

Роль изотопной геохронологии в стратиграфии неморского мела (на примере Охотско-Чукотского вулканогенного пояса)

И.Н. Котляр¹, И.Л. Жуланова², Т.Б. Русакова³

Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН,
685000 Магадан, ул. Портовая, 16 г

¹igor-kotlyar@yandex.ru, ²metamor@neisri.ru, ³vpk41@mail.ru

Определение возраста меловых континентальных толщ Охотско-Чукотского вулканогенного пояса традиционно базировалось на анализе таксономического состава выделенных в них флористических комплексов (горизонтов, стратофлор) – буор-кемюсского, арманского, чаунского, аркагалинского [Самылина, 1987; Белый, 1994]. Другие методы – палеомагнитный и геохронометрический – принимались во внимание, если не противоречили данным палеофлористики.

Мезофитные комплексы (буор-кемюсская стратофлора) сменяются мезо-кайнофитными (арманская, чаунская, амкинская – карамкенская стратофлоры), а последние – специфическим эндемичным аркагалинским комплексом. Эта последовательность закреплена в решениях 2-го и 3-го Межведомственных региональных стратиграфических совещаний по Северо-Востоку России и подтверждается Rb-Sr и K-Ar определениями изотопного возраста [Решения..., 1978, 2009; Котляр, Русакова, 2004].

Привязка к международной стратиграфической шкале долгие годы базировалась на гипотезе о более молодом возрасте гребёнкинской стратофлоры Анадырско-Корякского региона относительно арманской, чаунской и аркагалинской флор Охотско-Чукотского пояса [Решения..., 1978; Самылина, 1987; Белый, 1997]. Учитывая, что время формирования отложений с гребёнкинской флорой по их соотношению со слоями с морской фауной определяется как поздний альб – ранний турон [Терехова, 1988], а слои с арманской и чаунской флорами залегают выше слоев с ранне-среднеальбской буор-кемюсской флорой, арманская и чаунская флоры считались позднеальбскими, а аркагалинская – сеноманской. При этом стратиграфические соотношения между отложениями Анадырско-Корякской складчатой системы и Охотско-Чукотского вулканогенного пояса оставались

неизвестны, и представление о залегании слоев с гребёнкинской флорой выше вулканитов Охотско-Чукотского пояса основывалось исключительно на ее таксономическом составе [Самылина, 1987].

Тогда же Г.Г. Филиппова [1975, 2009] высказала альтернативную точку зрения об одновозрастности гребёнкинской и арманской флор, и, соответственно, позднеальбском – раннетуронском возрасте последней. Аркагалинская флора, как наиболее молодая в Охотско-Чукотском поясе, датировалась ею как сенонская [Филиппова, 2009].

В 1990-х годах между ведущими палеоботаниками был достигнут консенсус: принят позднеальбский или позднеальбско-сеноманский возраст арманской флоры и сенонский – аркагалинской [Белый, 1997; Белый, Белая, 1998; Герман, 1999; Лебедев, 1992; Щепетов, 1995; Филиппова, 1997]. Возраст же чаунской флоры, заключенной в вулканитах одноименной серии, на основании особенностей ее видового состава считался сеноманским [Щепетов, 1995], турон-коньякским [Герман, 1999; Филиппова, 2001] или верхнеальбским [Белый, 1997]. В качестве обоснования верхнеальбского возраста В.Ф. Белый [2008, с. 68] в дальнейшем указывал, что «в геосинклинальных прогибах Анадырско-Корякского региона <...> распространены альбские и альб-сеноманские отложения, особенности литологии которых позволяют предполагать их связь с развитием вулканизма чаунской серии».

В последние годы происходит ревизия возраста флор, опирающаяся, с одной стороны, на находки в мезо-кайнофитных сообществах большой группы кайнофитных покрытосеменных, с другой – на результаты изотопного датирования вулканитов (Ar/Ar метод и U/Pb SHRIMP цирконометрия). Так как по цирконам в большинстве случаев определяется сенон, тот же возраст

приписывается вмещающим вулканитам и флорам, более молодым, чем буюр-кемюсская (см. таблицу).

Огромное значение для пересмотра сложившихся представлений о возрасте флор, помимо геохронометрических данных имеет утверждение В.Ф. Белого и С.В. Щепетова о сонахождении на одном стратиграфическом уровне мезокайнофитных и кайнофитных флор – арманской и чинганжинской [Щепетов, 1995]. По существу это означает, что фитостратиграфический метод для «среднемелового» интервала теряет свое значение. И действительно, В.Ф. Белый [1994] считал чинганжинскую и арманскую (а так же чаунскую) флоры верхнеальбскими, тогда как другие исследователи – верхнетуронскими – коньякскими [Головнёва и др., 2011; Щепетов, Герман, 2014]. Поскольку в центральной и северной частях Охотско-Чукотского вулканогенного пояса отложения, вмещающие названные комплексы, слагают до 80% его объема, актуальность возникшей проблемы очевидна.

Следует отметить, что представления В.Ф. Белого [1994], С.В. Щепетова [1995], Л.Б. Головнёвой и др. [2011] не являются общепризнанными. Так, в результате геологосъемочных и картосоставительских работ [Легенда..., 1999; Михайлова и др., 1999; Государственная геологическая карта..., 2008] установлено, что отложения с арманской (аликской) флорой локализованы в нижней части разреза Охотско-Чукотского пояса, а с чинганжинской – в верхней.

Сегодня господствует мнение об одновозрастности кардинально различающихся по видовому составу арманской и чинганжинской флор (верхний турон) и более молодом (коньяк) возрасте чаунской флоры [Головнёва и др., 2011; Щепетов, Герман, 2014].

Так как возраст буюр-кемюсского комплекса, содержащегося в инициальных отложениях Охотско-Чукотского пояса, во всех схемах остается ранне-среднеальбским, а нижняя граница вышележащих толщ стала датироваться поздним туроном – коньяком, в истории развития пояса возник перерыв примерно в 10 млн л., что соизмеримо с общей длительностью его формирования (см. таблицу). Фактически этим ставится под сомнение целостность Охотско-Чукотского вулканогенного пояса как геологической структуры. И хотя данные о соотношении слоев с буюр-кемюсской флорой со слоями, несущими арманскую и чаунскую флоры, противоречат такому выводу, требуется дополнительное обоснование возраста региональных флор. Прежде всего, в специальном обсуждении нуждаются результаты датирования вулканитов Ag/Ag и U/Pb (по цирко-

нам) методами, которые, собственно, и породили обсуждаемую проблему.

Известно, что изотопные системы могут сохраняться закрытыми, а могут – становиться открытыми (нарушаться под воздействием наложенных процессов). Авторы публикаций, на которые ссылаются палеоботаники, априори рассматривают все системы как закрытые [Акинин, Миллер, 2011; Tikhomirov et al., 2012; и др.], что на самом деле далеко не очевидно [Жуланова и др., 2007].

Разницу между двумя подходами продемонстрируем на конкретном примере. В образце V-10 из ольской свиты [Акинин, Миллер, 2011, табл. 6] в 10 зернах циркона получены $^{206}Pb/^{238}U$ датировки (млн л.): 91,3; 90,1; 84,7; 83,5; 81,5; 80,6; 78,9; 78,2; 73,7; 70,4. Интерпретация в рамках закрытой системы предполагает вычисление среднего, которое и признается за время кристаллизации цирконов. Однако большой размах дат (турон – маастрихт) вынуждает авторов, дабы добиться приемлемых статистических показателей, отбросить две максимальные и одну минимальную даты и рассчитать среднее из оставшихся семи, которое и принято за возраст пород (80,4±2,1 млн л., кампан). Мы же рассматриваем весь ряд значений с позиций открытой системы и считаем, что максимальная (реликтовая) дата приближена к истинному геологическому возрасту вулканитов (строго говоря, ко времени кристаллизации акцессорного циркона), а минимальная – к моменту преобразования его изотопной системы. Другими словами, мы констатируем, что кристаллизация циркона состоялась не позже чем 91,3 млн л. н., а нарушение изотопной системы произошло 74–70 млн л. н. (промежуточные значения отражают частичные потери радиогенного Pb и геологического содержания не несут).

Другим ярким примером разницы в подходах может служить определение возраста риолитов пыкарваамской свиты. П.Л. Тихомиров с соавторами для образца То-5-66 получили 10 датировок цирконов (млн л.): 96,0; 90,9; 90,5; 90,5; 89,7; 89,2; 87,2; 85,8; 84,9; 84,6. Возраст пород рассчитан по четырем наиболее молодым как 85,11±0,81 млн л. (коньяк), а более древние без какой-либо аргументации отнесены к захваченным зернам либо глубинным первовыведениям [Tikhomirov et al., 2012]. На наш взгляд, возраст этих цирконов – не моложе 96 млн л., а около 85 млн л. н. их изотопные системы были нарушены.

Еще один некорректный прием – пересчет измеренных отношений $^{206}Pb/^{238}U$ исходя из предположения о согласованности (конкордантности) датировок по изотопным системам $^{206}Pb/^{238}U$ и

Таблица

Изотопный возраст вулканитов Охотско-Чукотского вулканогенного пояса и время нарушения изотопных систем

Ярус	Возраст, млн лет	Горизонт [Белый, 2008]	Возраст, млн лет				Время нарушения				Флора, фитогоризонт							
			U/Pb (максимум)	Rb/Sr (изохронный)	K/Ar (реликтовые даты)	Ar/Ar	Ar/Ar, Rb/Sr	U/Pb (минимум)	K/Ar	[Шелетов, Герман, 2013]	[Головнёва, 2013]	[Филиппова, 2009]						
Маастрихт	66.0																	
Кампан	72.1																	
Сантон	83.6																	
Коньяк	86.3	Аркагалинский																
Турон	89.8																	
Сеноман	93.9	Аркинский																
Альб	100.5	Арманский Чаунский																
	113.0	Буор-кемюсский																

Примечания. Буор-кемюсский горизонт: ¹саламихинская свита (Ar/Ar [4, fig. 4e], K/Ar [2, табл. 4.2]). Арманский и чаунский горизонты: ²нараулийская свита (U/Pb, Ar/Ar [1, рис. 2/2], K/Ar [2, табл. 4.2]); ³пучеевская свита (U/Pb [4, tab. 1, N T05-31]); ⁴нижнееропольская (аунейская) свита, (U/Pb [4, tab. 1, NN 04-418, 04-558]); ⁵чаунская серия: пыкарваамская свита (U/Pb [4, tab. 1, N T05-3-66]), альяквунская (кытапкайская) свита (Rb/Sr [2, рис. 4.13, изохрона 1]), альяквунская и воронынская свиты (K/Ar [2, табл. 4.2], дациандезит-риодацитовая формация в целом (K/Ar [2, рис. 4.4]); верхнееропольская, кытапкайская свиты (Ar/Ar [4, fig. 4a,e]). Амкинский горизонт: ⁶хольчанская свита (U/Pb [3, рис. 4]); хольчанская и шороховская свиты (Rb/Sr [2, рис. 4.2, 4.7], K/Ar [2, табл. 4.2]). Аркагалинский горизонт: ⁷эмунарэетская свита (U/Pb [4, tab. 1, N T05-93-1], K/Ar, Ar/Ar [2, табл. 4.8]); ⁸мыгдыкитская свита (U/Pb [1, табл. 3, обр. KA524-7a], Rb/Sr [2, рис. 5.3], мыгдыкитская и энмываамская свиты (K/Ar, Ar/Ar [2, табл. 4.8]). **Ссылки:** [1] – Акинин, Миллер, 2011; [2] – Котляр, Русакова, 2004; [3] – Котляр и др., 2013; [4] – Tikhomirov et al., 2012.

Значения возраста и ошибки ($\pm 2\sigma$) по техническим причинам округлены до целых. Хронология мелового периода по IUGS на январь 2013.

$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ (т.е. закрытости обеих). При этом разница измеренного и скорректированного значений может быть существенной. Так, в обоснование возраста арманской флоры в литературу вошло число 92 ± 2 млн л. (турон), тогда как измеренная датировка составила 97 ± 2 млн л. (ранний сеноман) [Котляр и др., 2013]. Кроме того, скорректированные датировки сглаживают неоднородности возрастного ряда – первый показатель того, что система нарушена. К сожалению, технология анализа такова, что заказчик (не ведая об этом) получает, как правило, конкордантный возраст по скорректированным данным.

Как видим, между расчетами по моделям закрытых и открытых систем разница в возрасте может достигать 10 млн л., а в некоторых случаях – 15–20 млн л. (см. таблицу). Она-то и определяет расхождение возраста флор в схемах, с одной стороны, В.Ф. Белого [2008], с другой – А.Б. Германа [2011], С.В. Щепетова и А.Б. Германа [2013, 2014], Л.Б. Головнёвой [2013], Г.Г. Филипповой [2009]. В этом же причина того, что U/Pb датировки вулканитов по цирконам расходятся с Rb/Sr , Ar/Ar , K/Ar [Котляр и др., 2013].

Интерпретация результатов изотопного датирования с позиций закрытых систем, на которую опираются палеоботаники, оставляет много вопросов. Прежде всего, удивляет разница в продолжительности формирования сходных по составу и флористической характеристике толщ. Так, огромный объем игнимбригов пегтымельской серии (чаунская флора) в Пегтымельском прогибе Центральной Чукотки излился якобы почти мгновенно ($88,6 \pm 2,1$ – $87,9 \pm 0,9$ млн л. н., по Ar/Ar и U/Pb данным в [Tikhomirov et al., 2012, фиг. 4, разрез а]), тогда как восточнее, аналогичные игнимбриги лишь одной пучевеумской свиты, так же содержащие чаунскую флору, накапливались в интервале $103 \pm 1,2$ – $94,1 \pm 2,1$ млн л. [Ibid., разрез б]. Южнее, в Анадырском секторе Охотско-Чукотского пояса, игнимбриги еропольской толщи (с чаунской или однотипной ей аунейской флорой [Головнёва, Щепетов, 2013]), формировались по U/Pb данным в интервале $97,95$ – $88,6$, по Ar/Ar – $93,7$ – $84,2$ млн л. н. [Tikhomirov et al., 2012, разрез е]. На Восточной Чукотке риолиты амгеньской свиты (чаунская флора) [Ibid., рис. 3, площадь г] по U/Pb данным извергались с $88,1 \pm 1,2$ до $67,0 \pm 1,0$ млн л. Другими словами, согласно совокупности этих датировок, чаунская флора существовала с верхнего альба по сантон, а, возможно, и маастрихт.

Не менее крупные противоречия возникают при интерпретации изотопных данных с позиций закрытых систем и для западных и центральных

частей Охотско-Чукотского вулканогенного пояса [Котляр и др., 2013]. В частности, получается, что в центре Ульинского прогиба андезитовые и кислые толщи, составляющие более 90% его объема, формировались в течение 20 млн л., тогда как на западном фланге – менее чем 10 млн л. В Охотском секторе андезиты основания Охотско-Чукотского пояса оказываются моложе прорывающих их интрузий (соответственно 92–85 и 99 млн л.), а кровля андезитовой толщи – моложе подошвы вышележащей риодацитовой (см. [Акинин, Миллер, 2011, рис. 2]).

Таким образом, интерпретация изотопных данных с позиций закрытых систем противоречит (1) установленным геологическим соотношениям, (2) специфике формирования вулканических толщ, (3) палеонтологическим данным. С позиций же разработанного нами подхода удалось согласовать результаты U/Pb SHRIMP цирконометрии и других изотопно-геохронологических методов – Rb/Sr , Ar/Ar , K/Ar (см. таблицу). В итоге интервалы накопления вулканитов Охотско-Чукотского пояса и захороненной в них флоры представляются следующими (млн л. н.):

слои с буор-кемюсской флорой – 110–105 (средний альб);

слои с арманской флорой – 105–100 (верхний альб);

слои с чаунской флорой – около 100 (альб – сеноман);

слои с карамкенской флорой – около 100 (альб–сеноман).

Нарушение изотопных систем происходило около 85–80 млн л. н., в сантоне – кампане.

Эта геохронометрическая последовательность согласуется с новейшими палеоботаническими исследованиями, свидетельствующими о более раннем возрасте арманских флор относительно чаунских и одновозрастности последних с карамкенской флорой [Щепетов, Герман, 2013].

Слои с усть-эмунарэртской флорой накапливались 93–90 млн л. н. (турон), а с аркагалинской – 86–80 млн л. н. (коньяк – кампан). Нарушение изотопных систем происходило около 80 млн л. н. Существенный временной разрыв ставит под сомнение одновозрастность усть-эмунарэртской и аркагалинской флор, предполагаемую в работах [Белый и др., 1997; Герман, 2011].

* * *

Геохронометрические исследования, проведенные в лабораториях разных стран (Россия, США, Япония) позволили определить возраст вулканических пород такой огромной структуры, как Охотско-Чукотский вулканогенный пояс, с помощью всех доступных на сегодня изо-

топных методов: K/Ar, Ar/Ar, Rb/Sr, U/Pb SHRIMP цирконометрии. На основе предложенного подхода впервые в практике геохроно-

логических работ согласованы разнотипные изотопные датировки, стратиграфические и палеоботанические данные.

Литература

- Акинин В.В., Миллер Э.Л. Эволюция известково-щелочных магм Охотско-Чукотского вулканогенного пояса // Петрология. – 2011. – Т. 19. – №3. – С. 249–290.
- Бельий В.Ф. Геология Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1994. – 76 с.
- Бельий В.Ф. К проблеме фито-стратиграфии и палеофлористики среднего мела Северо-Восточной Азии // Стратигр. Геол. корреляция. – 1997. – Т. 5. – №2. – С. 51–59.
- Бельий В.Ф. Проблемы геологического и изотопного возраста Охотско-Чукотского вулканогенного пояса // Стратигр. Геол. корреляция. – 2008. – Т. 16. – №6. – С. 64–75.
- Бельий В.Ф., Белая Б.В. Поздняя стадия развития Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (верхнее течение р. Энмываам). – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998. – 108 с.
- Герман А.Б. Меловая флора Анадырско-Корякского субрегиона (Северо-Восток России): систематический состав, возраст, стратиграфическое и флорогенетическое значение. – М.: ГЕОС, 1999. – 122 с. (Тр. ГИН РАН. Вып. 529).
- Герман А.Б. Альбская – палеоценовая флора Северной Пацифики – М.: ГЕОС, 2011. – 280 с. (Тр. ГИН РАН. Вып. 592).
- Головнёва Л.Б. Новые данные о поздне-меловых флорах Ульинского прогиба (Западное Приохотье) // Палеоботаника. – 2013. – Т. 4. – С. 148–167.
- Головнёва Л.Б., Щепетов С.В. Аузейский флористический комплекс из верхнемеловых отложений Охотско-Чукотского вулканогенного пояса // Палеоботаника. – 2013. – Т. 4. – С. 96–115.
- Головнёва Л.Б., Щепетов С.В., Алексеев П.И. Чинганжинская флора (поздний мел, Северо-Восток России): систематический состав, палеоэкологические особенности и стратиграфическое значение // Чтения памяти А.Н. Криштофовича. – 2011. – Вып. 7. – С. 37–61.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации (третье поколение). Верхне-Кольская серия. Лист Р-56 (Сеймчан) / В.М. Кузнецов, С.В. Жигалов. – СПб.: Картофабрика ВСЕГЕИ. – 2008. – 1 л.
- Жуланова И.Л., Русакова Т.Б., Котляр И.Н. Геохронология и геохронометрия эндогенных событий в мезозойской истории Северо-Востока Азии. – М.: Наука, 2007. – 358 с.
- Котляр И.Н., Русакова Т.Б. Меловой магматизм и рудоносность Охотско-Чукотской области: геолого-геохронологическая корреляция. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН. – 2004. – 152 с.
- Котляр И.Н., Русакова Т.Б., Жуланова И.Л. Актуальные вопросы геохронометрии и петрологии Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. По поводу статьи В.В. Акинина и Э.Л. Миллера «Эволюция известково-щелочных магм Охотско-Чукотского вулканогенного пояса» (Петрология, Т. 19. № 3. С. 249–290) // Уральский геолог. журн. – 2013. – №4 (94). – С. 7–35.
- Лебедев Е.Л. Меловые флоры Северо-Востока Азии // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1992. – №4. – С. 85–96.
- Легенда Магаданской серии Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:200000 (2-е изд.) / П.Н. Аноров, Ю.М. Бычков, Н.И. Караваева и др. – Магадан. – 1999. – 110 с.
- Михайлова В.П., Михайлов Б.К., Григорьев С.И. Расчленение и картирование поздне-меловых магматических образований Восточной части Хасынской вулканической дуги. – Магадан: СевВостНИЦМИС, 1999. – 80 с.
- Решения 2-го Межведомственного регионального стратиграфического совещания по докембрию и фанерозою Северо-Востока СССР (стратиграфические схемы). – Магадан, 1978. – 122 с.
- Решения Третьего Межведомственного регионального стратиграфического совещания по докембрию, палеозою и мезозою Северо-Востока России (Санкт-Петербург, 2002) / Т.Н. Корень, Г.В. Котляр (ред.). – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. – 268 с.
- Самылина В.А. Этапы развития флоры Северо-Востока Азии в меловом периоде // Бот. журн. – 1987. – Т. 72. – №4. – С. 417–426.
- Терехова Г.П. О возрасте кривореченской свиты и гребёнкинского флористического комплекса // Стратиграфия и палеонтология фанерозоя Северо-Востока СССР. – Магадан: СВКНИИ ДВО АН СССР, 1988. – С. 100–117.
- Филиппова Г.Г. Ископаемые покрытосеменные из бассейна р. Армань // Ископаемые флоры Дальнего Востока. – Владивосток: БПИ ДВНЦ АН СССР. – 1975. – С. 60–75.
- Филиппова Г.Г. Стратиграфия и возраст континентальных отложений бассейна реки Амгуэма и северного побережья залива Креста // Колыма. – 1997. – № 2. – С. 12–23.
- Филиппова Г.Г. Стратиграфия и возраст континентальных отложений Центральной и Восточной Чукотки // Тихоокеан. геология. – Т. 20. – №1. – 2001. – С. 85–99.
- Филиппова Г.Г. О возрасте меловых флористических комплексов Верхояно-Охотско-Чукотского региона (Северо-Восток Азии) // Вестник СВНЦ ДВО РАН. – 2009. – № 2. – С. 14–22.
- Щепетов С.В. Стратиграфия континентального мела Северо-Востока России. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1995. – 123 с.
- Щепетов С.В., Герман А.Б. Холоховчанский флористический комплекс позднего мела Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (Северо-Восток Азии) // Палеоботаника. – 2013. – Т. 4. – С. 116–147.
- Щепетов С.В., Герман А.Б. Проблемы стратиграфии континентального мела Северо-Востока Азии // Меловая система России и ближнего зарубежья: проблемы стратиграфии и палеогеографии. Сб. научн. тр. / Под ред. Е.Ю. Барабошкина, В.С. Маркевич, Е.В. Бугдаевой, М.А. Афонина, М.В. Черепановой. – Владивосток: Дальнаука, 2014. – С. 331–335.
- Tikhomirov P.L., Kalinina E.A., Moriguti T., Maki-shima A., Kobayashi K., Cherepanova I.Yu., Nakamura E. The Cretaceous Okhotsk-Chukotka Volcanic Belt (NE Russia): Geology, geochronology, magma output rates, and implications on the genesis of silicic LIPs // Journal of Volcanology and Geothermal Research. – 2012. – Vol. 221–222. – P. 14–32.