УДК 551.76.02:552.311:551.222(571.56)

К. А. КУКУШКИН, А. В. МОЛЧАНОВ, А. В. РАДЬКОВ, В. В. ШАТОВ, А. В. ТЕРЕХОВ, Н. В. ШАТОВА, Е. И. ХОРОХОРИНА, Д. Н. РЕМИЗОВ (ВСЕГЕИ)

О расчленении мезозойских интрузивных пород Центрально-Алданского района (Южная Якутия)

Доказываются принадлежность мезозойских щелочных интрузивных пород Центрально-Алданского района (Южная Якутия) к одному магматическому очагу и, как следствие, необходимость объединения их в один интрузивный комплекс. Установлено, что большая часть мезозойских магматических образований, участвовавших в строении Центрально-Алданского района, характеризуется рядом сходных геохимических особенностей. На основе использования изотопной системы U-Pb по цирконам показан близкий возраст кристаллизации мезозойских интрузивных пород – 122–147 млн лет.

Ключевые слова: *мезозой, Алданский щит, щелочной магматизм, Центрально-Алданский район, сиениты, Билибин.*

K. A. KUKUSCHKIN, A. V. MOLCHANOV, A. V. RADKOV, V. V. SHATOV, A. V. TEREKHOV, N. V. SHATOVA, E. I. KHOROKHORINA, D. N. REMIZOV (VSEGEI)

Towards differentiation of the Mesozoic intrusive rocks in the Central Aldan district (South Yakutia)

According to the results of comprehensive petrographic and geochemical investigations and isotope dating, the authors proves appliances of Mesozoic alkaline intrusive rocks of the Central Aldan area (South Yakutia) to the single magmatic source and, as a result, the need to unite them into a single intrusive complex. This article contains data which demonstrates similar geochemical features of Mesozoic alkaline intrusive rocks of Central Aldan region. Isotopic dating of rocks was carried out using local U-Pb (SHRIMP) isotopic study of zircons. The results show that alkaline intrusive rocks were formed in the interval of 122–147 Ma.

Keywords: *Mezozoic, Aldan shield, alkaline magmatism, Central Aldan area, syenites, Bilibin.*

Введение. Изучение мезозойского магматизма центральной части Алданского щита началось в 20–30-е годы прошлого столетия с работ Ю. А. Билибина, который описал породы в составе алданского комплекса, образованного в один вулканический цикл, выделив при этом пять фаз внедрения – первая фаза пластовых интрузий порфировых пород нормальных гранитов, сиенитов и диоритов; вторая – лакколитов, щелочно-земельных авгитовых сиенитов; третья – лакколитов, небольших штоков и даек щелочных пород – псевдолейцитовых ортофиров и тингуаитов, фонолитов, нефелиновых сиенитов; четвертая – лакколитов и штоков щелочных сиенитов; пятая – даек нормальных базальтов и диабазов. Опровергнута гипотеза происхождения алданского золота из аляскитовых гранитов архея и доказана четкая связь золотого оруденения с мезозойскими щелочными породами.

В 60-е годы изучением мезозойского магматизма Центрального Алдана занимались специалисты ВСЕГЕИ под руководством Т. В. Билибиной. Полученные в ходе среднемасштабной геологической съемки Алданского щита и тематических работ различного характера обширные данные, касающиеся геологии, металлогении и геохимии алданского комплекса, обобщены и изложены в монографии, посвященной описанию геологического строения Южной Якутии.

Следующим этапом в изучении высококалиевых магматических пород Алдана были исследования, проведенные группой специалистов ИГЕМ РАН [6, 7] в 90-е годы прошлого столетия. В данной работе приведена исчерпывающая петрологическая характеристика мезозойских интрузивных пород и предложена двустадийная модель формирования всего комплекса мезозойских магматических образований Центрального Алдана.

В 1966 г. при проведении средне- и крупномасштабных геологосъемочных работ Е. П. Миронюк по результатам изучения пород и в связи с потребностями картирования расчленил единый комплекс мезозойских пород, выделенный Ю. А. Билибиным, на ороченский, верхнеселигдарский, алданский, лебединский, тобукский, нижнекуранахский, эльконский и колтыконский комплексы. Название «алданский» было сохранено за одним из выделенных комплексов.

В 2008–2014 гг. сотрудники отдела металлогении и геологии месторождений полезных ископаемых ВСЕГЕИ выполнили работы по созданию Государственной геологической карты листа О-51 третьего поколения. Получены новые петрологические, геохимические и изотопно-геохимические данные по мезозойскому магматизму Центрально-Алданского района (ЦАР).

© К. А. Кукушкин, А. В. Молчанов, А. В. Радьков, В. В. Шатов, А. В. Терехов, Н. В. Шатова, Е. И. Хорохорина, Д. Н. Ремизов, 2015

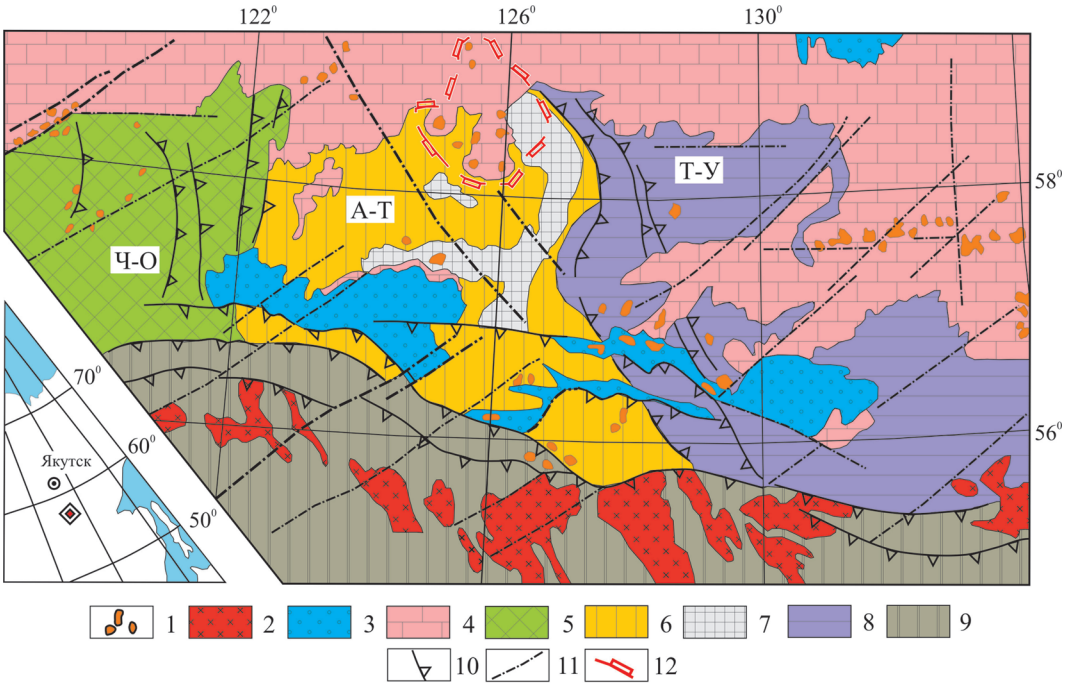


Рис. 1. Геологическая схема Алданского щита [5]

1 – мезозойские щелочные и *2* –гранитоидные интрузии; *3* – юрские терригенные отложения; *4* – рифейско-кембрийский платформенный чехол; *5–9* – докембрийские метаморфические комплексы (гнейсы): *5* – олекминский, *6* – иенгрский, *7* – федоровская серия, *8* – тимптоно-джелтулинский, *9* – зверевский и становой; *10* – главные и *11* – второстепенные разломы; *12* – граница ЦАР. Мегаблоки: **Ч-О** – Чаро-Олекминский; **А-Т** – Алдано-Тимтонский; **Т-У** – Тимптоно-Учурский

Материалы и методы. Для изучения мезозойских щелочных пород отбирались образцы мезозойских интрузивных пород, штуфные геохимические пробы и сколки для изготовления прозрачно-полированных шлифов (далее ППШ).

Виды проведенных исследований:

– петрографический анализ структурно-вещественных особенностей путем петрографического анализа свыше двухсот ППШ, подготовленных на основе образцов вышеперечисленных мезозойских щелочных интрузивных комплексов;

– лабораторно-аналитические в ЦАЛ ВСЕГЕИ, включающие метод атомной абсорбции (вскрытие царской водкой) для определения Au, определение химических элементов на масс-спектрометре Elan 6100 DRC с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS), рентгеноспектральный анализ;

– изотопно-геохронологическое изучение цирконов (21 образец) U-Pb методом на приборе SHRIMP в ЦИИ ВСЕГЕИ;

Подготовлены минералого-петрографические и геохимические базы данных на основе результатов исследований, в том числе предшественников.

Геологическое строение. Центрально-Алданский район расположен в центральной части Алдано-Станового щита – крупнейшего выступа фундамента Сибирской платформы (рис. 1). Представляет собой несколько различных структурных этажей, разбитых сложной сетью тектонических нарушений. Нижний этаж (кристаллический фундамент) – раннедокембрийские сложнодислоцированные метаморфические породы, занимающие значительную часть территории ЦАР, а также интрузивные образования основного и кислого состава, прорывающие их. К верхнему этажу отнесены венд-кембрийские и раннеюрские терригенно-карбонатные и карбонатно-терригенные отложения эпиконтинентального шельфового моря, формирующие осадочный чехол на значительно эродированном Алданском щите.

Наиболее интересны структуры мезозойской тектоно-магматической активизации, длившейся продолжительное время и характеризующейся несколькими этапами внедрения интрузивных тел (ниже рассмотрены более подробно).

В период мезозойской тектоно-магматической активизации кристаллический фундамент и платформенный чехол были интрудированы многочисленными, преимущественно гипабиссальными магматическими телами в форме небольших силлов, штоков, лакколитов, даек, реже диатрем (рис. 2).

Мезозойские комплексы. ***Петрологические особенности пород мезозойских комплексов.*** Мезозойские щелочные магматические породы Центрального Алдана были разделены Е. П. Миронюком на 8 различных комплексов (табл. 1, рис. 3).

Макроскопически *кварцевые сиенит-порфиры* и *граносиенит-порфиры* – серые, светло-серые, розовато-серые породы с тонкозернистой основной массой и порфировыми выделениями кварца и полевого шпата размерами 0,5–6 мм. Структура порфировая с микрозернистой кварц-калишпат-плагиоклазовой основной массой. Вкрапленники до 30 % объема породы, кварц 0–10, плагиоклаз (альбит-олигоклаз) до 25 и роговая обманка до 10 %. Среди кварцевых сиенит-порфиров встречаются разновидности без кварца в порфировых выделениях. Акцессорные минералы – апатит, сфен и магнетит, вторичные – серицит, лимонит.

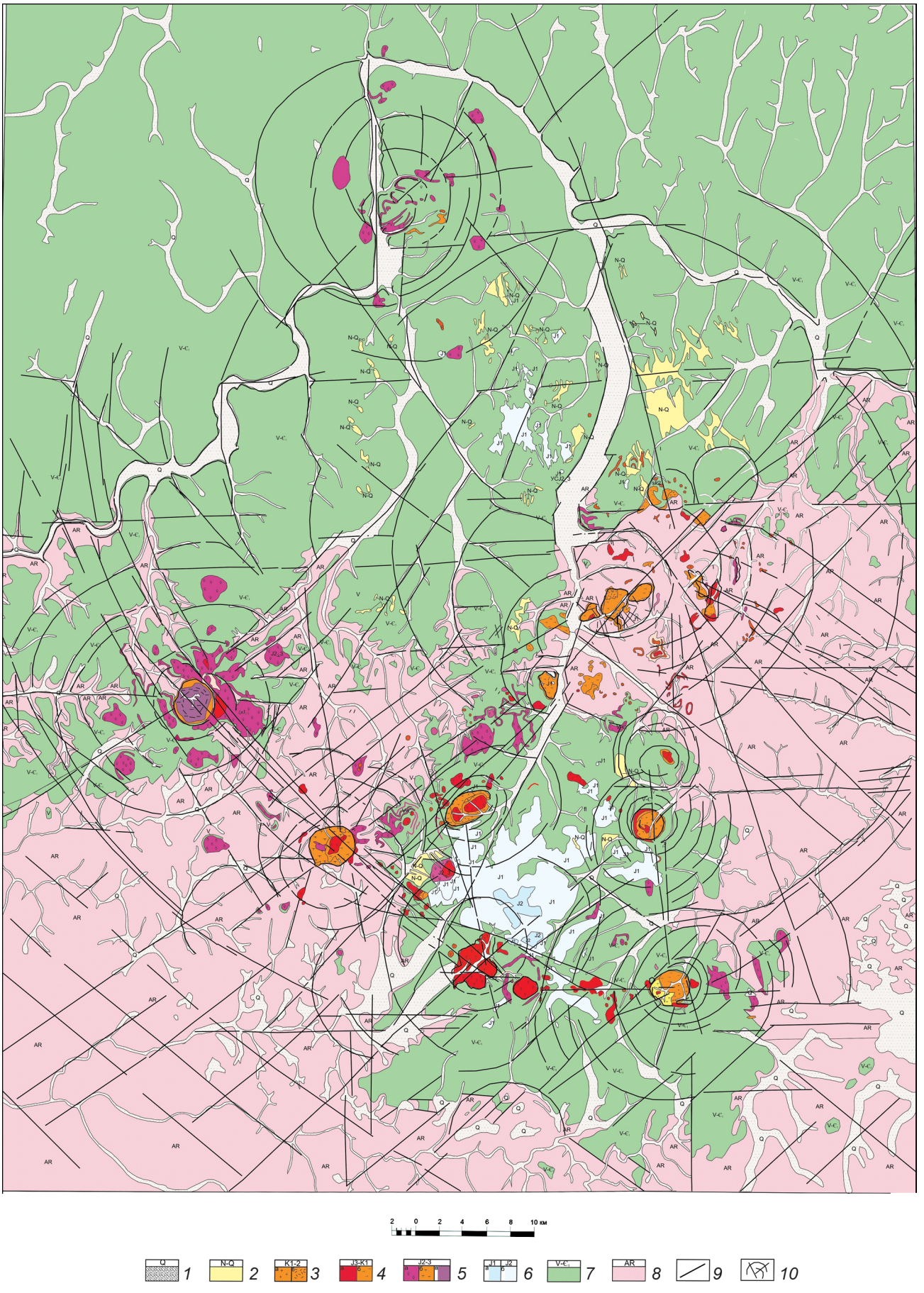

2 0 2 4 6 8 10 км
Q 1
N-Q 2
K1-2 3
J3-K1 4
J2-3 5
J1 J2 6
V-Є1 7
AR 8
9
10

Рис. 2. Карта распространения щелочных интрузий ЦАР. Авторы: В. И. Уютов, С. В. Минаков (ГУ ГГП РС (Я) «Алдангеология»)

1 – четвертичные отложения, нерасчлененные; *2* – неоген-четвертичные отложения, рыхлые и литифицированные продукты кор выветривания карстовых полостей и депрессий; *3* – раннемеловые дайки, штоки, трубообразные тела (*а* – эгириновых гранитов и грорудитов, *б* – эксплозивных брекчий); *4* – позднеюрские–раннемеловые штоки и лакколиты, кольцевые интрузии (*а* – субщелочных и щелочноземельных сиенитов, щелочнополевошпатовых сиенитов, *б* – шонкинитов, малиньитов); *5* – среднепозднеюрские пластовые тела (*а* – дайки, трещинные интрузии щелочноземельных сиенит-порфиров, ортофиров, субщелочных лампрофиров; *б* – щелочных трахитов, их туфов и кластолав; *в* – дуниты Инаглинского массива); *6* – юрские отложения (*а* – раннеюрские аркозовые песчаники, гравелиты, конгломераты, *б* – среднеюрские аркозовые песчаники и алевролиты); *7* – венд-кембрийские осадочные отложения чехла; *8* – докембрийские метаморфические и ультраметаморфические образования; *9* – разломы; 10 – кольцевые и радиальные разломы

Роговообманковые сиенит-порфиры – серые, желтовато-серые порфировидные породы. Вкрапленники плагиоклаза (An_{38-41} 30–35 % объема породы), роговой обманки (не более 10–15 %), авгита и кварца (первые проценты), биотита, калиевого полевого шпата заключены в основную микрозернистую полевошпатовую, кварц-полевошпатовую массу. Акцессорные минералы – апатит, магнетит, сфен; вторичные – хлорит, эпидот, серицит.

Вогезиты – темно-серые, зеленовато-серые порфировые породы, содержащие мелкие удлиненные вкрапленники зеленовато-черной роговой обманки. В трахитоидной или микролитовой основной массе содержится до 35, чаще 15–20 % вкрапленников роговой обманки. Основная масса – ортоклаз 35–55, роговая обманка до 15–20, андезин от 2–3 до 10–15 %, биотит и кварц (первые проценты). Роговая обманка часто опацитизирована и в разной степени замещена карбонатом, хлоритом, эпидотом. Количество вкрапленников изменяется от 25 % на периферии массивов до 55 % в их центральных частях, при этом доля роговой обманки и плагиоклаза уменьшается, а калишпата и кварца увеличивается.

Средне-мелкозернистые *монцодиориты* сложены вкрапленниками калиевого полевого шпата 50–60, пироксена и плагиоклаза в основной массе агрегата ортоклаза 50–60, эгирин-авгита 15–20 % и биотита, иногда встречаются плагиоклаз и кварц. Вторичные минералы – карбонат (по пироксену), альбит (по калиевому полевому шпату). По основной массе развивается серицит.

Малиньиты представляют собой серые мелко- и среднезернистые породы с гипидиоморфнозернистой, часто пойкилитовой структурой: ортоклаз 50–60, клинопироксен 15–25, биотит 5–14, нефелин 6–15, магнетит 1–6 %.

Шонкиниты – серые, темно-серые среднезернистые меланократовые породы с гипидиоморфнозернистой или пойкилитовой структурой: ортоклаз 50, клинопироксен (авгит, эгирин-авгит) 40, биотит 5, магнетит до 5 % и апатит. Клинопироксен часто содержит пойкилитовые включения мелких зерен апатита, магнетита, биотита.

Щелочные сиениты – среднезернистая порода: калиевый полевой шпат 55–60, плагиоклаз 20–25 и кварц 10–15 %. Структура породы гипидиоморфнозернистая, текстура массивная. Калишпат – таблитчатые и призматические индивиды, сильно пелитизированные. Порода серицитизирована, присутствует эпидот в виде землистых агрегатов. Гетит и гематит локализованы в тонких прожилках.

Сиенит-порфиры сложены мелкозернистой полевошпатовой массой с вкрапленниками (около 20 % от объема породы), представленными плагиоклазом (An_{35-40}) и роговой обманкой, замещенной хлоритом и карбонатом. Размер вкрапленников плагиоклаза от 0,5 до 2,0 мм. Бесцветные минералы незначительно преобладают над темноцветными. Содержание кварца в породе не превышает 5 %, как правило, он образует ксеноморфные зерна. Акцессорные минералы – апатит, магнетит, мелкие зерна сульфидов.

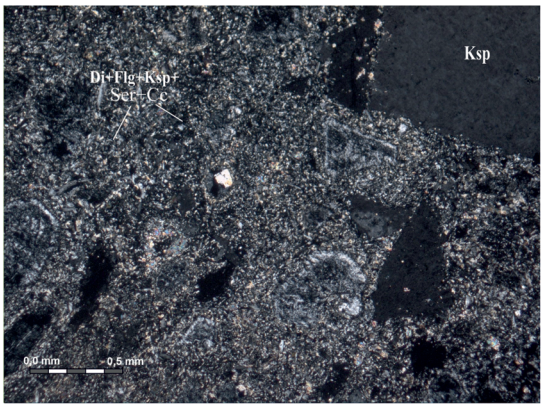
Таблица 1

Основные характеристики мезозойских комплексов ЦАР

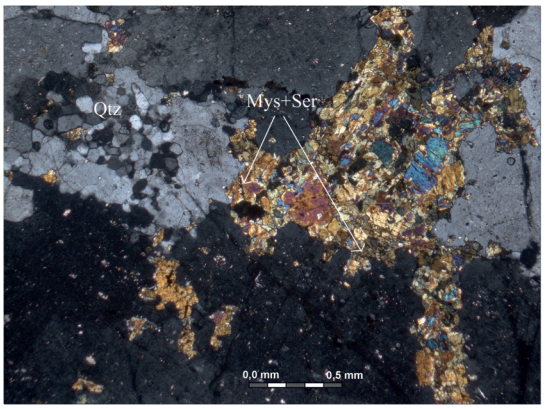
Название комплекса	Состав	Возраст, млн лет	Типы интрузивных тел
Ороченский	Кварцевые сиенит-порфиры, грано-сиенит-порфиры	217–188	Силлы
Верхнеселигдарский	Роговообманковые сиенит-порфиры, вогезиты, монцодиориты	160	Силлы, дайки
Алданский *	Малиньиты, шонкиниты, сиениты и их разновидности	148–130	Штоки, кольцевые интрузии, лополиты, лакколиты, дайки
Лебединский	Сиениты, монцониты	148–130	Штоки, дайки
Тобукский	Щелочные базальтоиды, щелочные пикробазальтоиды и их эксплозивные брекчии	137 ± 6	Дайкообразные тела, дайки
Нижнекуранахский	Минетты, вогезиты, бостониты	135,9 ± 1,20	Дайки, редкие силлы
Колтыконский	Сиенит-порфиры	134±4	Дайки, редкие силлы, диатремы
Эльконский	Эксплозивные брекчии с цементом щелочных трахитов, эгириновые сиенит-порфиры и граниты	188–115 [8]	Штоки, тела сложной формы, дайки

* В данном случае имеется в виду алданский комплекс, выделенный Е. П. Миронюком в 1966 г. при расчленении одноименного комплекса, описанного Ю. А. Билибиным и включающего в себя всё многообразие мезозойских щелочных пород ЦАР.

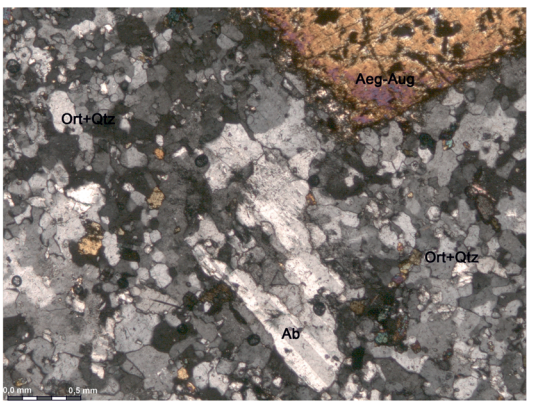
а



б



в



г

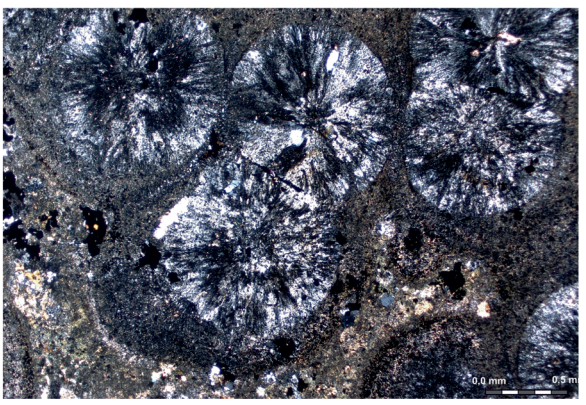


Рис. 3. Шлифы интрузивных пород мезозойских комплексов ЦАР в скрещенных николях

а – флюидно-эксплозивная брекчия шонкинитового состава тобукского комплекса (шлиф Ш-7); *б* – калишпатизированный эгирин-авгитовый сиенит (шлиф МТ-60, алданский комплекс); *в* – порфировидный эгирин-авгитовый кварцевый сиенит (шлиф МТ-63, алданский комплекс); *г* – эпилейцитовый сиенит (шлиф 5016, нижнекуранахский комплекс)

Сиениты – мезократовые среднезернистые, иногда порфировидные светло-желтые, серые или розоватые породы, под микроскопом обнаруживающие типичные гипидиоморфнозернистые, редко монцонитовые структуры. Средний минеральный состав: плагиоклаз 30–45, ортоклаз 35–40, авгит 15–20, роговая обманка 0–5, кварц 0–5, акцессорные (сфен, магнетит, апатит) до 1 %.

Монцониты – светло-серые мелко-, среднезернистые массивные породы: кислый или средний плагиоклаз 20–30, калиевый полевой шпат 30–40, кварц 0–5, клинопироксен 20–25, биотит до 5 %. Акцессорные минералы – магнетит, апатит.

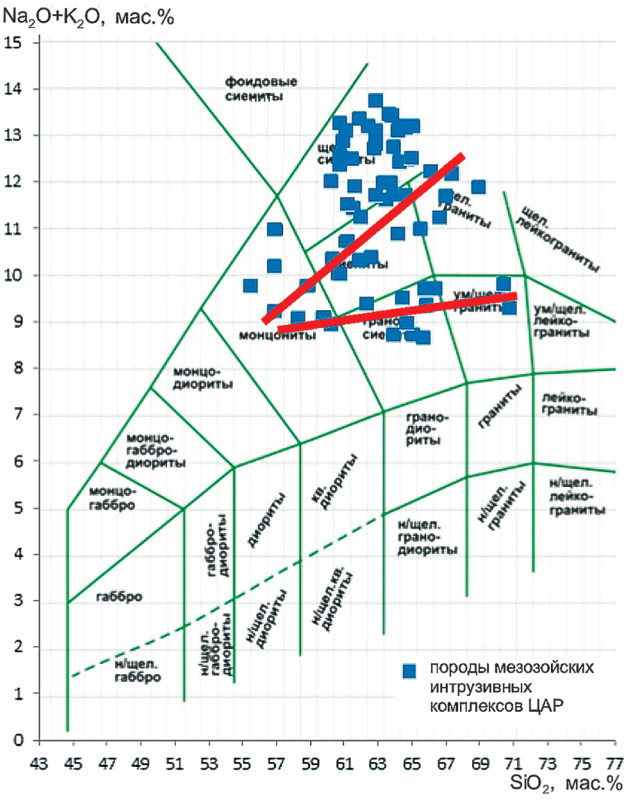
Эксплозивные брекчии щелочных пикробазальтоидов формируют ряд даек, дайкообразных тел и диатрем. Трубка Рябиновая сложена эксплозивными брекчиями ортоклазовых базальтоидов с многочисленными обломками вмещающих пород. Цементом брекчий служит темно-зеленый микрочешуйчатый хлоритовый и серпентин-хлоритовый агрегат с переменной примесью карбоната, калишпата, флогопита. Обломочный материал размером от долей миллиметра до 4–6 см. Цемент преимущественно кластический и метасоматический (карбонат-калишпатовый), образованный тонкокристаллическим калишпатом, беспорядочно расположенными микрочешуйками слюды, агрегатом карбоната и лимонита, замещающим, вероятно, фемическую часть связующей массы.

Щелочные базальтоиды слагают дайки мощностью 1–2 м и протяжённостью 200–700 м. Выделяются флогопитовые и псевдолейцитовые разновидности. Флогопитовые базальтоиды содержат во вкрапленниках от 30–40 до 60–75 % объёма породы, эгирин-авгит, флогопит и оливин в различных соотношениях. Основная масса представлена однородным мелкозернистым агрегатом слюдисто-пироксен-полевошпатового состава либо существенно полевошпатовой массой с преобладанием калишпата над плагиоклазом. Имеет бостонитовую или трахитоидную структуру с редкими мелкими зернами пироксена, флогопита, магнетита. Акцессорные минералы – апатит, магнетит. Псевдолейцитовые разности содержат обильные округлые вкрапленники псевдолейцита (агрегаты ортоклаза и нефелина), авгита и биотита. Основная масса породы неясно микролитовая существенно ортоклазового состава с примесью мелких зерен биотита, пироксена, магнетита.

Минетты – отчетливо порфировые породы темно-серого цвета. Во вкрапленниках авгит 10–15, биотит 20–25, ортоклаз 5–10 %, оливин (единичные зерна); основная полевошпатовая масса составляет 40–55 % объема породы. Биотит обычно равномерно распределен по породе и встречается как во вкрапленниках, так и в основной массе. Авгит образует довольно крупные зерна со слабым плеохроизмом в зеленоватых тонах.

Бостониты – розовато-жёлтые или лейкократовые породы с бостонитовой или трахитовой структурой. Калишпат во вкрапленниках – от единичных зерен до 5–10 %, замещается глинистыми минералами и серицитом. Основная масса состоит из лейст ортоклаза с характерными волнисто-зубчатыми ограничениями. Редко между зерен калишпата отмечаются альбит, иногда кварц, единичные чешуйки биотита, зерна апатита. Вторичные минералы – лимонит, каолинит (?), серицит, кальцит.

Рис. 4. Положение фигуративных точек состава исследуемых мезозойских интрузивных пород ЦАР на диаграмме TAS. Красными линиями обозначены тренды изменения составов пород



Эксплозивные брекчии с цементом щелочных трахитов (микросиенитов) – зеленовато-серые брекчиевидные породы с обломками щелочных трахитов, зерен ортоклаза, кислого плагиоклаза размером от первых миллиметров до 2–3 см. Цемент представлен микрозернистым агрегатом существенно калишпатового состава. Отмечается примесь вторичного биотита 1–2 и рудного минерала до 3–5 %. Повсеместно присутствует новообразованный мелкоигольчатый эгирин (5–10 % и более), в основной массе это шлировидные, неправильной формы скопления, а также прямолинейные и сложноветвящиеся прожилки.

Эгириновые сиенит-порфиры и граниты (рис. 3, *б*) – зеленовато-светло-серые породы с вкрапленниками альбитизированного анортоклаза 40–60 и эгирина 7–15 %. Основная тонкозернистая масса – калиево-натриевый полевой шпат 80, эгирин 10, кварц около 5 и акцессории 1–3 %, представленные сфеном, апатитом, редко магнетитом, цирконом, гранатом и флюоритом. Эгириновые бостониты отличаются малым количеством вкрапленников (калишпат) и лейкократовостью

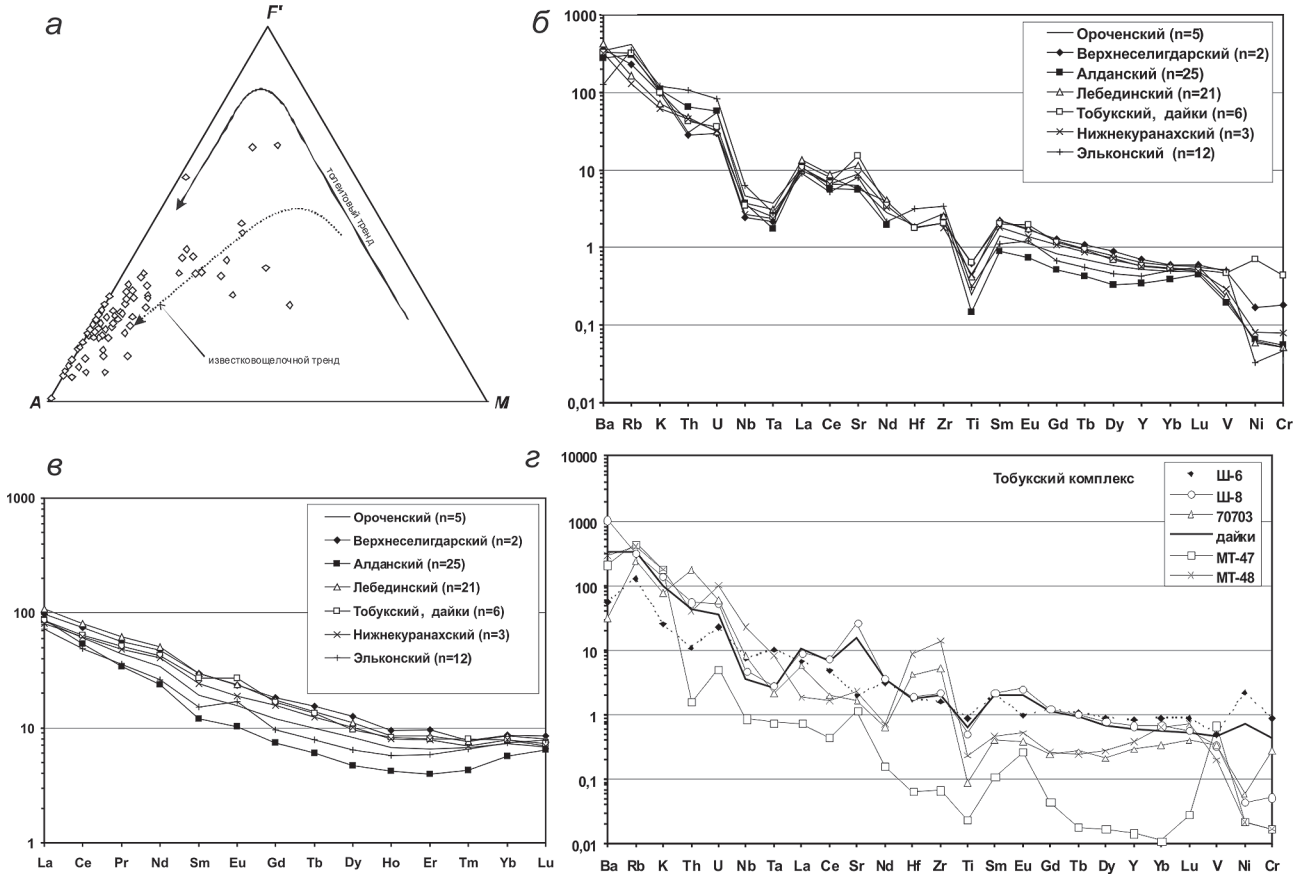


Рис. 5. Петрогеохимическая характеристика горных пород мезозойских комплексов Алдана

а – тренд дифференциации горных пород мезозойских комплексов Алдана на диаграмме AFM; *б* – спайдер-диаграмма средних составов магматических комплексов; *в* – спектры РЗЭ средних составов магматических комплексов; *г* – спайдер-диаграмма характерных горных пород тобукского комплекса.

в – нормировано по хондриту [16], *б, г* – по N-MORB [17, с дополнениями]

Таблица 2

Химический состав мезозойских интрузивных пород ЦАР (вес. %)

Номера образцов	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	$Fe_2O_{3общ}$	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	Σ
5463	60,23	0,76	16,09	6,51	0,13	2,12	4,85	4,49	4,42	0,38	100
5465/3	60,39	0,75	18,19	5,09	0,14	0,46	4,40	4,80	5,55	0,40	100
5451	61,90	0,75	18,35	5,27	0,15	1,36	1,66	4,79	5,53	0,24	100
5464	62,64	0,73	16,30	4,88	0,13	0,88	3,80	3,17	7,21	0,24	100
МТ-178	62,91	0,18	19,72	2,11	0,03	0,43	0,85	0,28	13,45	0,03	100
9134	63,86	0,12	17,98	2,29	0,03	1,63	0,66	5,31	8,10	0,03	100
МТ-177	67,05	0,18	16,36	2,92	0,07	0,78	0,93	4,72	6,98	0,03	100
МТ-176	67,42	0,19	16,18	2,94	0,06	0,47	0,56	6,19	5,97	0,03	100
1413	61,26	0,07	22,93	1,13	0,06	0,34	0,69	0,86	12,64	0,03	100
1412	63,97	0,24	19,05	2,60	0,10	0,44	3,25	5,35	4,92	0,08	100
8508/4	63,95	0,56	16,15	5,39	0,12	1,89	2,86	4,20	4,50	0,38	100
8505	65,84	0,38	17,06	3,48	0,09	0,97	2,30	5,01	4,68	0,19	100
8507	90,40	0,07	4,68	1,09	0,02	0,26	0,13	0,56	2,76	0,03	100
5465/2	55,61	0,87	14,87	6,57	0,13	3,96	9,74	4,14	3,60	0,51	100
5465/5	55,84	0,74	16,42	10,81	0,02	2,59	1,86	0,28	11,02	0,41	100
5463	60,23	0,76	16,09	6,51	0,13	2,12	4,85	4,49	4,42	0,40	100
5465/3	60,39	0,75	18,19	5,09	0,14	0,46	4,40	4,80	5,55	0,24	100
5451	61,90	0,75	18,35	5,27	0,15	1,36	1,66	4,79	5,53	0,24	100
5464	62,64	0,73	16,30	4,88	0,13	0,88	3,80	3,17	7,21	0,26	100
5472	65,53	0,21	18,15	1,21	0,07	1,22	2,60	0,23	10,77	0,03	100
9126	65,70	0,42	17,88	3,63	0,21	0,77	2,59	4,91	3,73	0,15	100
6543	65,87	0,35	17,41	3,21	0,12	0,96	2,58	4,98	4,38	0,14	100
6549/2	66,46	0,29	17,57	2,73	0,06	0,50	2,60	5,28	4,41	0,10	100

Примечание: петрохимические элементы приведены в мас.% по результатам рентгеноспектрального флуоресцентного силикатного анализа.

Результаты изучения U-Pb изотопной системы акцессорных цирконов из щелочных магматических пород

Образец, зерно, точка	$^{206}Pb_c$, %	U, ppm	Th, ppm	$^{232}Th/^{238}U$	$^{206}Pb^*$, ppm	$^{206}Pb/^{238}U$, млн лет		$^{207}Pb/^{206}Pb$, млн лет		Дискордантность, %	(1) $^{207}Pb^*/^{206}Pb^*$ ±%	
МТ-63_2.1	16,78	941	844	0,93	18,2	119,6	2,6	0,2001	±4,2	—	0,0704	25,6
МТ-63_8.1	5,15	1286	2145	1,72	24,4	133,6	1,8	0,0831	±1,9	—	0,0418	19,5
МТ-63_9.1	12,32	453	874	2	9,5	136,6	3,9	0,1348	±2,5	—	0,035	59,7
МТ60.2.1	2,94	94	95	1,04	2,08	159,5	±6,3	110	±1000	–28	0,0717	6,6
МТ60.3.1	22,64	203	223	1,13	4,49	127,7	±7,2	1110	±1100	768	0,25	4,7
МТ60.5.1	9,82	305	328	1,11	6,32	139,1	±4,8	773	±590	456	0,1416	2,8
МТ60.6.1	1,27	180	189	1,09	3,6	146,7	±4,3	355	±410	142	0,0637	5,2
МТ60.7.1	0,88	239	373	1,61	4,41	135,7	±3,7	–129	±420	–195	0,0507	4,9
МТ60.8.1	2,76	199	245	1,27	3,44	124,8	±3,7	–297	±740	–338	0,063	4,7
МТ60.9.1	4,58	155	162	1,08	3,14	143,9	±6,6	–780	±1300	–640	0,0713	9,2
6548/1-1,1	0,03	797	342	0,44	310	2410	±14	2566	±48	6	0,1709	2,9
6548/1-7,1	0,16	22	17	0,79	5,84	1727	±25	1773	±51	3	0,1084	2,8
6548/1-8,1	—	12	10	0,92	3,37	1886	±42	1924	±79	2	0,1178	4,4
6548/1-10,1	0,02	383	285	0,77	115	1925	±11	1920	±12	0	0,11758	0,68
6548/1-1,2	0,24	690	99	0,15	12,1	130,1	±1,1	—	—	—	0,0473	4,8
6548/1-2,1	0,00	351	38	0,11	6,15	130	±1,4	—	—	—	0,0517	3,9
SH7.1.1	4,49	133	69	0,54	2,37	126,9	±5	–1	±1200	–101	0,046	49
SH7.2.1	2,67	146	61	0,43	2,63	130,6	±4,6	–280	±1100	–315	0,041	44
SH7.3.1	—	112	42	0,39	1,97	131,1	±4,1	1062	±180	710	0,0748	9,2
SH7.6.1	0,31	138	69	0,52	16,6	845	±19	1637	±52	94	0,1007	2,8
SH7.7.1	3,07	78	1334	17,69	1,58	145,5	±6,5	1328	±600	813	0,086	31
SH7.9.1	2,50	149	89	0,62	2,56	125	±3,9	–371	±740	–397	0,04	28
SH7.10.1	4,41	109	42	0,40	2,06	134,4	±5,1	–550	±1400	–506	0,037	52
SH7.9.2	0,00	125	75	0,62	2,65	156,4	±4,7	1160	±120	642	0,0785	6,2
SH7.10.2	2,67	122	47	0,40	2,39	141,3	±4,7	–860	±1000	–708	0,033	36
5016_1.1	0,34	295	402	1,41	5,24	131,6	±1,9	132	±120	0	0,0487	5,2
5016_2.1	0,00	149	144	1,00	2,68	133,6	±2,5	156	±68	17	0,0492	2,9
5016_3.1	0,00	173	133	0,79	77,9	2713	±51	2662	±24	–2	0,181	1,4
5016_4.1	0,09	48	87	1,87	14,6	1948	±26	1942	±20	0	0,1191	1,1
5016_5.1	0,17	59	79	1,38	17,6	1907	±26	1953	±21	2	0,1198	1,2
5016_6.1	0,00	147	155	1,09	2,7	136,9	±2,6	295	±120	115	0,0522	5,1
5016_7.1	0,17	500	204	0,42	27	392	±5,2	364	±41	–7	0,05382	1,8
5016_9.1	0,79	143	160	1,15	2,76	141,7	±2,7	36	±190	–75	0,0467	8
5016_10.1	2,64	625	630	1,04	12	139,1	±2,1	188	±200	35	0,0499	8,8
5016_11.1	1,00	105	62	0,61	1,93	135,1	±2,6	–63	±250	–146	0,0449	10
5016_12.1	0,00	84	49	0,60	25,1	1921	±24	1934	±16	1	0,1185	0,88

(эгирина не более 8 %). Основное отличие гранитов – более высокое содержание кварца (10–30 %).

Несмотря на столь широкое разнообразие видов пород, в каждом комплексе при анализе их петрохимического состава выделяются два близких тренда: первый – от монцонитов, сиенитов до щелочных гранитов, второй – от тех же монцонитов, граносиенитов до умеренно-щелочных гранитов (рис. 4). Тренды можно охарактеризовать как щелочной и умеренно-щелочной. В каждый из них входят представители практически всех вышеперечисленных комплексов.

Геохимические особенности пород мезозойских комплексов. Высококалиевые магматические породы ЦАР характеризуются похожими геохимическими параметрами, включая кремнеземистость от 55 до 71 %. Следует отметить отчетливый известково-щелочной тренд во всей совокупности горных пород (рис. 5, *а*).

Наибольшее количество данных, имеющихся в распоряжении авторов, относится к алданскому, лебединскому, тобукскому и эльконскому комплексам. Остановимся на их характеристике несколько детальнее.

Спайдер-диаграмма пироксен-флогопитовых лампрофиров и шонкинитовых брекчий тобукского комплекса демонстрирует полную однородность их геохимических параметров вне зависимости от кремнеземистости (42,6–60,4 % SiO_2) либо от других петрохимических индикаторов. Лампрофир (обр. Ш-6) имеет, видимо, наиболее примитивный состав и, возможно, отвечает первичному расплаву.

С ростом кремнеземистости сиенитов отчетливо связано понижение концентраций РЗЭ (обр. 70703 наиболее кремнеземистый при умеренном содержании калия), а рост аномалии европия на этом фоне связан с повышенным содержанием калиевого полевого шпата в породах (рис. 5, *г*). Интересен также резкий рост содержания гафния и циркония в более кремнеземистых разностях сиенитов, причем вне связи с наложенным оруденением (образцы МТ-48 – сильно минерализованный сиенит-порфир, 70703 – эгирин-авгитовый сиенит-порфир).

Геохимические параметры пород алданского и эльконского комплексов довольно широко варьируют, однако в целом сохраняют общие черты. Усреднение 25 анализов горных пород алданского комплекса и 12 эльконского выявило абсолютное совпадение их геохимических спектров и общие для всех высококалиевых пород Центрального Алдана пониженные содержания Nb, Ta и Ti. Таким образом, мезозойский магматизм Центрального Алдана весьма однороден и в целом характеризуется низкими содержаниями ниобия, тантала и титана.

Таблица 3

Центрально-Алданского района

	(1) $^{207}Pb^*/^{235}U$ ±%		(1) $^{206}Pb^*/^{238}U$ ±%		Ошибка
	0,18	25,7	0,0187	2,2	0,085
	0,12	19,6	0,0209	1,4	0,07
	0,1	59,8	0,0214	2,9	0,049
	0,167	44	0,0251	4	0,091
	0,21	56	0,02	5,7	0,102
	0,195	28	0,02181	3,5	0,122
	0,17	18	0,02302	3	0,161
	0,128	17	0,02127	2,7	0,158
	0,11	29	0,01955	3	0,103
	0,106	48	0,0226	4,6	0,096
	10,68	3	0,4533	0,71	0,239
	4,59	3,2	0,3072	1,6	0,506
	5,52	5,1	0,3398	2,6	0,503
	5,641	0,95	0,3479	0,66	0,698
	0,133	4,9	0,02039	0,86	0,175
	,1452	4	0,02038	1,1	0,263
	0,126	50	0,01989	4	0,08
	0,116	44	0,02047	3,6	0,08
	0,212	9,7	0,02055	3,1	0,32
	1,944	3,7	0,14	2,4	0,65
	0,269	31	0,0228	4,5	0,14
	0,107	29	0,01959	3,1	0,11
	0,108	52	0,02106	3,8	0,07
	0,266	6,9	0,02456	3	0,44
	0,101	36	0,02216	3,4	0,09
	0,1384	5,4	0,02062	1,5	0,277
	0,142	3,4	0,02094	1,9	0,541
	13,06	2,7	0,523	2,3	0,850
	5,79	1,9	0,3527	1,5	0,810
	5,68	2	0,3442	1,6	0,805
	0,1545	5,4	0,02146	1,9	0,346
	0,465	2,3	0,06269	1,4	0,601
	0,143	8,2	0,02222	1,9	0,232
	0,15	8,9	0,02181	1,5	0,172
	0,131	11	0,02118	1,9	0,184
	5,673	1,7	0,3471	1,5	0,859

Результаты изотопно-геохронологического датирования. Исследования проводились в ЦИИ ВСЕГЕИ методом локального изотопного U-Pb (SHRIMP II) датирования по цирконам (рис. 6, табл. 3). Изучена 21 представительная проба горных пород мезозойских интрузивных комплексов.

Цирконы, показавшие мезозойский возраст, представлены прозрачными, полупрозрачными, розовыми, вишневыми, рыжевато-вишневыми призматическими кристаллами с идиоморфным-субидиоморфным обликом, сходным габитусом, секториальной зональностью. Мезозойские датировки 122–147 млн лет.

В исследуемых образцах выявлена и другая группа цирконов с характерным короткопризматическим обликом, наличием темных включений, имеющих явно выраженные ядро и оболочку. Цирконы этой группы в основном представлены обломками неправильной формы. Их датировки 1,0–2,8 млрд лет (в основном 1,8–2,8 млрд лет), что соответствует возрасту пород рамы и позволяет рассматривать их в качестве захваченных при внедрении интрузий [14].

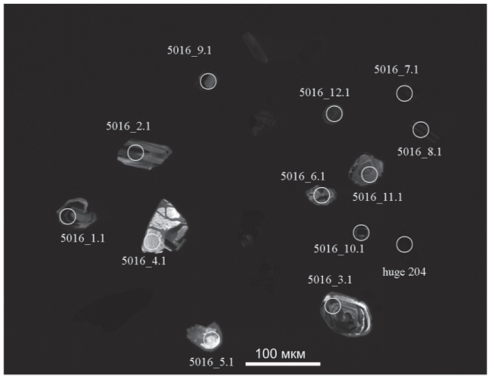
Таким образом, длительность существования магматического очага в мезозое на территории ЦАР около 25 млн лет. Возрастные вариации кристаллизации мезозойских образований имеют тенденцию к концентрации 147–133 (9 проб), 128–122 млн лет (12 проб), что является свидетельством пульсационного характера магматизма.

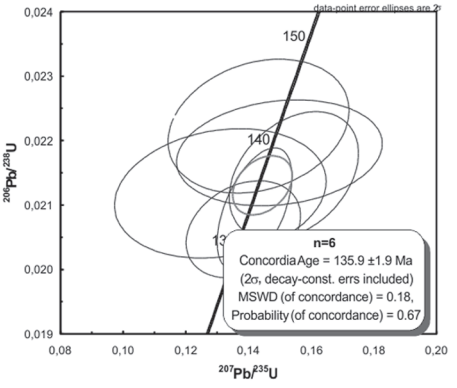
Необходимо отметить, что результаты датировок проб ороченского комплекса, приведенные предшественниками, и найденные гальки сиенит-порфиров в нижнеюрских отложениях указывают на его более древний возраст.

Выводы. Наши исследования показали, что выделенные в Центральном Алдане средне-позднемезозойские магматические комплексы имеют ряд общих черт:

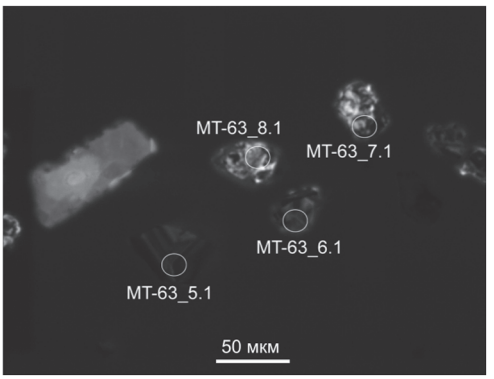
– одинаковый известково-щелочной тренд дифференциации серии;

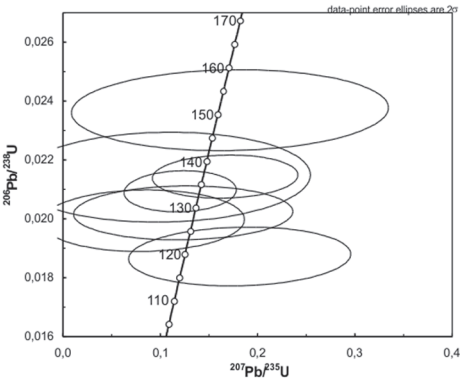
а


5016_9.1
5016_7.1
5016_12.1
5016_2.1
5016_8.1
5016_6.1
5016_11.1
5016_1.1
5016_4.1
5016_10.1
huge 204
5016_3.1
5016_5.1
100 мкм

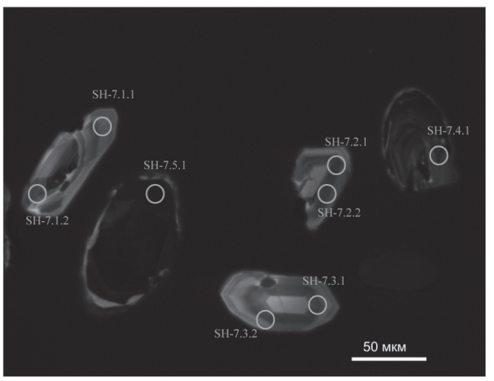

data-point error ellipses are 2σ
150
140
n=6
Concordia Age = 135.9 ±1.9 Ma
(2σ, decay-const. errs included)
MSWD (of concordance) = 0.18,
Probability (of concordance) = 0.67
$^{206}Pb/^{238}U$
$^{207}Pb/^{235}U$

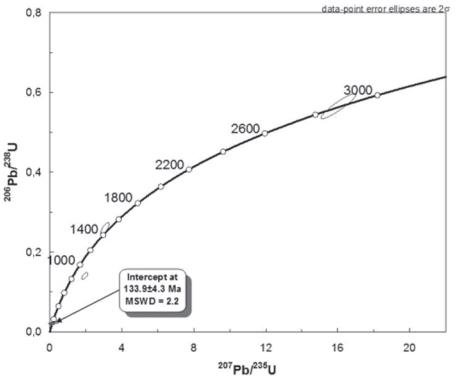
б


MT-63_8.1
MT-63_7.1
MT-63_6.1
MT-63_5.1
50 мкм

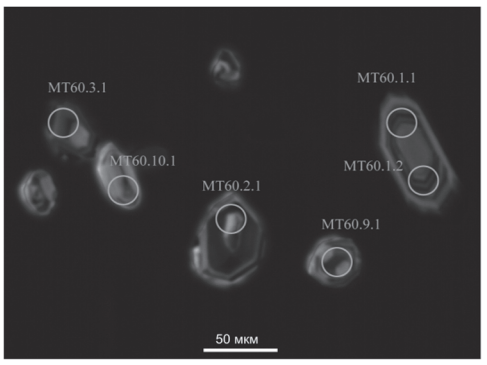

data-point error ellipses are 2σ
170
160
150
140
130
120
110
$^{206}Pb/^{238}U$
$^{207}Pb/^{235}U$

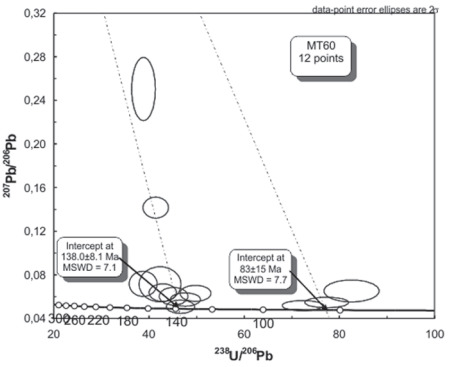
в


SH-7.1.1
SH-7.5.1
SH-7.1.2
SH-7.2.1
SH-7.4.1
SH-7.2.2
SH-7.3.1
SH-7.3.2
50 мкм

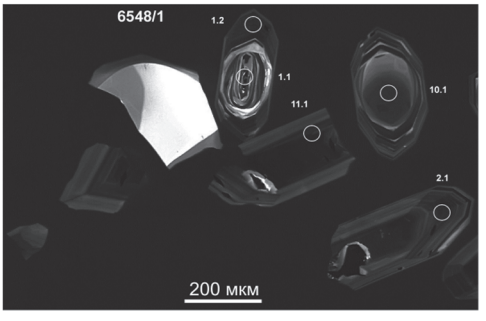

data-point error ellipses are 2σ
3000
2600
2200
1800
1400
1000
Intercept at
133.9±4.3 Ma
MSWD = 2.2
$^{206}Pb/^{238}U$
$^{207}Pb/^{235}U$

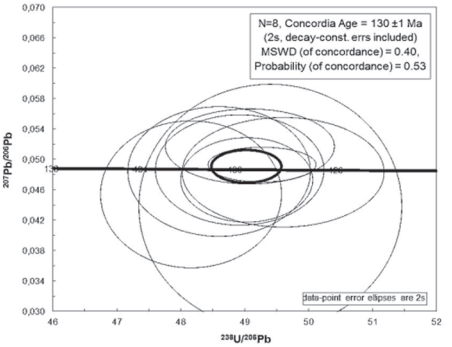
г


MT60.3.1
MT60.1.1
MT60.10.1
MT60.1.2
MT60.2.1
MT60.9.1
50 мкм


data-point error ellipses are 2σ
MT60
12 points
Intercept at
138.0±8.1 Ma
MSWD = 7.1
Intercept at
83±15 Ma
MSWD = 7.7
$^{207}Pb/^{206}Pb$
$^{238}U/^{206}Pb$

д


6548/1
1.2
1.1
11.1
10.1
2.1
200 мкм


N=8, Concordia Age = 130 ±1 Ma
(2s, decay-const. errs included)
MSWD (of concordance) = 0.40,
Probability (of concordance) = 0.53
data-point error ellipses are 2s
$^{207}Pb/^{206}Pb$
$^{238}U/^{206}Pb$

– большое петрографическое разнообразие пород, описываемых в каждом комплексе;

– преимущественно умеренно-кислый низкотитанистый состав;

– специфические близкие геохимические характеристики пород и одновременно однородность этих особенностей, не позволяющие выявлять отдельные породные комплексы на основании прецизионных геохимических данных.

Выявлены два интервала внутри общего временного диапазона становления комплекса в пределах 122–147 млн лет:

– первый, от 147 до 133 млн лет, представленный крупными полифазными массивами монцодиоритов, сиенит-порфиров и сиенитов;

– второй, от 128 до 122 млн лет, представленный дайками щелочных эгирин-авгитовых сиенитов и кварцевых сиенитов.

Вопрос о включении ороченского комплекса в единый остается спорным и нуждается в дополнительных исследованиях. Имеющиеся изотопно-геохронологические датировки пород ороченского комплекса оставляют пока не совсем ясным возраст его кристаллизации.

Полученные новые данные свидетельствуют о принадлежности мезозойских щелочных пород ЦАР к единому магматическому процессу. Образования верхнеселигдарского, алданского, лебединского, колтыконского, нижнекуранахского, тобукского и эльконского комплексов объединены авторами в один многофазный алданский монцонит-сиенитовый комплекс ($\mu\xi J_3$–$K_1\alpha$), сохраняя за ним исторически сложившееся название.

1. *Билибин Ю.А.* Петрография Алдана. Послеюрские интрузии Алданского района // Избранные труды. Т. 1. – М.: Наука, 1958. – С. 264–406.

2. *Билибин Ю.А.* Петрология Ыллымахского интрузива // Избранные труды. Т. 2. – М.: Наука, 1958. – С. 5–198.

3. *Билибина Т.В., Дашкова А.Д.* и др. Петрология щелочного вулканогенно-интрузивного комплекса Алданского щита (мезозой). – Л.: Недра, 1967. – 264 с.

4. *Богатиков О.А., Рябчиков И.Д., Кононова В.А.* и др. Лампроиты. – М.: Недра, 1991. – 302 с.

5. *Казанский В.И., Максимов Е.П.* Геологическая позиция и история формирования Эльконского урановорудного района (Алданский щит, Россия) // Геология рудных м-ний. 2000. Т. 42. № 4. – С. 212–230.

6. *Кононова В.А.* и др. Геохимия и условия формирования калиевых магматических пород Центрального Алдана // Геохимия. 1994. № 7. – С. 937–955.

7. *Кононова В.А.* и др. Мезозойский калиевый магматизм Центрального Алдана: геодинамика и генезис // Геотектоника. 1995. № 3. – С. 35–46.

8. *Молчанов А.В., Шатов В.В., Терехов А.В.* и др. Эльконский золото-урановый узел (Юж. Якутия) (основные черты геологического строения, петрографо-геохимические особенности гидротермально-метасоматических образований и рудоносность) // Регион. геология и металлогения. 2012. № 50. – С. 80–101.

9. *Первов В.А.* и др. Новые данные по K-Ar возрасту изверженных пород Томмотского вулкано-плутонического комплекса (Центральный Алдан) // Докл. АН СССР. 1991. Т. 321. № 2. – С. 349–352.

10. *Парфенов Л.М.* и др. Тектоника восточной части Монголо-Охотской складчатой системы и природа сопряженных с ней зон мезозойской тектоно-магматической активизации Алдано-Становой области // Тихоокеанская геология. 1983. № 2. – С. 26–33.

11. *Ремизов Д.Н.* Островодужная система Полярного Урала (петрология и эволюция глубинных зон). – Екатеринбург, 2004. – 222 с.

12. *Ремизов Д.Н., Шишкин М.А., Григорьев С.И.* и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000 (цифровое издание). Серия Полярно-Уральская. Лист Q-42-XVI (г. Хордъюс). Объясн. записка. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2014. – 233 с.

13. *Хотина Е.Б., Жежель О.Н., Ромм Г.М.* Кайнозойские отложения Алдано-Амгинского стратотипического района Южной Якутии // Кайнозойский седиментогенез и структурная геоморфология СССР. – Л., 1987. – С. 44–51.

14. *Шатов В.В., Молчанов А.В., Шатова Н.В.* и др. Петрография, геохимия и изотопное (U-Pb и Rb-Sr) датирование щелочных магматических пород Рябинового массива (Юж. Якутия) // Регион. геология и металлогения. 2012. № 51. – С. 62–78.

15. *Шнай Г.К., Орлова М.П.* Новые данные о геологии и золотоносности Ыллымахского массива (Центральный Алдан) // Геология и геофизика. 1977. № 10. – С. 57–65.

16. *Boynton W.V.* Cosmochemistry of the rare earth elements: meteoritic studies / P. Henderson (Ed.) // Rare Earth Elements Geochemistry. Amsterdam: Elsevier, 1984. P. 63–114.

17. *Sun S.S., McDonough W.F.* Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. Geol. Soc. London. Spec. Publ. 1989. Vol. 42. P. 313–345.

Рис. 6. Катодолюминесцентные изображения изученных цирконов из щелочных магматических пород ЦАР и диаграммы $^{206}Pb/^{238}U$ – $^{207}Pb/^{235}U$ с конкордиями

а – сиенит-порфир (алданский комплекс); *б* – порфировый сиенит (алданский комплекс); *в* – эксплозивная брекчия шонкинитового состава (тобукский комплекс); *г* – сиенит (алданский комплекс); *д* – сиенит (лебединский комплекс)

1. Bilibin U.A. Petrography of the Aldan. Post-Jurassic intrusions of Aldan area. *Selected Works.* Vol. 1. Moscow: Nauka. 1958, pp. 264–406. (In Russian).

2. Bilibin U.A. Petrology of the Yllymah block. *Selected Works.* Vol. 2. Moscow: Nauka. 1958, pp. 5–198. (In Russian).

3. Bilibina T.V., Dashkova A.D. et al. Petrologiya shchelochnogo vulkanogenno-intruzivnogo kompleksa Aldanskogo shchita (mezozoj) [Petrography of alkaline volcanic-intrusive complex of the Aldan (Mesozoic era)]. Leningrad: Nedra. 1967, pp. 264.

4. Bogatikov O.A., Rjabchikov I.D., Kononov V.A. et al. *Lamproity* [lamproites]. Moscow: Nedra. 1991. 302 p.

5. Kazansky V.I., Maksimov E.P. The geological position and the history of the formation of the Elkon uranium ore district (Aldan shield, Russia). *Geologiya rudnyh mestorozhdenij.* 2000. Vol. 42, No 4, pp. 212–230. (In Russian).

6. Kononova V.A. et al. Geochemistry and conditions of formation of potassic igneous rocks of the Central of Aldan. *Geohimiya.* 1994. No 7, pp. 937–955. (In Russian).

7. Kononova V.A. et al. Geochemistry and conditions of formation of potassic igneous rocks of the Central of Aldan. *Geohimiya*. 1994. No 7, pp. 937–955. (In Russian).

8. Molchanov A.V., Shatov V.V., Terehov A.V. et al. Elkon uranium-gold unit (South. Yakutia) (the basic features of the geological structure, petrographic and geochemical characteristics of hydrothermal-metasomatic formations and ore). *Regional'naya geologiya i metallogeniya*. 2012. No 50, pp. 80–101. (In Russian).

9. Pervov V.A. et al. New data on the K-Ar age of igneous rocks Tommot volcano-plutonic complex (Central Aldan). *Dokl. RAN*. 1991. Vol. 321. No 2, pp. 349–352. (In Russian).

10. Parfenov L.M. et al. Tectonics of the eastern part of the Mongol-Okhotsk fold system and the nature of the zones associated with it Mesozoic tectonic and magmatic activity becomes an area of Aldan-Pacific. *Tihookeanskaya geologiya.* 1983. No 2, pp. 26–33. (In Russian).

11. Remizov D.N. Ostrovoduzhnaya sistema Polyarnogo Urala (petrologiya i ehvolyuciya glubinnyh zon) [Island-arc system of the Polar Urals (petrology and evolution of deep zones)]. Ekaterinburg. 2004. 222 p.

12. Remizov D.N., Shishkin M.A., Grigoriev S.I. et al. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1 : 200 000 (cifrovoe izdanie). Seriya Polyarno-Ural'skaya. List Q-42-XVI (g. Hord"yus). Ob"yasn. zapiska. [State Geological Map of the Russian Federation, scale of 1 : 200 000. Sheet Q-42-XVI (digital edition). Series Polar Urals. (t. Hordyus). Explanatory Note]. – St. Petersburg: Cartographic factory. 2014. 233 p.

13. Khotina E.B., Zhezhel O.N., Romm G.M. Cenozoic deposits of Aldan-Amga stratotype region of South Yakutia. *Cenozoic sedimentogenesis and structural geomorphology of the USSR.* Leningrad. 1987, pp. 44–51. (In Russian).

14. Shatov V.V., Molchanov A.V., Titov N.V. et al. Petrography of, geochemistry and isotope (U-Pb and Rb-Sr) dating of alkaline igneous rocks Rowan array (Yuzh. Yakutiya). *Regional'naya geologiya i metallogeniya*. 2012. No 51, pp. 62–78. (In Russian).

15. Shnay G.K., Orlova M.A. New data on the geology and gold mineralization Yllymakh block (Central Aldan). *Geologiya i geofizika*. 1977. No 10, pp. 57–65. (In Russian)

16. *Boynton, W.V.* 1984: Cosmochemistry of the rare earth elements: meteoritic studies. *In* P. Henderson (Ed.) Rare Earth Elements Geochemistry. Amsterdam: Elsevier. 63–114.

17. *Sun, S.S., McDonough, W.F.* 1989: Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geol. Soc. London. Spec. Publ. Vol. 42.* 313–345.

Кукушкин Константин Александрович – аспирант, инженер I кат., ВСЕГЕИ [1]. <konstantin_kukushkin@vsegei.ru>
Молчанов Анатолий Васильевич – доктор геол.-минер. наук, зав. отделом, ВСЕГЕИ. <anatoly_molchanov@vsegei.ru>
Радьков Александр Владимирович – ст. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ [1]. <alexander_radkov@vsegei.ru>
Шатов Виталий Витальевич – канд. геол.-минер. наук, зам. ген. директора по науке, ВСЕГЕИ [1]. <vitaly_shatov@vsegei.ru>
Терехов Артем Валерьевич – канд. геол.-минер. наук, ст. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ [1]. <artem_terekhov@vsegei.ru>
Шатова Надежда Витальевна – аспирант, вед. инженер, ВСЕГЕИ [1]. <shatova_nadejda88@list.ru>
Хорохорина Елена Ивановна – вед. инженер, ВСЕГЕИ [1]. <elena_horohorina@vsegei.ru>
Ремизов Дмитрий Николаевич – доктор геол.-минер. наук, вед. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ [1]. <Dmitry_Remizov@vsegei.ru>

Kukuschkin Konstantin Aleksandrovich – Postgraduate Student, Engineer, VSEGEI [1]. <konstantin_kukushkin@vsegei.ru>
Molchanov Anatoly Vasilievich – Doctor of Science (Geology), Head of the Department, VSEGEI [1]. <anatoly_molchanov@vsegei.ru>
Radkov Alexander Vladimirovich – Senior Research Fellow, VSEGEI [1]. <alexander_radkov@vsegei.ru>
Shatov Vitaly Vasilievich – Candidate of Sciences (Geology), VSEGEI [1]. <vitaly_shatov@vsegei.ru>
Terekhov Artem Valerievich – Candidate of Sciences (Geology), VSEGEI [1]. <artem_terekhov@vsegei.ru>
Shatova Nadezda Vitalievna – Postgraduate Student, Engineer, VSEGEI [1]. <shatova_nadezda88@list.ru>
Khorokhorina Elena Ivanovna – Lead Engineer, VSEGEI [1]. <elena_khorohorina@vsegei.ru>
Remizov Dmitry Nikolaevich – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, VSEGEI [1]. <dmitry-remizov@vsegei.ru>

[1] Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ). Средний пр., 74, Санкт-Петербург, 199106, Россия.
A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 74, Sredny Prospect, St. Petersburg, 199106, Russia