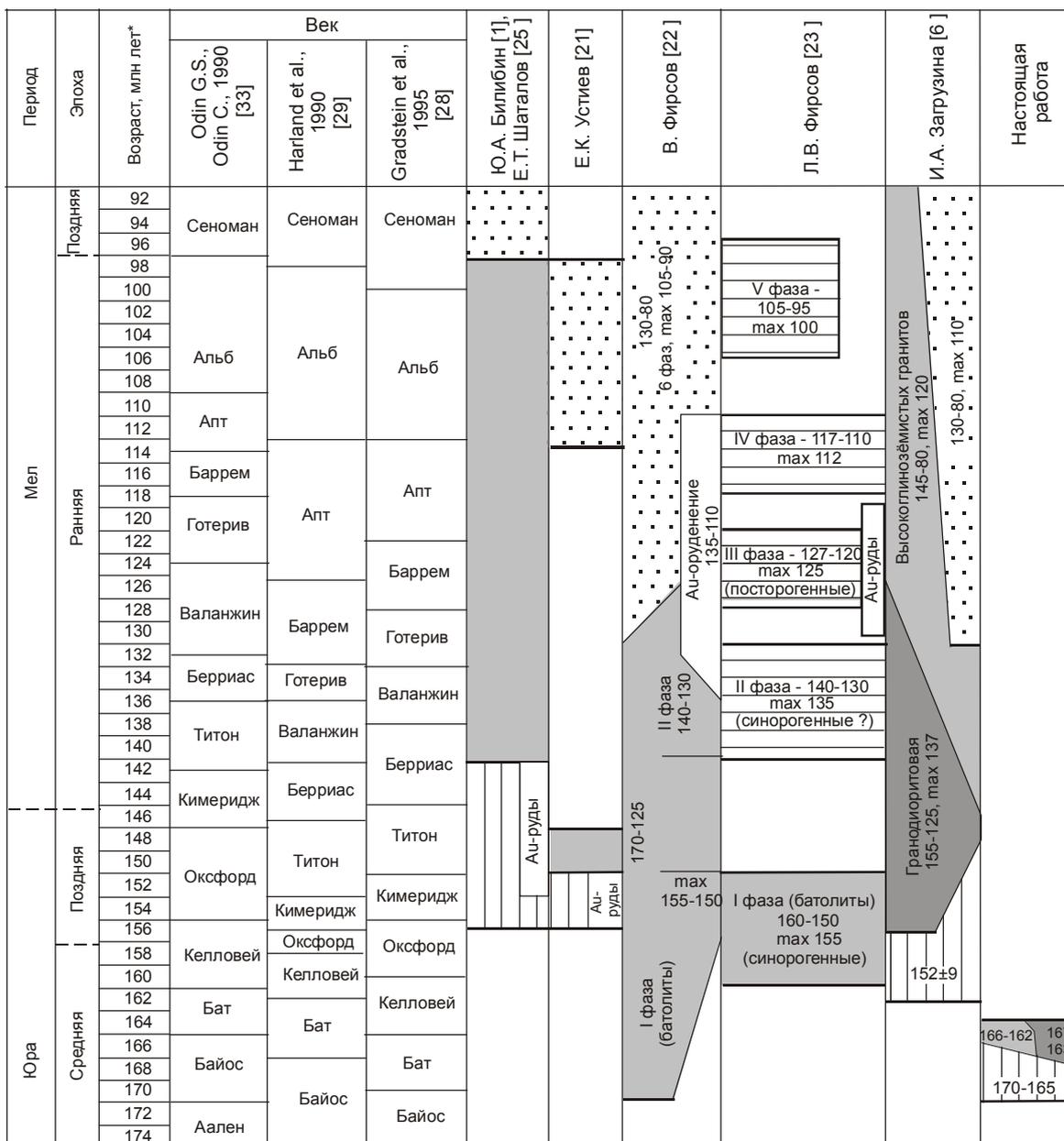
С середины 50-х годов возраст интрузивных комплексов рассматривался с учетом данных геохронометрии. За более чем 40-летний период изотопного датирования пород региона получен большой массив K-Ar-, Rb-Sr-,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -дат, но интерпретация их исследователями проводилась различно.

Л.В. Фирсов, первым проанализировавший результаты изотопных исследований для массивов ГКБП, трактовал K-Ar-даты с позиций длительности становления интрузий [22, 23]. Он использовал только осредненные данные – либо средние арифметические для небольшого количества анализов, либо максимумы на гистограммах (для больших совокупностей), которые и принимал за время проявления отдельных импульсов гранитоидного магматизма. Согласно ему [22], формирование колымских интрузий происходило в интервале 170–125 млн лет. Несколько позже [23] он значительно сузил возраст колымских гранитов (рис. 2).



**Рис. 1.** Схема размещения интрузивных комплексов.

Интрузивные комплексы (1-4): 1 – сибердыкский, негаяхский, 2 – колымский, 3 – басугуньинский, 4 – нера-бохапчинский: свиты, поля даек и их названия; 5 – интрузивы, не вошедшие в исследование; 6 – границы тектонических структур. ОХ – Охотский срединный массив. Яно-Колымская складчатая система (ЯКСС). Поднятия: АЮ – Аян-Юрахский антиклинорий, О – Омuleвское ок- ранное, П – Приколымское, Б – Балгычанское внутреннее. Синклинории и прогибы: ТД – Тары- но-Детринский, ИД – Иньяли-Дебинский, С – Су- гоЙский, АВ – Армано-Вилигинский.



\* Значение возраста относится к концу интервала



Рис. 2. Корреляционная схема интрузивных комплексов.

1–5 – комплексы: 1- охотский, 2 – колымский, 3 – басугуньинский, 4 – нера-бохапчинский, 5 – прочие; 6 – возраст, млн лет.

И.А. Загрузиной [6, 7] был применен метод статистической обработки совокупностей К-Аг-дат, полученных для конкретных магматических формаций и комплексов, самостоятельность которых установлена геологически. Исходя из этих постулатов, становление формаций ГКБП происходило в период от 160 до 80 млн лет назад (рис. 2).

Более позднее Rb-Sr-изохронное датирование пород ГКБП как будто бы подтвердило наличие в регионе позднеюрских, ранне- и позднемеловых интрузивных комплексов [11].

Начиная с 80-х годов, развитие региона рассматривается многими исследователями с неомобилистских позиций. В зависимости от точки зре-

ния авторов о возрасте массивов и их соотношениях со складчатыми структурами, интрузивные комплексы относились к позднеюрским коллизионным (И.И. Абрамович и др., 2000 г.), позднеюрским–неокомовым постаккреционным [16], позднеюрско-раннемеловым аккреционным [4], неокомовым синаккреционным [26], раннемеловым постаккреционным (коллизионным) [20] образованиям.

#### МЕТОДИКА ИНТЕРПРЕТАЦИИ ИЗОТОПНЫХ ДАННЫХ

Расчет Rb-Sr-изохрон, построение гистограмм, расчет средних значений возраста магматических комплексов проводились по методике Isoplot [31]. Ошибки в определении концентраций Rb и Sr в таблицах 1 и 2 не превышали 1% ( $\pm\sigma$ ), в соотношении  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} - 0,05\%$  ( $\pm\sigma$ ). При значении СКВО\* более 1 возраст рассчитывался по третьей модели. Так как в районах с длительной эндогенной активностью геохимическая однородность изотопных систем неоднократно нарушалась [6, 9, 14], наблюдается высокая природная дисперсия концентраций изотопов Rb и Sr. В связи с этим погрешности в определении возраста приводятся с доверительным интервалом  $0,67 (\pm\sigma)$ . Изложенная методика несколько отличается от принятой в работе [9], в связи с чем значение возрастов и их ошибок незначительно разнятся от ранее опубликованных.

При интерпретации изотопных данных авторы придерживаются методологии, принципиальные положения которой сводятся к следующему [5, 9]. Основой для интерпретации результатов K-Ar-датирования служат гистограммы распределения дат, построенные для отдельных магматических фаз или интрузий, однородность которых доказана. Истинному возрасту породы отвечают максимальные (реликтовые) K-Ar-даты и наиболее древние Rb-Sr-изохронные, поскольку в одних и тех же массивах (фазах) наблюдается, как правило, совпадение тех и других. Совокупности более молодых дат образуют на гистограммах отчетливо выраженные минимумы и максимумы, которые нередко повторяются в разных массивах. Минимумы, по мнению авторов, указывают на время термальных преобразований, когда ранее накопившийся изотоп либо удалялся, либо был гомогенизирован в породе, а однотипность расположения их на гистограммах самых разных массивов свидетель-

ствует, что эти преобразования, скорей всего, обусловлены региональными факторами. Следующие за минимумами даты фиксируют моменты повторных включений изотопных часов в породах.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗОТОПНОГО ДАТИРОВАНИЯ

**Нера-бохапчинский комплекс малых интрузий** представлен дайками и небольшими телами порфировых пород среднего состава при подчиненной роли основных и кислых. Наиболее характерны диорит-порфиры, затронутые в разной степени изменениями пропилит-березитового типа, вплоть до образования полнопроявленных метасоматитов. Как правило, дайки образуют протяженные свиты, реже изометричные поля, локализованы преимущественно в Иньяли-Дебинском мегасинклиории (ИД), в меньшей степени развиты в других структурах (рис. 1). Зачастую к ним приурочены жилы кварцевого, карбонат-кварцевого, хлорит-кварцевого состава с золотой минерализацией. Дайки размещаются среди пермских, триасовых, ниже- и среднеюрских (не моложе бата) отложений, совместно с ними расланцованы, будинированы.

На гистограммах конкретных дайковых свит выделяются две совокупности дат: 168–150 и 145–75 млн лет\*, разделенные ярко выраженным минимумом в диапазоне 150–145 млн лет (рис. 3). Еще один минимум отмечается в интервале 105–100 млн лет. Вариации K-Ar-дат, кроме того, нередко характерны и для отдельной дайки, породы которой заведомо относятся к единой фазе внедрения. Так, по дайке Среднеканской наряду с древней датой в 162 млн лет ярко выражен интервал 140–135 млн лет, дайке Незаметной (Среднеканская свита) – 165 и 139–138 млн лет, дайке № 13 (Утинская свита) – 167 и 156–152 млн лет.

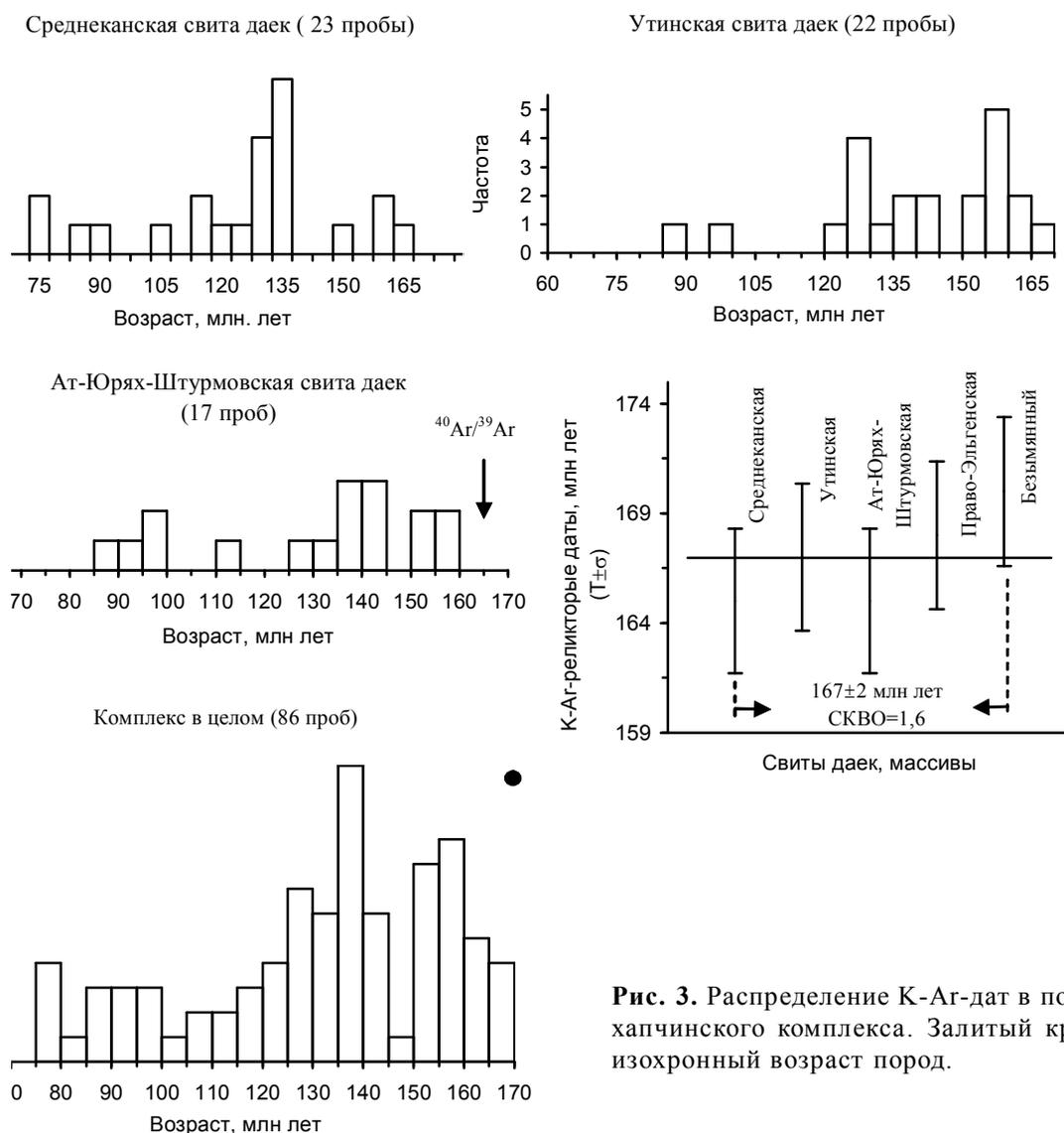
На северо-западном фланге Тарыно-Детринского синклиория (ТДС) к нера-бохапчинскому комплексу нами отнесены малые тела и дайки гранодиоритов, по которым получены достаточно древние Rb-Sr- и K-Ar-даты. В частности, для малой интрузии Безымянной выявлена Rb-Sr-изохронная дата  $170 \pm 18$  млн лет (табл. 1) и реликтовая K-Ar-дата – 170 млн лет [14].

Реликтовые K-Ar-даты, фиксирующие время формирования малых тел, единичны (рис. 3). Их средний возраст\*\* составляет  $167 \pm 2$ ; СКВО=1,6.

\* Здесь и далее аналитические данные K-Ar-датирования приведены в [8, 9].

\*\* Здесь и далее значение среднего возраста рассчитано по методике "Isoplot" с доверительным интервалом  $\pm 2\sigma$  [31].

\*СКВО – средний квадрат взвешенных отклонений экспериментальных точек от линии наилучшего соответствия изохроны.



**Рис. 3.** Распределение К-Аг-дат в породах нера-бохапчинского комплекса. Залитый кружок – Rb-Sr-изохронный возраст пород.

Таким образом, внедрение и кристаллизация даек нера-бохапчинского комплекса приходится на интервал 170–165 млн лет. Этапы метаморфизма, сопровождающиеся неоднократными термальными воздействиями, привели к нарушению равновесия изотопных систем в породах и фиксируются отсутствием датировок в интервале 150–145 и минимумом в диапазоне 105–100 млн лет.

**Басугуньинский комплекс** представлен гипабиссальными многофазными интрузиями переменного состава, размещающимися среди пермских, триасовых и ниже- и среднеюрских (преимущественно аален-байосских, реже батских) отложений. Массивы метаморфизуют дайки нера-бохапчинского комплекса, геологические взаимоотношения с колымским комплексом неясны.

Отличительные особенности комплекса – небольшие размеры интрузий (менее 120 км<sup>2</sup>), многофазное их строение (от габбродиоритов и диоритов ранних фаз до гранодиорит-адамеллит-гранитов – поздних), устойчивые минеральные парагенезисы в гранитоидах амфибола с биотитом, андезином, ортоклазом, кварцем, гранатом, ильменитом. Интрузии с этими признаками развиты преимущественно в ИД (массивы Басугуньинской группы – Басугуньинский, Сторожевой, Красивый, Грозовой, Столовый; интрузии Морджот и Тенгкелях), меньше в Аян-Юряхском антиклинории (АЮ) – массив Бургагынский и др. (рис. 1).

На примере изученной нами в 1998 г. Басугуньинской группы интрузий с привлечением данных по массивам Морджот и Бургагынский можно проследить историю формирования комплекса.

Таблица 1. Результаты Rb-Sr-датирования пород.

Номер пробы	Порода, минерал	$^{87}\text{Rb}$ , мкг/г	$^{86}\text{Sr}$ , мкг/г	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$	Параметры изохроны
1	2	3	4	5	6	7
<b>Нера-Бохалчинский комплекс</b>						
Массив Безымянный						
Аналитические данные по [14]						
a-2850	Гранодиорит	32,45	22,55	1,42	0,7070	
a-2740	Гранодиорит	36,10	22,45	1,59	0,7077	T=170±18 млн лет
a-2729	Гранодиорит	35,30	21,28	1,64	0,7073	I <sub>0</sub> =0,7035±0,0005
a-2860	Гранодиорит	38,76	19,04	2,01	0,7079	СКВО=1,0
a-2745	Гранодиорит	35,94	11,33	3,14	0,7112	
<b>Басугуньинский комплекс</b>						
Массив Красивый						
Коллекция Н.А. Горячева						
Б-15-г*	Биотит из гранита (II фаза)	149,79	0,51	290,68	1,3080	T=145±1 млн лет
Б-15-г*	Гранит (II фаза)	34,83	15,31	2,25	0,7128	I <sub>0</sub> =0,7081±0,0004
Б-15-4*	Диорит (I фаза)	21,31	19,78	1,07	0,7103	СКВО=0,01
Массив Красивый						
Коллекция Т.Б. Русаковой						
82	Гранит (III фаза)	41,36	9,97	4,10	0,7181	
83	Гранит-порфир (III фаза)	43,12	8,41	5,07	0,7203	T=146±7 млн лет
84	Гранодиорит (II фаза)	32,12	14,89	2,13	0,7140	I <sub>0</sub> =0,7097±0,0004
69	Диорит (I фаза)	8,20	17,02	0,48	0,7104	СКВО=0,42
78	Диорит-порфирит (I фаза)	19,56	18,01	1,07	0,7123	
66	Кварцевый диорит (I фаза)	13,89	22,35	0,61	0,7110	
Массив Басугуньинский (северная часть)						
Коллекция Н.А. Горячева						
Б-5а-1	Гранит (II фаза)	36,24	14,49	2,47	0,7186	
Б-6	Гранит (II фаза)	66,91	3,77	17,55	0,7461	T=128±4 млн лет
Б-8	Гранит (II фаза)	58,39	3,30	17,52	0,7466	I <sub>0</sub> =0,7141±0,0011
Б-10	Гранит (II фаза)	46,92	9,46	4,90	0,7231	СКВО=0,83
Б-10а	Гранит (II фаза)	45,76	2,8	16,17	0,7431	
Массив Басугуньинский (западная часть)						
Коллекция Н.А. Горячева						
Б-12*	Лейкогранит (III фаза)	45,08	11,74	3,80	0,7149	T=126±5 млн лет
Б-12А*	Лейкогранит (III фаза)	50,97	2,39	21,05	0,7457	I <sub>0</sub> =0,7080±0,0012
Б-13*	Гранит (II фаза)	36,52	15,92	2,27	0,7120	СКВО=0,1
Массив Столовый						
Коллекции Т.Б. Русаковой, Н.А. Горячева						
19	Аплит (III фаза)	47,34	1,54	30,39	0,7635	T=126±2 млн лет
1085	Гранодиорит (II фаза)	43,15	16,13	2,64	0,7129	I <sub>0</sub> =0,7086±0,0005
1085	Гранодиорит, биотит (II фаза)	141,40	0,29	484,16	1,5766	СКВО=0,9
Массив Столовый						
Коллекция Т.Б. Русаковой						
14	Гранодиорит (II фаза)	39,20	13,42	2,89	0,7117	T=142±3 млн лет
17	Гранодиорит (II фаза)	41,11	12,43	3,27	0,7124	I <sub>0</sub> =0,7058±0,0001
4	Диорит (I фаза)	10,80	26,71	0,40	0,7066	СКВО=0,01
Массив Столовый						
Коллекция Т.Б. Русаковой						
22	Гранит-порфир (III фаза)	31,22	7,78	3,97	0,7177	
13	Гранодиорит (II фаза)	40,36	13,43	2,97	0,7152	T=166±3 млн лет
16	Гранодиорит (II фаза)	43,92	13,18	3,29	0,7161	I <sub>0</sub> =0,7082±0,0001
7	Диорит кварцевый (I фаза)	20,00	19,05	1,04	0,7107	СКВО=0,06

Таблица 1. (Продолжение).

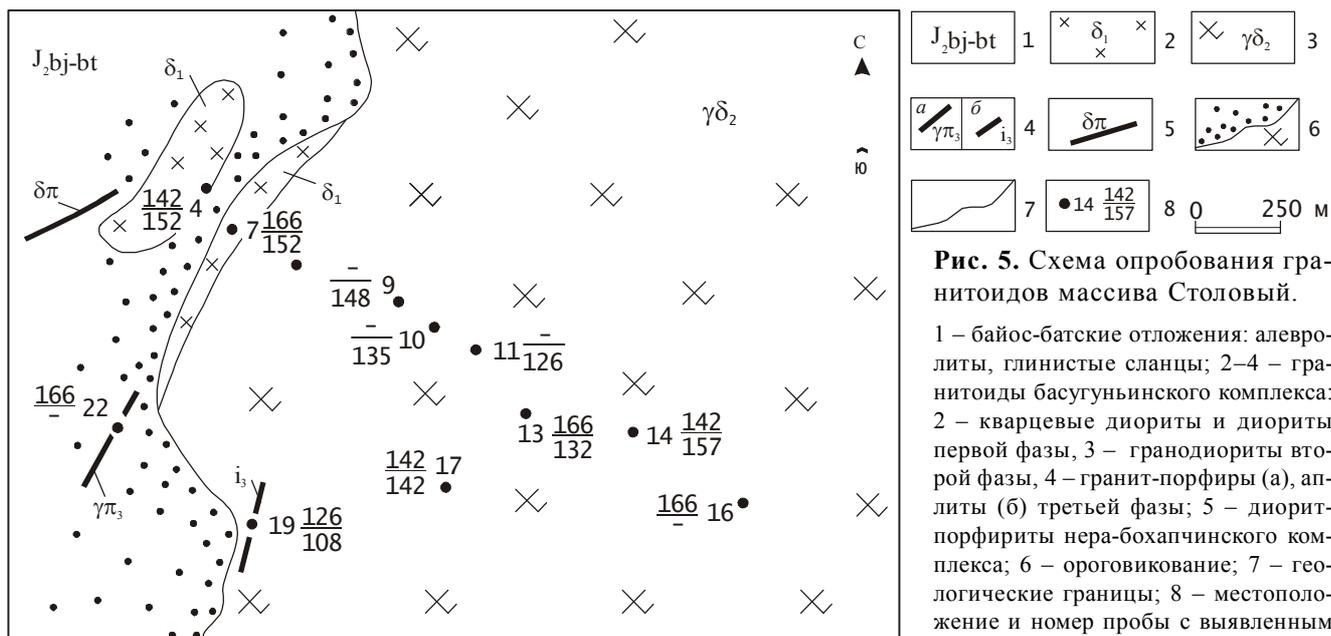
1	2	3	4	5	6	7
<b>Колымский комплекс</b>						
Массив Чьорго						
Коллекция П.П. Колесниченко						
75/6	Адамеллит	53,42	10,46	5,05	0,7160	
76/1	Адамеллит	38,65	11,67	3,27	0,7113	T=160±7 млн лет
76/7	Лейкогранит	44,00	3,68	11,81	0,7310	I <sub>0</sub> =0,7037±0,0006
77/3	Адамеллит	51,60	14,33	3,56	0,7114	СКВО=2,9
78/11	Лейкогранит	40,08	4,44	8,91	0,7234	
Массив Маяк						
Коллекция Н.А. Горячева						
1213	Гранит	91,07	2,28	39,47	0,7992	
1217	Гранит	58,88	4,22	13,81	0,7402	T=163±3 млн лет
1219	Гранит	47,12	4,25	10,96	0,7339	I <sub>0</sub> =0,7081±0,0011
1221	Гранит	51,36	5,16	9,84	0,7293	СКВО=5,3
1223	Гранит	56,54	6,42	8,70	0,7289	
Массив Большой Анначаг (юг)						
Коллекция Н.А. Горячева						
14	Гранит	33,55	5,17	6,42	0,7241	
16	Лейкогранит	56,63	3,25	17,21	0,7492	T=166±7 млн лет
19	Лейкогранит	69,13	4,66	14,68	0,7426	I <sub>0</sub> =0,7079±0,0015
20	Лейкогранит	96,51	2,65	36,03	0,7925	СКВО=6,5
23	Гранит	58,07	5,77	9,96	0,7300	
Массив Каньон						
Коллекция Е.Ф. Дылевского						
510-8	Гранит	49,39	7,13	6,93	0,7242	T=164±1 млн лет
514-7	Гранит	38,56	20,75	1,86	0,7124	I <sub>0</sub> =0,7081±0,0003
521-1	Гранит	46,26	15,84	2,92	0,7149	СКВО=0,003
Массив Чибгалахский						
Коллекция Ю.И. Сенотрусова						
1079/2	Биотитовый гранит	47,39	7,86	6,03	0,7224	
1253/1	Гранодиорит	37,68	12,48	3,02	0,7167	T=168±8 млн лет
2086	Биотитовый гранит	63,06	9,12	6,91	0,7263	I <sub>0</sub> =0,7092±0,0013
2640-7a	Аплит	7,23	20,74	0,35	0,7101	СКВО=3,2
2645	Гранит двуслюдяной	71,54	4,43	16,15	0,7481	
3040/1a	Аплитовидный гранит	53,68	2,71	19,80	0,7564	
Массив Чалбинский						
Коллекция Ю.И. Сенотрусова						
3339	Гранит	100,40	5,02	19,98	0,7567	
3343/17	Гранит	113,40	2,77	40,97	0,8081	T=167±5 млн лет
3350/3	Гранит	85,06	6,60	12,90	0,7408	I <sub>0</sub> =0,7098±0,0015
3370/2	Гранит	100,50	5,51	18,23	0,7534	СКВО=0,86
3372	Лейкогранит	81,09	2,82	28,81	0,7779	
Массив Порожноцепинский						
Аналитические данные по [27]						
Н.д.	Гранит	59,66	8,11	7,27	0,7280	T=162±7 млн лет
Н.д.	Гранит	60,26	7,38	8,07	0,7304	I <sub>0</sub> =0,7112±0,0010
Н.д.	Гранит	63,53	5,09	12,33	0,7393	СКВО=1,9
Н.д.	Гранит	55,50	10,67	5,14	0,7226	

Примечание. \* – анализы выполнены в лаборатории ГИ ЯФ СО РАН.

Rb-Sr-изохронное датирование выявило ряд дат: наиболее древнюю – 166 млн лет (массив Столовый) и еще две группы в диапазоне 146–142 и 128–126 млн лет (рис. 4, табл. 1). При этом просматривается отсутствие корреляции дат с фазами внедрения: в

массиве Столовый на изохрону в 166 млн лет укладываются образцы, отобранные из первой, второй и третьей фаз, в 142 млн лет – породы первой и второй фаз (рис. 5), аналогичная картина наблюдается по массиву Красивый (табл. 1).





**Рис. 5.** Схема опробования гранитоидов массива Столовый.

1 – байос-батские отложения: алевролиты, глинистые сланцы; 2–4 – гранитоиды басугуньинского комплекса: 2 – кварцевые диориты и диориты первой фазы, 3 – гранодиориты второй фазы, 4 – гранит-порфиры (а), аплиты (б) третьей фазы; 5 – диорит-порфиры нера-бохапчинского комплекса; 6 – ороговикование; 7 – геологические границы; 8 – местоположение и номер пробы с выявленным возрастом, млн лет: в числителе – Rb-Sr-изохронный, в знаменателе – K-Ar.

**Таблица 2.** Рассчитанные Rb-Sr-даты по биотитам и породе.\*

Порода	Номер пробы	<sup>87</sup> Rb, мкг/г	<sup>86</sup> Sr, мкг/г	<sup>87</sup> Rb/ <sup>86</sup> Sr	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr	Дата, млн лет, при I <sub>0</sub> =				
						0,708	0,710	0,712	0,714	
Массив Басугуньинский										
Лейкогранит	Б-12	186,43	0,85	216,03	1,0810	121±1,2	121	120		
Гранит	Б-13	189,99	1,28	147,22	0,9300	107±1,1	106	105		
<b>Лейкогранит</b>	Б-12А-1	71,41	0,88	79,96	0,8700	143±1,5				138
<b>Лейкогранит</b>	Б-12Б	41,62	1,11	37,03	0,7950	166±2				154
Массив Красивый										
Гранит	Б-15г	149,79	0,51	290,68	1,3080	145±1,4	145	144		
Гранодиорит	К-18	86,52	1,10	77,44	0,8840	160±1,6	158	156		
Массив Столовый										
Гранодиорит	1085	141,40	0,29	484,16	1,5770	126±1,3	126	126		
Диорит	1085/1	99,08	6,00	16,52	0,7380	129±2,5	120	111		
Массив Сторожевой										
Гранодиорит	3-2а	114,89	0,68	166,29	1,0440	142±1,5	141	140		
Гранит	3-1а	104,75	0,79	131,85	0,9590	134±1,4	133	132		
Массив Грозовой										
Гранит	40-Г-85	130,61	1,35	95,75	0,8700	119±1,1	117	116		
Массив Бургагынский										
Гранит	100 кол.88	81,38	0,77	104,74	0,8900	122±1,2	121	119		
Гранит	99 кол.88	107,68	0,63	168,34	1,0660	149±1,6	149	148		

*Примечание.* \* – анализы выполнены в лаборатории ГИ ЯФ СО РАН; жирный шрифт – расчёт по породе. Коллекция Н.А. Горячева.

С древней изохроной согласуются и даты, полученные путем расчета Rb-Sr-модельного возраста пород, 166 и 160 млн лет (табл. 2). Средний Rb-Sr-изохронный возраст гранитоидов Басугуньинской группы – 164±3,5 млн лет, СКВО=1,3.

В блоке К-Ar-датировок выявились реликтовые даты в 170–160 млн лет. Рассчитанный по ним воз-

раст, отражающий момент внедрения и кристаллизации пород, составил 165±2 млн лет, СКВО=4,1 (рис. 4) и тождественен Rb-Sr-изохронному возрасту.

Из изложенного следует, что гранитоиды внедрялись и кристаллизовались 167–163 млн лет тому назад; какие-либо геохронологические свидетельства разного времени формирования пород I, II и III

фаз отсутствуют. В конце юрского периода (155–150 млн лет тому назад) происходило событие, нарушившее первичные изотопные системы. Оно фиксируется, во-первых, практически полным отсутствием К-Аг-датировок в интервале 155–150 млн лет (рис. 4), во-вторых, включением К-Аг-часов (в том числе и в  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -модификации [2]) 148–149 млн лет тому назад, в-третьих, включением Rb-Sr-часов 146–142 млн лет тому назад (шесть дат в массивах Красивый, Басугуньинский, Столовый, Сторожевой) и, наконец, началом функционирования 150 млн лет тому назад U-Pb-часов в цирконах из гранитоидов Бургагынского массива [32]. Другими словами, после крупного термального события, происшедшего 155–150 млн лет тому назад, в гранитоидах басугуньинского комплекса 150–145 млн лет тому назад практически одновременно включились К-Аг, Rb-Sr и U-Pb часы. Ещё одно термальное событие происходило 140–130 млн лет тому назад.

Оно зафиксировано в Rb-Sr-системах, а также в К-Аг-системах массивов Басугуньинский, Столовый, Бургагынский (рис. 4).

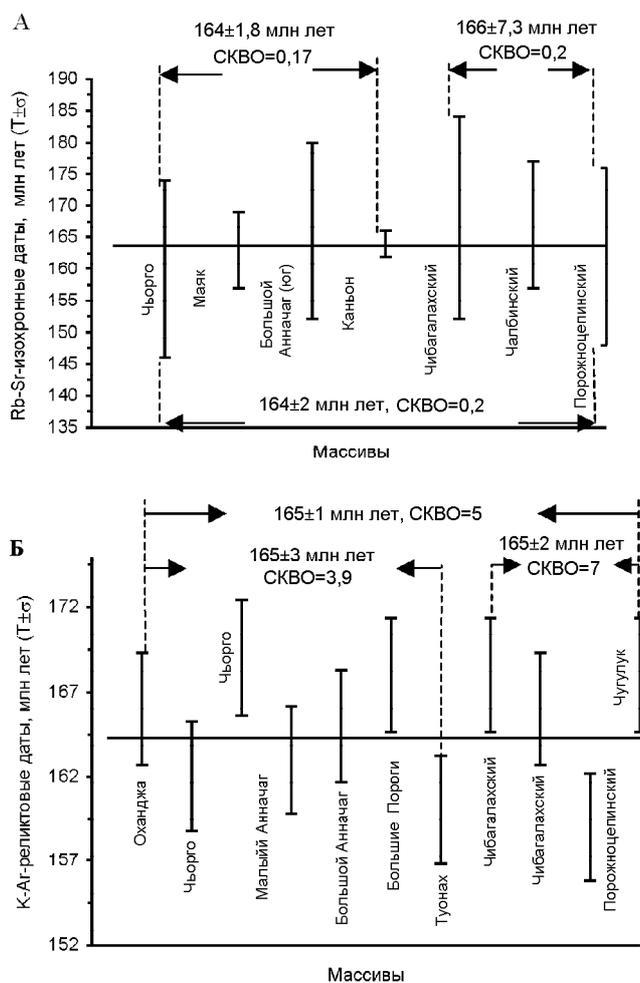
**Колымский комплекс.** К нему относят интрузии гранитов значительных размеров (до нескольких тысяч км<sup>2</sup>, в частности, Чибагалахский – 7000 км<sup>2</sup>). Обычны конформное расположение относительно складчатых структур, простое, чаще всего двухфазное строение, однообразный и довольно постоянный состав: биотитовые и двуслюдяные граниты, лейкограниты и адамеллиты, аплиты. Характерны магматический гранат, кордиерит, мусковит, ильменит [3, 17].

Массивы прорывают и метаморфизуют пермские, триасовые, нижне- и среднеюрские (байос-батские) отложения. Келловейские толщи, как правило, развиты на значительном удалении и контактовым метаморфизмом не затронуты. В результате исследований последних лет в центральной и юго-восточной частях ИД отложения, вмещающие массивы Чьорго, Оханджа и показанные на геологических картах келловей-оксфордскими [15, 18, 19], переведены в аален-байосские, байосские и батские. Так, массив Чьорго располагается в ядре горст-антиклинали (Шишкин, 2002 г.), сложенной тоар-ааленскими (в ядре) и байосскими и батскими толщами на флангах структуры, массив Оханджинский прорывает аален-байосские слои, в то время как батские толщи развиты на значительном удалении, вне зон контактового метаморфизма.

Данными исследований последних лет по северо-западному флангу ИД (Якутия) авторы не располагают. Но следует заметить, что и там в результате более детальных исследований (устные сообщения) возраст "келловей-оксфордских", по [18], отложений удревнен до аален-байосских и батских.

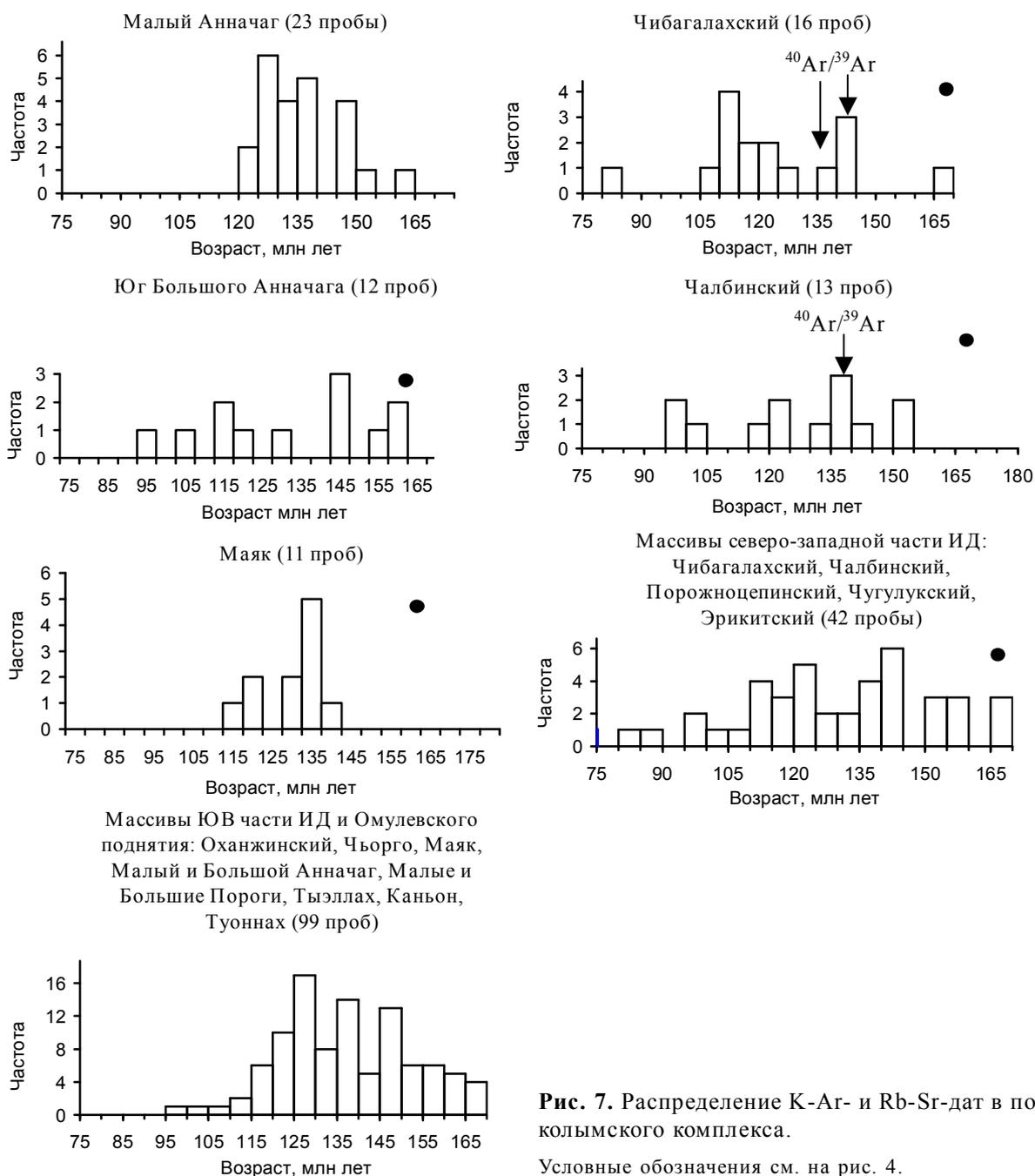
Породы комплекса охарактеризованы значительным массивом Rb-Sr- и К-Аг-датировок, полученных в лабораториях СВКНИИ ДВО и ГИ ЯФ СО [9, 12, 13, 14, 24, 27], а также  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датами [30].

В массивах юго-восточной части ИД и Омлевского поднятия (Чьорго, Маяк, Большой Анначаг, Каньон) определены Rb-Sr-изохронные даты от 166±7 млн лет до 160±7 млн лет (см. табл. 1). Средний возраст плутонов составляет 164±1,8 млн лет, СКВО=0,17 (рис. 6А, табл. 1). К-Аг-датировки по этим объектам колеблются в интервале 169–95 млн лет, при этом средний возраст, полученный по реликтовым датам из вышеперечисленных интрузий, а также из массивов Оханджа, Малый Анначаг, Большие Пороги определен в 165±3 млн лет, СКВО=3,9 (рис. 6Б, 7), т.е. согласуются с Rb-Sr-



**Рис. 6.** Средний возраст гранитоидов колымского комплекса.

А – Rb-Sr-изохронный, Б – К-Аг.



**Рис. 7.** Распределение К-Аг- и Rb-Sr-дат в породах колымского комплекса.

Условные обозначения см. на рис. 4.

изохронным возрастом. Термальные события, отраженные распределением К-Аг дат, приходились на интервалы 145–140 и 135–130 млн лет (рис. 7)

Для плутонов северо-западного фланга ИД (Чибгалахский, Чалбинский, Порожноцепинский) выявлены сопоставимые Rb-Sr-изохронные даты (табл. 1): от 168±8 до 162±7 млн лет, по которым определен средний Rb-Sr-изохронный возраст 166±7 млн лет, СКВО=0,21 (рис. 6А). В большом блоке К-Аг-датировок вышеперечисленных массивов,

а также интрузии Чугулук, имеются реликтовые даты, средний возраст по которым составил 165±2 млн лет, СКВО=7 (рис. 6Б). Нетрудно видеть, что он не отличается от Rb-Sr-изохронного возраста. Термальные события в этой группе интрузий фиксируются в интервалах 150–145 и 135–125 млн лет (рис. 7). <sup>40</sup>Аг/<sup>39</sup>Аг-даты, полученные P.W. Layer et al. [30] (рис. 7), колеблются от 144 до 135 млн лет и отражают лишь моменты переустановки изотопных часов.

Средний Rb-Sr-изохронный возраст колымских гранитов составляет  $164 \pm 2$  млн лет, СКВО=0,2. Он в точности соответствует среднему возрасту, рассчитанному по реликтовым K-Ar-датам –  $165 \pm 1$  млн лет, СКВО=5 (рис. 6).

Таким образом, внедрение и кристаллизация интрузий колымского комплекса происходили 166–162 млн лет тому назад. Колымские батолиты в течение поздней юры–мела подвергались неоднократным термальным воздействиям. Наиболее интенсивно такие события происходили в юго-восточной части ИД 145–140 и 135–130 млн лет тому назад, на его северо-западном фланге – 150–145 и 135–125 млн лет тому назад.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Последовательность становления гранитоидов Главного Колымского батолитового пояса, установленная по геологическим данным [3], подтверждается геохронометрическими материалами: нера-бохапчинский комплекс формировался в интервале 170–165 млн лет назад, басугуньинский и колымский внедрялись несколько позже и практически одновременно – в диапазоне 167–162 млн лет назад. Важно, что геохронометрическая информация, лежащая в основе этого вывода, получена в разных лабораториях и различными методами. Полное совпадение возрастов, установленных изохронным Rb-Sr-методом и определенных по реликтовым K-Ar-датам, является весомым аргументом в пользу примененной методологии интерпретации изотопных данных. Следует особо подчеркнуть, что согласованность Rb-Sr- и K-Ar-возрастов однозначно свидетельствует об отсутствии в изученных интрузивных образованиях избыточного  $^{40}\text{Ar}$ . Этот вывод, ранее сформулированный из общегеологических соображений [6, 13], теперь получил подтверждение прямыми изотопными методами. Кроме того, наличие избыточного  $^{40}\text{Ar}$  предполагает обратную корреляцию между K-Ar-возрастом пород и концентрацией в них калия. Как видно из рис. 8, ни в одном из комплексов такой связи не установлено.

Выше было показано, что интрузии нера-бохапчинского и басугуньинского комплексов не проникают в отложения, моложе батских. Для массивов колымского комплекса нельзя полностью отрицать их интрузивных контактов с осадками келловейского возраста. При обсуждении соответствия геологических и изотопных данных необходимо учитывать фундаментальную проблему соотношения общей стратиграфической ("палеонтологической") и геохронометрической шкал.

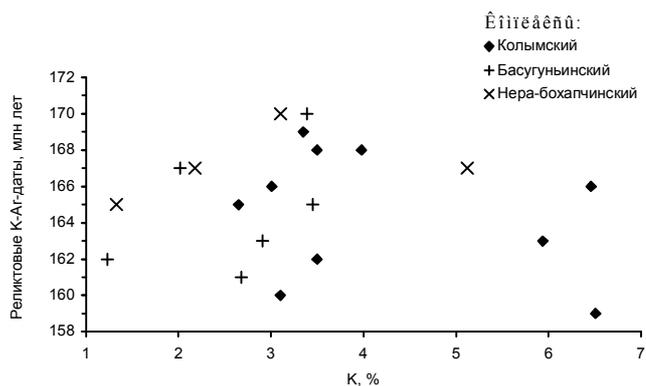


Рис. 8. Соотношение K-Ar-возраста пород с концентрацией K (%).

Из рис. 2 видно, что, помимо широко распространенной геохронологической шкалы W.B. Harland et al. [29], существуют более поздние разработки G.S. Odin, С. Odin [33] и F.M. Gradstein et al. [28]. Все они существенно различаются между собой. Полученные нами экспериментальные данные наиболее непротиворечиво соответствуют шкале [28], согласно которой малые тела нера-бохапчинского комплекса внедрялись в батское время, а интрузии басугуньинского и колымского комплексов – в баткелловейское. Но, по всей видимости, и схема [28] далека от совершенства. Опираясь на фактические данные, приведенные в [28], можно предположить, что батский век продолжался в рамках временных реперов с 173 до 169 млн лет назад, а келловейский – со 169 до 162. В этом случае ГКБП формировался в келловейское время.

Породы исследованных комплексов претерпевали термальные воздействия, приводящие к перестройке их изотопных систем. Прежде чем приступить к дальнейшему изложению этого положения, сделаем некоторые пояснения. Следует четко представлять, что, когда мы говорим, например, о внедрении и кристаллизации интрузии 140–135 млн лет тому назад, мы подразумеваем время ее застывания и, соответственно, включения изотопных часов. Термальный же прогрев, приводящий к перестройке изотопных систем в окружающих породах, происходил раньше (например 145–140 млн лет тому назад). Именно его отражают минимумы на гистограммах распределения изотопных дат. То же самое относится к рудогенезу, где отложению руд предшествовала гидротермальная проработка вмещающих пород. И только следующие за минимумами даты (моменты повторных включений изотопных часов) совпадают со временем застывания интрузии или формирования руд.

**Таблица 3. Время перестройки и вторичного включений изотопных систем.**

Интервал перестройки изотопных систем (млн лет)	Время вторичного включения изотопных часов (млн лет)	Комплексы	Изотопные системы	Причины перестройки изотопных систем
155–150	150–145	басугуньинский	K-Ar, Rb-Sr, U-Pb	Формирование золото-редкометалльных руд
150–145	145–140	нера-бохапчинский, колымский (СЗ ветвь ИД)	K-Ar	Формирование золото-кварцевых и оловянных руд
145–140	140–135	колымский (ЮВ ветвь ИД)	K-Ar	Внедрение интрузий сибердыкского и негаяхского комплексов
135–125	130–120	все комплексы	K-Ar, Rb-Sr	Рифтогенез

Время перестройки и вторичного включения изотопных систем приведено в таблице 3. На первый взгляд, мы как будто имеем непрерывный цифровой ряд, геологическая интерпретация которого затруднительна. Однако более тщательный анализ устанавливает причины, обусловившие наблюдаемую картину.

Интервал нарушения изотопных систем 155–150 млн лет фиксируется в интрузиях басугуньинского комплекса. Во многих из них локализованы золото-редкометалльные руды (интрузии Басугуньинской группы – см. [4], рис. 61; Бургагынский шток и др.). <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar-датирование биотитов и мусковитов из рудных тел установило их возраст в 149–147 млн лет (проявления Чепак, Малыш, Школьное [4], Рыжий [2]). Интересные результаты получены по проявлению Рыжий, расположенному в одноименном штоке гранодиоритов басугуньинского комплекса (Ат-Юряхско-Штурмовской район). Шток прорывает аален-байосские отложения моржовской свиты средней юры (176 млн лет, по [29]), на удалении 500–600 м от его контактов обнажена раннеюрская бюченнахская свита тоарского возраста (190–180 млн лет, по [28]). Ее K-Ar-возраст определен в 185±0,4 млн лет и в точности совпадает с геологическим возрастом. В экзоконтакте штока в роговиках по алевропесчаникам моржовской свиты определена дата 165±1,5 млн лет (оба определения из коллекции А.В. Альшевского). Она не согласуется с геологическим возрастом аален-байосских отложений, а фиксирует время внедрения интрузии. В то же время, биотиты из гранодиоритов штока имеют <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar-возраст 148 млн лет [2], такой же, как и возраст золото-редкометалльных руд. Этот пример является яркой иллюстрацией причины, вызвавшей преобразование изотопных системы в гранитоидах басугуньинского

комплекса 155–150 млн лет тому назад – это гидротермальный прогрев, предшествовавший формированию золото-редкометалльных руд.

Интервал 150–145 ярко проявлен в дайках нера-бохапчинского комплекса, вмещающих руды золото-кварцевой формации, возраст которых составляет 145–140 млн лет [9, 20]. В колымских гранитах северо-западной части ИД золотые руды отсутствуют, но здесь вдоль юго-западных контактов интрузий формировалась Чибагалахская зона касситерит-кварцевых и касситерит-вольфрамит-кварцевых месторождений позднеюрско-раннеэокомоваго возраста [20]. Таким образом, как и в предыдущем возрастном интервале, нарушение изотопных систем 150–145 млн лет тому назад было связано с гидротермальным прогревом, предшествовавшим формированию руд (в данном случае золото-кварцевых и оловянных).

Интервал 145–140 млн лет проявлен в тех плутонах колымского комплекса, которые пространственно совмещены с более поздними интрузиями сибердыкского и негаяхского комплексов (рис. 1), внедрившихся 147–136 млн лет тому назад [9]. В данном случае нарушение изотопных систем связано с тепловым воздействием от более молодых магматических тел.

Интервал 135–125 млн лет в той или иной мере проявлен в породах всех магматических комплексов. Он фиксирует региональный процесс тектонической перестройки территории – возникновение рифтов и рифтогенных структур (Омсукчанская, Нявленгинская, Тарынская и др.), в пределах которых 130–125 млн лет тому назад широко проявился трахибазальтовый – щелочносалический вулканизм и оруденение серебряного и олово-серебряного типов [9, 20].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрение интрузий ГКБП происходило в узком временном диапазоне, 170–160 млн лет назад, в бат-келловейский или келловейский век средней юры. Этот вывод расходится с господствующими сегодня представлениями об их позднеюрском–раннемеловом или раннемеловом возрасте [4, 16, 20, 26], основанными, главным образом, на результатах  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирования [30]. Как показано в настоящей работе,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -даты, так же как К-Аг-вые, в большинстве случаев фиксируют не время внедрения интрузий, а моменты нарушения их изотопных систем. Следует еще раз напомнить, что достоверные геологические соотношения массивов ГКБП с верхнеюрскими толщами не установлены.

Приведенные материалы показывают необычайную чувствительность изотопных систем к термальным преобразованиям. Принципиально важно, что использованная нами методика анализа гistogramм распределения изотопных дат позволяет выявлять время переустановки изотопных часов. Оно может быть обусловлено различными, но всегда геологически значимыми и достоверно устанавливаемыми причинами. В нашем случае – формированием руд, внедрением более поздних магматических масс, общетектоническими перестройками. Выявление временных интервалов таких преобразований, а значит и термальной истории как отдельных объектов, так и крупных тектонических структур особенно эффективно К-Аг-методом. Это следует подчеркнуть, учитывая сложившееся скептическое к нему отношение. Очевидно, К-Аг-геохронометры, особенно в сочетании с другими изотопными методами, далеко не исчерпали свой прикладной ресурс.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Билибин Ю.А. О роли баголитов в золотом оруденении в СССР // Докл. АН СССР. 1945. Т. 50. С. 367–370.
2. Ворошин С.В., Ньюберри Р.Дж.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  датировки золотого оруденения в Штурмовском рудном районе // Проблемы геологии и металлогении Северо-Востока Азии на рубеже тысячелетий. Билибинские чтения. Т.2. Металлогения. Магадан, 2001. С. 159–162.
3. Гельман М.Л. Геолого-петрологические аспекты связи золотого оруденения и магматизма в гранитоидных петрографических провинциях Северо-Востока Азии // Золотое оруденение и гранитоидный магматизм Северной Пацифики. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2000. Т. 2. С. 5–79.
4. Горячев Н.А. Геология мезозойских золото-кварцевых жильных поясов Северо-Востока Азии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998. 210 с.
5. Жуланова И.Л., Котляр И.Н. К методике интерпретации результатов изотопного датирования в областях длительной эндогенной активности // Проблемы геологии и металлогении Северо-Востока Азии на рубеже тысячелетий. Билибинские чтения. Т.1. Региональная геология, петрология и геофизика. Магадан, 2001. С. 146–148.
6. Загрузина И.А. Геохронология мезозойских гранитоидов Северо-Востока СССР. М.: Наука, 1977. 279 с.
7. Загрузина И.А., Матвеев В.Т. Верхояно-Чукотская мезозойская складчатая область // Геохронология СССР. Т.2. Фанерозой. Л.: Недра, 1974. С. 249–259.
8. Каталог определений возраста горных пород СССР радиологическими методами. Северо-Восток СССР. Л.: ВСЕГЕИ, 1975. 547 с.
9. Котляр И.Н., Жуланова И.Л., Русакова Т.Б., Гагиева А.М. Изотопные системы магматических и метаморфических комплексов Северо-Востока России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2001. 316 с.
10. Матвеев В.Т. Петрология и общие черты металлогении Омсукчанского рудного узла (Северо-Восток СССР) // Труды ВНИИ-1. Разд. 2. Геол. 1957. Вып. 31. С. 1–73.
11. Милов А.П. Результаты геохронологических исследований изверженных и метаморфических пород // Геология зоны перехода континент-океан на Северо-Востоке Азии (реферативное изложение важнейших исследований 1986-1990 гг.). Магадан: СВКНИИ ДВО АН СССР, 1991. С. 171–176.
12. Ненашев Н.И. Время образования изверженных пород в "продольных" и "поперечных" зонах западной части Верхояно-Колымской складчатой области // Труды десятой сессии Комиссии по определению абсолютного возраста геологических формаций. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 252–267.
13. Ненашев Н.И., Зайцев А.И. Геохронология и проблема генезиса гранитоидов Восточной Якутии. Новосибирск: Наука, 1980. 238 с.
14. Ненашев Н.И., Зайцев А.И. Эволюция гранитоидного магматизма в Яно-Колымской складчатой области. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1985. 176 с.
15. Омиров О.Н., Лычагин П.П. Геологическая карта СССР. 1:200000. Серия Верхне-Колымская. Лист Р-55-IV. М., 1967.
16. Парфенов Л.М. Террейны и история формирования мезозойских орогенных поясов Восточной Якутии // Тихоокеан. геология. 1995. № 6. С. 32–43.
17. Серебряков В.А. Постмагматическая история гранитов. М.: Недра, 1972. 160 с.
18. Сурмилова Е.П., Максимова Г.А. Натапов Л.М. Геологическая карта СССР (новая серия). 1:1000 000. Карта дочетвертичных образований. Листы Q-54, 55 (Хонуу). Л., 1985.
19. Сурмилова Е.П., Корольков В.Г. Геологическая карта Российской Федерации (новая серия). 1:1000 000. Карта дочетвертичных образований. Листы Р-54, 55; О-55. СПб., 1999.
20. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / Отв. ред. Л.М. Парфенов, М.И. Кузьмин. М.: МАИК "Наука/Интерпериодика", 2001. 571 с.
21. Устиев Е.К. Мезозойский и кайнозойский магматизм Северо-Востока СССР // Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. Магадан: Кн. изд-во, 1949. Вып. 4. С. 3–49.

22. Фирсов Л.В. О мезозойском магматизме Северо-Востока СССР в свете определений абсолютного возраста // Изв. ВУЗов. Сер. геология и разведка. 1960. № 10. С. 12–20.
23. Фирсов Л.В. О позднемезозойских магматических фазах Северо-Востока СССР // Докл. АН СССР. 1962. Т. 142. № 6. С. 1381–1383.
24. Флеров Б.Л., Трунилина В.А., Яковлев Я.В. Оловянно-вольфрамовое оруденение и магматизм Якутии. М.: Наука, 1979. 274 с.
25. Шаталов Е.Т. Интрузивные породы Охотско-Колымского края // Материалы по изучению Охотско-Колымского края. Магадан, 1937. Вып.8. С. 5–140.
26. Шпикерман В.И. Домеловая минерация Северо-Востока Азии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998. 333 с.
27. Шкодзинский В.С., Недосекин Ю.Д., Сурнин А.А. Петрология позднемезозойских магматических пород Восточной Якутии. Новосибирск, 1992. 238 с.
28. Gradstein F.M., Agterberg F.P., Ogg J.C. et al. A Triassic, Jurassic and Cretaceous time scale // Geochronology time scale and global stratigraphic correlation. 1995. V. SEMP Special Publication N 54 (54). P. 95–128.
29. Harland W.I., Armstrong R.L., Cox A.V., Graig L.E., Smith D.G. A geologic time scale 1989. Cambridge Univ. Press, 1990. 263 p.
30. Layer P.W., Newberry r., Fujita K., Parfenov L.M. et al. Tectonic setting of the plutonic belts of Yakutia, Northeast Russia, based on  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  and trace element geochemistry // Geology. 2001. V. 29. P. 167–170.
31. Ludwig K.R. User's Manual for Isoplot/Ex version 2.01. Berkeley Geochronology Center. 1999. 47 p.
32. Moll-Stalcup, E.J., Krough, T.E., Kamo, S., Lane, L.S., Cecile, M.P., and Gorodinsky, M.E. Geochemistry and U-Pb geochronology of arc-related magmatic rocks, NE Russia // Geological Society of America Abstracts with Programs. 1995. V. 27, N. 5. P. 65.
33. Odin G.S., Odin C. Echelle Numerique des Temps Geologiques // Geochronologie. 1990. V. 35. P. 12–20.

Поступила в редакцию 10 сентября 2002 г.

Рекомендована к печати Л.П. Карсаковым

*T.B.Rusakova, and I.N. Kotlyar*

### **Geochronology of granitoid intrusion complexes of the Main Kolyma Batholith Belt (Northeastern Russia)**

The Middle Jurassic age of the Nera-Bokhaphchinskiy, Basugun'inskiy and Kolyma intrusion complexes composing the Main Kolyma Batholith Belt has been proved on the basis of analyses of isotopic data (Rb-Sr, K-Ar,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , U-Pb-methods) and geological relationships. It is demonstrated that isotopic systems of granitoids were repeatedly disturbed during the process of gold-rare metal, gold-quartz, and tin ore formation, and during emplacement of late intrusions. A new methodological approach to isotopic data interpretation is suggested.