

ПИРОМЕТАМОРФИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ КАЙНОЗОЙСКИХ ОРОГЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ: МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НА ПРИМЕРЕ ЗОНЫ ПЕРЕХОДА ОТ САЛАИРА К КУЗБАССУ

И.С. Новиков, Э.В. Сокол, А.В. Травин, С.А. Новикова

Институт геологии и минералогии СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Коптюга, 3, Россия

Кайнозойские пирометаморфические комплексы, возникновение которых обеспечила энергия древних угольных пожаров, широко распространены на стыках горных сооружений и бассейнов обрамления. Масштабные пожары сопровождают ранние стадии орогенеза, когда в зону аэрации массово выводятся свежие угленосные толщи. Для пирогенных явлений характерно широкое развитие процессов полного или частичного плавления протолита. Минералогический состав новообразованных плавленых пород (паралав) благоприятен для изотопного датирования времени возгораний, генетически связанных с началом каждого эпизода новейших орогенных событий. Изложен алгоритм $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирования пирометаморфических пород и последующей геологической интерпретации результатов. Исследование осуществлено на примере объектов западной окраины Кузбасса.

Датирование паралав выполнено методом ступенчатого прогрева с привлечением минералогических критериев идентификации источников аргона (на основе изотопов, образовавшихся в процессе облучения быстрыми нейтронами на Са, Cl и К), а также внутренних (методы возрастного плато и изохронной регрессии) и внешних критериев („критерии пары“, геологический и стратиграфический контроль) достоверности изотопного возраста. Методом $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирования получены две группы датировок пирогенных событий, отвечающие интервалам 1.2 ± 0.4 и 0.2 ± 0.3 млн лет. Первая группа возрастов тяготеет к западной границе Прокопьевско-Киселевского блока Присалаирской зоны, а вторая — к восточной, фиксируя время обновления его взбросовых границ в ходе новейшей активизации и присоединения этого блока к Салаирскому кряжу в качестве предгорной ступени. Предлагаемый подход к выбору объектов исследования, типизации пород и интерпретации данных $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирования универсален и имеет перспективы практического использования в любом регионе, где развиты аналогичные геологические комплексы.

Пирометаморфические комплексы, паралавы, клинкеры, геохронология, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирование, неотектоника, Кузбасс.

SIGNATURE OF CENOZOIC OROGENIC MOVEMENTS IN COMBUSTION METAMORPHIC ROCKS: MINERALOGY AND GEOCHRONOLOGY (example of the Salair-Kuznetsk Basin transition)

I.S. Novikov, E.V. Sokol, A.V. Travin, and S.A. Novikova

Cenozoic CM or combustion metamorphic (CM) complexes produced by fossil prehistoric natural coal fires are widespread at range-basin junctions worldwide. Large-scale fires accompany the initial orogenic phases as fresh coal-bearing strata become drawn into the aeration zone as a result of crustal deformation. In combustion metamorphism, the protolith melts to different degrees either into ferrous basic paralava or in glassy clinker. The melt rocks have a phase composition favorable for $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of ignition coeval with the onset of each episode in Late Cenozoic orogenic events. We suggest an algorithm providing correct $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age determination of CM rocks followed by well-grounded geological interpretation and test the new approach on melt rocks from the Kuznetsk coal basin.

Paralava samples were dated by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ incremental heating, and the isotope ratios were corrected for Ca-, Cl-, and K-derived Ar isotopic interferences. The interpretation of age-spectrum results was checked against internal and external criteria. The former were plateau and isochrone ages, and the latter included the so-called “couple criterion” and conventional relative ages inferred from geological and stratigraphic evidence. As a result, we distinguished two groups of dates for combustion metamorphic events bracketed between 1.2 ± 0.4 and 0.2 ± 0.3 Ma. The older ages represent rocks at the western edge of the Prokopievsk-Kiselevsk block of the Salair zone, and the younger dates correspond to those at its eastern edge. The reported dates record the time when the fault boundaries of the blocks were rejuvenated during recent activity and the block accreted to the Salair orogenic area as a submontane step. The suggested approach to the choice of objects, classification of rocks, and interpretation of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ spectra is universal and can be practiced in any area of combustion metamorphism.

Combustion metamorphic complexes, paralava, clinker, geochronology, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating, neotectonics, Kuznetsk coal basin

ВВЕДЕНИЕ

Хронология новейших орогенных событий Центрально-Азиатского горного пояса остается в настоящее время еще во многом дискуссионным вопросом. Наиболее признанной на сегодня моделью вовлечения данной территории в процессы новейшего орогенеза является „модель домино“ [Добрецов и др.,

1995], базирующаяся на допущении того, что активизация линейных мобильных зон Центральной Азии под воздействием Индо-Евразийской коллизии происходила последовательно и возраст новейших орогенов скачкообразно омолаживается в направлении на северо-восток по мере удаления от коллизионного фронта. При тектонических реконструкциях мезозойского и раннекайнозойского орогенеза успешно используется метод трекового датирования [De Grave et al., 2006, 2007]. Определение времени новейших орогенных событий сопряжено со значительными сложностями. Традиционно для их датирования используются кайнотипные базитовые породы [Ярмолюк и др., 1994, 1998; Ярмолюк, Коваленко, 2003]. Однако большая часть территории Алтае-Саянской области лишена новейших магматических образований. Возраст начала главной фазы последнего орогенеза в регионе реконструируется также по времени появления красноцветных грубообломочных моласс в предгорных шлейфах. На основании того, что формирование красноцветов в Центральной Азии прекратилось после установления в плейстоцене холодного и сухого климата, этим осадкам приписывается позднеорогеновый (доплейстоценовый) возраст. В таком подходе присутствует порочный круг, поскольку рост гор привязывается к похолоданию, которое само в данных широтах связано с оледенением в процессе роста гор [Molnar, England, 1990]. Таким образом, возможности датировок новейших тектонических событий в этом обширном регионе ограничены, тогда как потребность в них крайне высока. Детализация представлений о времени и последовательности событий кайнозойской активизации этой обширной внутриконтинентальной территории наиболее адекватно может быть выполнена путем изотопно-геохронологического исследования пород, появление которых генетически связано с процессами новейшего орогенеза.

В поисках объектов, пригодных для определения абсолютного возраста новейших орогенных событий, нам удалось найти таковые и выделить в их составе группы пород, перспективные для $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирования [Новиков, Сокол, 2007; Сокол и др., 2007]. Этими объектами являются пирометаморфические комплексы или комплексы горелых пород, формирующиеся на ранних этапах отдельных фаз орогенных движений в пределах деформируемой периферии предгорных бассейнов. Они характерны для обрамления новейших горных сооружений по всему миру. В Центральной Азии они обнаружены в обрамлении Тянь-Шаня (Джунгарская, Ферганская, Иссык-Кульская впадины), на Памиро-Алае, в Кендерлыкской и Кузнецкой впадинах [Саидов, 1956; Калугин и др., 1991; Пирогенный..., 2005]. В 2006 г. в ходе наших исследований пирогенные комплексы были обнаружены также в межгорных впадинах Алтая.

Угольные пласты в первичном залегании не способны гореть из-за отсутствия притока кислорода. Поэтапное захватывание периферических частей впадин в поднятие в ходе роста горных сооружений является характерной особенностью всех новейших горных областей Центральной Азии, в том числе Алтае-Саянской [Новиков, 2004]. Морфотектонические исследования показывают, что процесс вовлечения угленосных осадков впадин в поднятие проходит в несколько стадий. На первой стадии на некотором отдалении от хребта выдавливаются узкие пластины — форберги, а на последующей — вся отделенная ими полоса поднимается, образуя предгорные ступени. При этом осадки попадают в зону аэрации, оказываются выше уровня грунтовых вод, испытывают тектонические напряжения, сопровождаемые дроблением, истиранием и дегазацией углей и рассекаются эрозионными ложбинами. Эти факторы создают предпосылки для горения угольных горизонтов и возникновения высокотемпературных пород — паралав и клинкеров [Пирогенный..., 2005]. Принципиально важно, что высокотемпературные очаги горения возникают только как немедленный отклик системы на тектоническое событие. После экспозиции угольных пластов они либо возгораются, либо выветривание целиком уничтожает горючую массу угля за сотни—первые тысячи лет. Попадая на земную поверхность, уголь неизбежно начинает адсорбировать кислород, который вступает с ним во взаимодействие с образованием нестойких пероксидных соединений, а позднее воды, CO_2 и CO . Этот процесс детально изучен в угольной геологии и углехимии и носит название окислительной дезактивации топлива [Гапеев, 1949; Кухаренко, 1960; Кольцов, Попов, 1978]. При недостатке кислорода и малой теплоотдаче этот процесс может переходить в тление, и только свежий уголь способен гореть. Именно поэтому датировки пирогенных пород соответствуют начальным фазам конкретных тектонических событий.

Целью данной статьи является иллюстрация возможностей метода $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирования для определения возраста пирогенных пород и реконструкция на этой основе времени неотектонических событий на западной окраине Кузнецкой впадины. По имеющимся геолого-геоморфологическим данным (сохранность коры выветривания, характер эрозионного расчленения, мощность предгорных шлейфов), эта территория вовлекалась в новейший орогенез позднее основных горных систем Алтае-Саянской области, что позволяет использовать полученные для нее датировки неотектонических событий как верхний возрастной рубеж начала основной орогенной фазы для всей области в целом.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ГЕОМОРФОЛОГИЯ ПРИСАЛАИРСКОЙ ЗОНЫ

В ландшафте Присалаирской зоны (Прокопьевско-Киселевский район) отчетливо проявлена пространственная и генетическая связь между процессами развития геологического основания, геоморфологи-

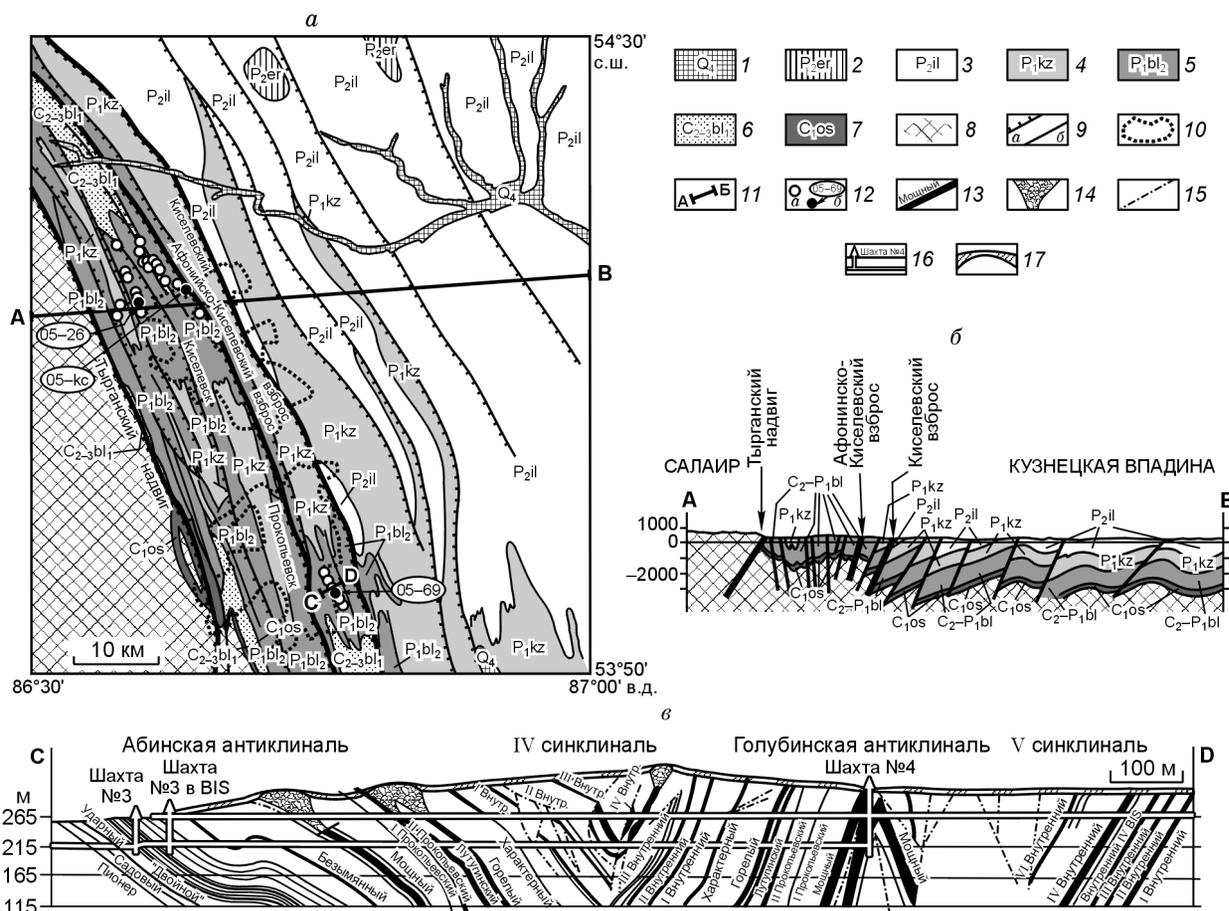


Рис. 1. Фрагмент геологической схемы Прокопьевско-Киселевского района Присалаирской зоны деформаций (а) и разреза по линии А—В (б) (по данным среднемасштабной геологической съемки) с вынесенными точками наблюдения пирометаморфических комплексов. Детальный геологический разрез по линии С—D, построенной по маркшейдерским материалам [Крупенинников, 1935] (в).

1 — аллювиальные отложения речных долин, 2—6 — подсерии: 2 — ерунаковская, 3 — ильинская, 4 — кузнецкая, 5 — верхнебалахонская, 6 — нижнебалахонская; 7 — острогская свита; 8 — породы фундамента Кузнецкой впадины; 9 — главные разрывные нарушения: а — на схеме, б — на разрезе; 10 — территория населенных пунктов; 11 — линии разрезов; 12 — точки наблюдения (а) и отбора проб на абсолютное датирование (б); 13 — угольные пласты и их названия; 14 — пирометаморфические комплексы; 15 — разрывные нарушения; 16 — горные выработки; 17 — покровные отложения.

ческой эволюцией территории и событиями пирометаморфизма. В позднепалеозойскую орогенную эпоху в этой зоне произошло вдавливание Салаирского блока в пределы Кузнецкой впадины, сопровождавшееся сминанием угленосных осадков в узкие, часто запрокинутые, складки и формирование системы взбросов, осложняющих складчатую структуру и имеющую простирание плоскостей сместителей, аналогичное простиранию осей складок (рис. 1). В эпоху кайнозойского орогенеза произошло обновление краевых взбросов мезозойской разломной системы и формирование серии субмеридионально ориентированных ступеней, имеющих промежуточную высоту между горными сооружениями Салаира и равниной Кузнецкой впадины. Тектонические деформации обусловили выход на поверхность серии мощных угольных пластов. Пространственно она совпадает с Прокопьевско-Киселевским районом угледобычи. Выше нее по направлению к Салаиру расположена предгорная ступень Салаирского кряжа. Она возвышается над первой предгорной ступенью, переходной к Кузнецкой впадине примерно на 80 м, отделяясь от нее отчетливым уступом, известным в местной топонимике под именем Тырган. Он связан с разломом, испытавшим обновление в новейшее время и носящим название Тырганский взброс. Слагающие данную ступень породы относительно однородны по степени устойчивости к денудации, и она имеет вид ничем не примечательного слабовсхолмленного плато, изрезанного поперечными логами. Абсолютные высоты земной поверхности к западу от Тыргана составляют 440—460 м, а к востоку понижаются до 320—350 м.

Примыкающая к Тыргану ступень, переходная к Кузнецкой впадине и отделенная от нее Афонинско-Киселевским взбросом, также обновленным в позднекайнозойское время, имеет весьма необычную

морфологию, обусловленную резко неоднородными физическими свойствами слагающих ее пород. Не затронутые пожаром осадки легко разрушаются, а горельники, напротив, весьма устойчивы к денудации. Рельеф формируют протяженные субпараллельные гряды холмов и грив, целиком сложенных высоко-температурными горелыми породами. В долинах рек и ручьев они обрываются, образуя живописные скалы. Многие сопки и гряды горельников имеют собственные названия — Долгий Камень, Черкасский Камень, Тайбинские и Соколиные горы, горы Глядень и Караул. Как правило, независимо от элементов залегания угленосной толщи, эти холмы имеют крутые и обрывистые южный и западный склоны.

Ширина Присалаирского комплекса достигает 5—6 км, а общая его протяженность — 45—50 км. Ориентировка гряд целиком задается залеганием выгоревших угольных пластов. В субширотном направлении эту территорию дренируют притоки р. Аба (бассейн Томи). Междуречные пространства имеют вид субширотно-вытянутых увалов. Продольные профили долин плохо выработанные, повсеместно проявлен донный размыв, встречаются порожистые участки. Поперечные профили основных долин корытообразные за счет наличия двух цокольных террас (обычно 8 и 15 м над урезом воды), образующих уплощенное днище. Поперечные профили боковых притоков V-образные. Речная сеть имеет выраженный решетчатый плановый рисунок, образуемый за счет заложения водотоков по двум основным направлениям: северо-восточному в соответствии с основным уклоном местности (от Салаира к Кузнецкой впадине) и юго-восточному, совпадающему с простираемостью осей складок и разрывных нарушений. Характер врезания долин однозначно указывает на относительную недавность (ориентировочно среднечетвертичное) поднятие территории вдоль разломной границы с центральной частью Кузнецкой впадины. Притырганская полоса, по-видимому, была вовлечена в деформации раньше (в раннечетвертичное время), поскольку Тырганский уступ в значительной степени изменен процессами денудации, а первая и вторая надпойменные террасы пересекают его, непрерывно прослеживаясь из Салаира в Кузбасс.

Над поверхностью плоских междуречных пространств, гряды горелых сопки возвышаются на 60—80 м, редко на 120 м [Крупенинников, 1935]. До начала массовой карьерной добычи каменных углей Прокопьевско-Киселевского района, отдельные гряды горелых пород непрерывно протягивались на 3—5 км [Бутов, Яворский, 1922].

Хотя современные угольные пожары в этом районе возникают регулярно, их масштабы не идут ни в какое сравнение с грандиозными пожарами древности. Комплексы горелых сопки, учитывая высокую степень их препарировки денудацией, темпы которой в данной местности невелики, представляют собой достаточно древние образования. Судя по перекрытию их лессовидными суглинками, возраст формирования крупных пирогенных комплексов как минимум допозднечетвертичный. Принципиально важный факт был отмечен еще П.И. Бутовым, В.И. Яворским [1922], угольные пожары не опускались ниже отметок 3.5—5 м над уровнем дна речных долин. Поскольку лимитирующим фактором заглупления пожара является положение зеркала грунтовых вод [Эйхвальд, 1864; Cosca et al., 1989; Пирогенный..., 2005], можно утверждать, что Присалаирский пирогенный комплекс сформировался в тот период времени, когда эрозионный врез долин был на несколько метров выше современного. Еще одним свидетельством достаточно древнего возраста этих пожаров является мощность и характер делювиальных отложений, перекрывающих разрезы горелых пород. В логах между горелыми сопками обычны пролювиальные отложения мощностью до 6 м, в составе которых преобладают фрагменты слабoproкаленных метапелитов и тонкодисперсный материал их гипергенного преобразования. Отложения имеют специфический цвет (рыжий или розовый), типичный для приповерхностных горельников. По нашим оценкам, базирующимся на анализе общегеологической ситуации (ориентировочного времени смены кайнозойских бурозветных моласс на серозветные), в северной части Алтае-Саянской области наиболее древние возгорания могли происходить в период от 0.8 до 3 млн лет.

ТИПЫ ПИРОМЕТАМОРФИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ПРИСАЛАИРСКОЙ ЗОНЫ

В Кузбассе пирогенные породы распространены неравномерно, но достаточно широко. Они имеют столь характерный облик, что были правильно диагностированы уже первыми исследователями этого района [Бутов, Яворский, 1922; Яворский 1924; Яворский, Бутов, 1927]. Максимальной интенсивности древние пожары достигли в Присалаирской полосе дислоцированных угленосных отложений балахонской серии. С продвижением к центру бассейна (области распространения верхнепермских и юрских угленосных толщ) интенсивность пожаров резко снижается. Таковы, в частности, обнажения горельников в правом борту р. Томь в окрестностях г. Новокузнецк, на правом берегу р. Иня у дер. Коновалово, в долине р. Чесноковка. В ходе полевых работ 2005—2006 гг. авторами были обследованы 22 площади развития горелых пород в центре Кузбасса, а также на его западной и южной окраинах. По соотношению с рельефом и петрографическому составу они подразделяются на три группы: молодые, комплексы промежуточного возраста и древние. Возгорания, связанные с деятельностью человека, и современные пожары в этом ряду не рассматриваются.

Молодые пирогенные комплексы имеют очаговый характер, площади их развития варьируют от нескольких десятков до нескольких сот квадратных метров, мощность — от 3 до 20 м. Располагаются преимущественно в бортах речных долин, на глубину ограничены в своем распространении уровнем первой речной террасы, локализованы среди пологопадающих осадочных толщ. Хорошо распознаются по характерному ярко-красному цвету, обусловленному пропиткой пород тонкодисперсным гематитом. Во вмещающем их разрезе сохраняются и вышележащие, и подстилающие горелый горизонт осадочные породы. Преобладают легко разрушающиеся пирогенные породы слабой степени преобразования (так называемые желтый и розовый горельники). Структуры обрушения и связанные с ними плавленые породы локальны или вообще отсутствуют. Фрагменты горелых пород обильны в делювиальных отложениях, перекрывающих эти комплексы. Однако глинистые отложения характерного розового цвета, возникающие в ходе глубокого физико-химического преобразования материала горельников, в данном случае отсутствуют. Разрез перекрывается маломощными горизонтами бурых суглинков (до 0,3 м) и современными почвами. Молодые комплексы не выражены в рельефе. Они наиболее характерны для областей распространения слабодислоцированных верхнепермских и юрских отложений центральной части бассейна, в отдельных точках отмечены на юго-западной окраине.

Комплексы промежуточного возраста занимают площади в тысячи квадратных метров, образуют самостоятельные ландшафтные элементы (сопки или гряды холмов). Верхние горизонты пирогенных пород, а также угленосные осадки окружения целиком удалены эрозией. Непосредственно обнажаются породы средней степени термического преобразования (преобладают клинкеры, сохраняющие текстурный рисунок протолита). Их мощность составляет 5—15 м. Глубина зоны выветривания достигает 6 м. Ниже расположены многочисленные очаги высокотемпературных возгораний с брекчиями и плавлеными породами. Делювий содержит обильные фрагменты горелых пород. В логах между грядами горельников существуют отдельные участки развития розовых глин, переотложенных продуктов химического выветривания клинкеров. Пирогенные породы нередко перекрыты бурыми покровными суглинками мощностью до 3—5 м и современными почвами. Примерами таких комплексов являются Абинские сопки в г. Прокопьевск и в излучине р. Кондома близ дер. Малиновка.

Древние пирогенные комплексы формируют наиболее характерные формы рельефа в Прокопьевско-Киселевском районе. Субпараллельные гряды и цепочки сопок, сложенные горельниками, непрерывно простираются на 0,5—1,5 км при ширине 50—70 м. Пирогенные породы представлены исключительно высокотемпературными разностями, преобладают брекчии обрушения и взрыва, широко распространены продукты полного или частичного плавления протолита. В логах, разделяющих сопки, развит делювий из горелых пород мощностью до 3—6 м. Значительная часть материала горельников полностью преобразована процессами выветривания и превращена в характерную розоватую глину.

Основное внимание уделялось изучению площадей высокотемпературных и глубоко эродированных пирогенных пород, поскольку именно они перспективны для поиска очагов древних возгораний, инициированных нетектонической активизацией. К этой категории в первую очередь относятся мощные горизонты горельников Прокопьевско-Киселевского района, сосредоточенные в пределах блока, отсеченного поперечными разломами, совпадающими с долинами рек Тугай и Калзыгай. Серия субпараллельных региональных разломов прослеживается здесь в направлении, согласном с общим простиранием пород. Два из них, Тырганский и Афонинско-Киселевский взбросы, ограничивают этот блок с запада и востока. Мелкие оперяющие разломы ориентированы к ним субперпендикулярно и осложняют общий структурный рисунок. Прямые геологические наблюдения и GPS-съемка позволили установить непосредственную приуроченность большинства крупных возгораний (как современных, так и древних) к зонам субмеридиональных разломов (см. рис. 1). Таков, в частности, тектонический блок, расположенный между Соколиными горами на востоке и дер. Октябринка на западе, где сосредоточены четыре наиболее крупные и протяженные гряды пирометаморфических пород. Температуры здешних пожаров, по петрологическим реконструкциям, могут быть оценены как превышавшие 1000 °С. Это обеспечило условия для возникновения устойчивых к денудации мощных горизонтов плотно спеченных и оплавленных клинкеров и брекчий. На западном склоне одной из гряд горельников длиной 1,2 км обнаружен прямой тектонический контакт между ними и неизменными осадками. Глинистые и углистые сланцы в зоне контакта раздроблены. Между осадочными породами и горельниками (реже в самих горельниках) существуют глубокие открытые трещины. Общее направление тектонического контакта отчетливо трассируется на местности, поскольку он является областью истечения горячих газов современного подземного пожара.

В целом в изученной полосе, при сохранении общего простирания пирогенных пород, области выгорания угольных пластов расположены пятнами. Угли могли выгорать как непрерывно на расстоянии 1—3 км, так и очагами — на площади не более нескольких сотен квадратных метров. Сопоставление данных 1916—1920 гг. и наблюдений 2005—2006 гг. позволяет утверждать, что на одной из сопок Соколиных гор уже в XX в. произошло возгорание угольного пласта, не уничтоженного ранее древним пожаром. Подобные ситуации в Присалаирской зоне не редкость, и продукты современных подземных

пожаров регулярно приходится наблюдать в зонах развития древних горельников. Повторный прогрев сразу же омолаживает изотопный возраст пород, поэтому необходим тщательный анализ геологической ситуации при отборе образцов для датирования.

При выгорании крупных скоплений угля (ядра антиклиналей или пласты повышенной мощности) обычно возникали так называемые карманы. Породы кровли над выгоревшими участками могли обрушаться непосредственно в процессе пожара. К аналогичным последствиям приводили взрывы газугольной смеси. Поэтому пирогенные брекчии, сложенные фрагментами клинкеров, спеченными между собою или цементированными паралавами, распространены здесь повсеместно. Часто обрушение сводов не приводило к полному заполнению карманов породой. Оставшееся пространство заполнялось грунтовыми водами, которые при проходке прорывались в забой вместе с фрагментами горельников [Яворский, Радугина, 1932].

Пожары неизменно распространялись от кровли к подошве угольного пласта, что определялось режимом поступления кислорода в зону горения. Неоднократно приходилось наблюдать расположение высокотемпературных оплавленных пород над непреобразованными угленосными осадками, лежащими в основании холмов. Эта характерная особенность взаимоотношений пирогенных пород и протолита, отмеченная для десятков угольных пожаров по всему миру, сохраняется и в Кузбассе [Бутов, Яворский, 1922; Пирогенный..., 2005].

Таким образом, строение пирогенных комплексов Присалаирской зоны Кузбасса типично для метаморфических образований этого рода и характеризуется четкой вертикальной зональностью. Клинкеры умеренной степени преобразования венчают современный разрез и перекрывают высокотемпературные породы, возникшие в заглубленных очагах. Очаговую зону неизменно слагают разнообразные брекчии обрушения и взрыва. Обломочный материал брекчий представлен почти исключительно клинкерами, возникшими по песчаникам и аргиллитам (алевролитам). Размер фрагментов варьирует от 5—10 до 50—70 см. Клинкеры остеклованные, фарфоровидные, иногда со следами оплывания и пластических деформаций, что указывает на значительную степень плавления вещества и свидетельствует об их преобразовании при температуре, превышавшей 1000 °С [Ventor et al., 1981; Пирогенный..., 2005]. При наличии в исходном разрезе сидеритов локально возникают плавленые породы, обогащенные железом паралавы, цементирующие фрагменты клинкеров. В участках наиболее высоких температур формируются кордиеритовые паралавы с отчетливыми теневыми структурами ассимиляции фрагментов метапелитовых пород. Иногда роль связующего материала в пирогенных брекчиях играют шлаки, возникшие при частичном плавлении песчаников с карбонатным цементом. Однако чаще всего приходится наблюдать прочносваренные между собой в монолит фрагменты самих клинкеров. Нижние контакты горельников с угленосными осадками в обнажениях удалось наблюдать только дважды. Горельники располагаются непосредственно над сохранившимся угольным пластом, который только в самой верхней своей части (30—60 см) несет следы термических преобразований (выглядит более плотным и имеет более яркий блеск). Ниже этого уровня видимых следов термического воздействия не наблюдается.

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПИРОГЕННЫХ ПОРОД ПРИСАЛАИРСКОГО КОМПЛЕКСА

Поскольку угленосную толщу, помимо углей, слагают преимущественно пелитовые породы, в разрезе горельников преобладают клинкеры. Продукты термического преобразования карбонатных пород редки, за исключением специфических рудных обособлений, возникших при обжиге сидеритов. Вместе с тем присутствие сидеритового материала способствовало возникновению многочисленных очагов локального плавления железистых паралав.

Клинкеры — оплавленные метапелитовые породы составляют основу большинства комплексов горелых пород [Пирогенный..., 2005]. В Присалаирской зоне они представляют собой прочные, плотные, вязкие породы обычно светло-серого, палевого, красноватого, редко светло-сиреневого цвета, обладают раковистым изломом и ярким блеском (рис. 2). Подобно бухитам [Ревердатто, 1970; Grapes, 1986; Schreyer et al., 1990], клинкеры среднетемпературной стадии обжига (T до 800—900 °С) наследуют текстурные особенности протолита, в частности, рисунок слоистости и отдельности. В составе брекчий обрушения и взрыва (возникших при выгорании газонасыщенных углей в дислоцированных участках — в ядрах мелких антиклинальных складок, вблизи трещин срыва, в зонах дробления и истирания и т. п.) степень плавления материала клинкеров была максимальной. Пирогенные породы целиком утрачивают первичный текстурный рисунок, приобретая совершенно неповторимый облик. Фрагменты клинкеров выглядят глянцевыми, фарфоровидными (вследствие массового остеклования) или же приобретают рисунок, напоминающий кольца Лизиганга. В составе брекчий фрагменты клинкеров сварены между собой в монолит. В Кузбассе высокотемпературные фокусы пожаров легко распознаются по характеру спека. Фрагменты клинкеров оплывают, утрачивают угловатые очертания и сливаются в агрегат, где границы индивидуальных блоков уже трудно различимы. Иногда удается обнаружить и пластично деформированные фрагменты. Таким образом, граница между этой группой клинкеров и продуктами полного плавления



Рис. 2. Внешний облик клинкеров Кузбасса.

a — высокотемпературный клинкер, возникший в результате частичного плавления и остеклования песчаника; концентрически-зональный рисунок, имитирующий кольца Лизиганга, обусловлен неравномерным распределением тонкодисперсного гематитового пигмента (Абинские сопки, г. Прокопьевск); *б* — куски остеклованных клинкеров, сваренные в единый монолит, — свидетельство экстремально высоких температур и значительной длительности пожара; подобные породы характерны для заглубленных подземных очагов (район дер. Октябрьинка); *в*, *г* — клинкеры пожара в районе дер. Малиновка; *в* — фарфоровидные клинкеры в естественном залегании — результат послойного плавления горизонтов аргиллитов и алевролитов, *г* — фрагменты клинкеров, испытавшие пластические деформации, указывают на высокую степень плавления вещества протолита; количество стекла в таких породах достигает 80 %.

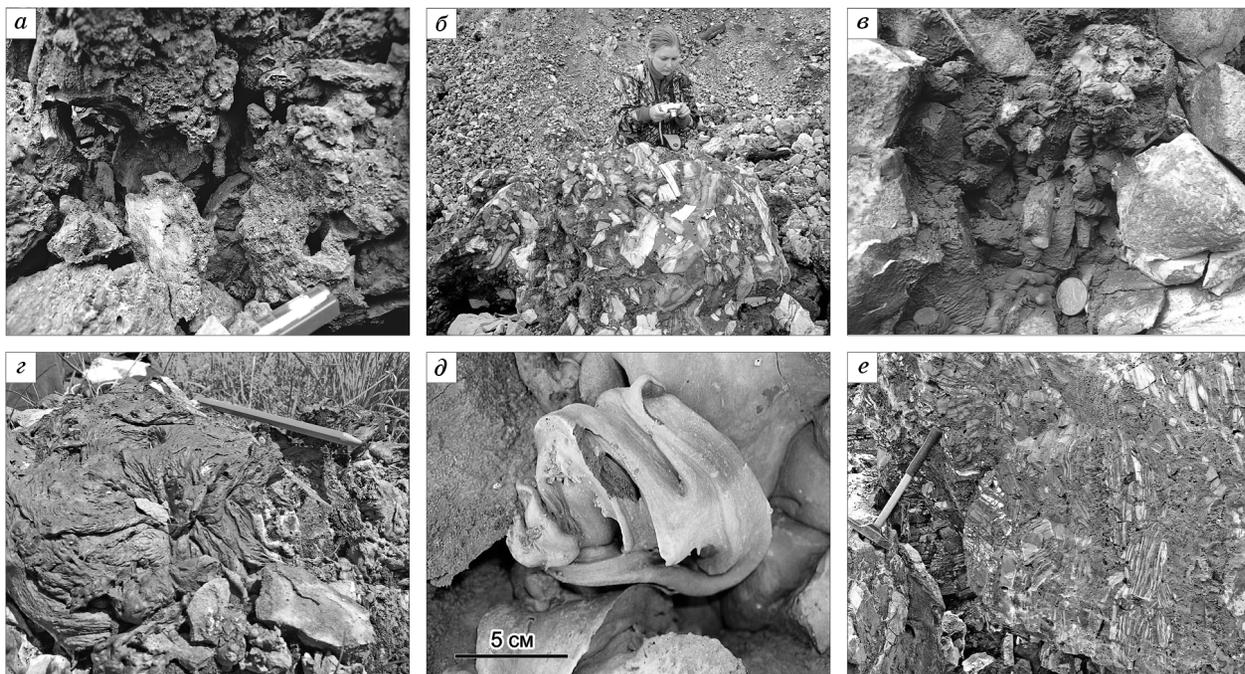


Рис. 3. Внешний облик паралав Кузбасса.

а–в — паралавы района Соколиных гор: *а* — натеки и сосульки паралавы, цементирующей пирогенные брекчии, *б* — массивная темно-серая кордиеритовая паралава, цементирующая в разной степени ассимилированные фрагменты клинкеров, *в* — натеки черных железистых паралав, возникших в результате плавления сидеритовых конкреций, загрязненных пелитовым материалом; отчетливо видна гофрированная поверхность застывшего расплава; *г* — гофрированная поверхность паралав — свидетельство резкой закалки маловязкого расплава (район дер. Коновалово); *д* — причудливые морфологические формы паралавы, образовавшейся в результате выдавливания расплава в пространство между фрагментами клинкеров (дер. Малиновка); *е* — массивная кордиеритовая паралава, цементирующая в разной степени ассимилированные фрагменты клинкеров (дер. Малиновка).

Таблица 1. Химический состав (мас.%) представительных образцов клинкеров древних угольных пожаров Кузбасса

Компонент	05-КС-09	05-23-19	05-25-4	05-26-1	05-69-3	05-73-1	05-73-6	05-78-2	05-78-6	05-78-7	05-78-11
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO ₂	71.46	71.48	70.90	70.97	73.52	70.10	69.98	73.33	70.96	74.53	75.04
TiO ₂	0.90	0.94	0.97	0.93	0.72	0.94	0.88	0.71	0.68	0.67	0.70
Al ₂ O ₃	18.21	19.57	19.55	20.00	17.08	19.05	18.64	15.43	17.64	17.68	17.60
Fe ₂ O ₃	1.91	0.88	1.05	1.40	1.83	1.74	2.18	6.57	4.90	1.06	1.03
MnO	0.12	0.12	0.12	0.13	0.13	0.13	0.13	0.16	0.14	0.12	0.12
MgO	0.46	0.35	0.48	0.75	0.43	0.41	0.43	0.30	0.28	0.66	0.58
CaO	0.51	0.42	0.58	0.42	0.57	0.43	0.46	0.54	0.34	0.41	0.20
Na ₂ O	0.66	1.25	0.97	0.68	0.86	0.70	1.29	0.96	1.95	0.44	0.87
K ₂ O	3.47	3.49	3.65	3.68	3.15	3.83	3.60	1.48	2.06	3.47	3.41
P ₂ O ₅	0.14	0.10	0.11	0.16	0.14	0.10	0.09	0.08	0.13	0.10	0.10
П.п.п	2.29	1.44	1.68	0.90	1.63	2.67	2.41	0.47	0.96	0.89	0.36
Сумма	100.12	100.05	100.08	100.02	100.06	100.11	100.10	100.01	100.02	100.04	100.02

Примечание. Клинкеры: 1 — Соколиных гор, 2 — Гряды брекчий, 3, 4 — окрестностей дер. Октябрька, 5 — Абинских сопкок (г. Прокопьевск), 6, 7 — горы Караул, 8—11 — из района дер. Малиновка, 2, 7 — с унаследованной текстурой песчаников, 8—11 — возникшие по аргиллитам и алевролитам.

осадочного протолита (паралавами) становится в значительной мере условной. По наблюдениям [Bentor et al., 1981], сделанным на пожарах Калифорнии, клинкеры способны сохранять угловатую форму и первичный текстурный рисунок вплоть до температуры 1000 °С. Затем степень их плавления становится настолько велика, что они деформируются под собственным весом. Итак, текстурные особенности клинкеров позволяют уже в полевых условиях выделить очаги высокотемпературных возгораний.

Клинкеры Кузбасса преимущественно развиты по аргиллитам, алевролитам и песчанникам с глинистым или карбонатным цементом. Их валовые химические составы достаточно однообразны, характерно устойчиво высокое содержание K₂O (1.5—3.7 мас.%) на фоне низкой концентрации CaO (0.3—2.0 мас.%) (табл. 1). С точки зрения пригодности этих пород для изотопной геохронологии их состав, безусловно, является благоприятным. Фазовый состав клинкеров отражает как тип протолита, так и степень его термической переработки. В изученной коллекции преобладают стекловатые разности пород, что указывает на их преобразование при температурах, превышающих температуру выплавления сухих кварц-полевошпатовых эвтектик [Shairer, 1950; Bentor et al., 1981; Grapes, 1986; Пирогенный..., 2005]. Количество стекла существенно различается в разных образцах. Обнаружены преимущественно стекловатые разности, породы с тонко девитрифицированными и локально развитыми стеклами. Кристаллические фазы различаются по своей природе. Кварцевые зерна целиком унаследованы от обломочной фракции пелитов. Ни в одном из исследованных образцов клинкеров не удалось обнаружить сохранившихся зерен обломочных полевых шпатов. Материал слоистых силикатов также преобразуется полностью, выступая основным источником расплавов. Оба эти обстоятельства благоприятны для использования данной группы пород для ⁴⁰Ar/³⁹Ar-датирования времени пирогенных событий. Новообразованные высокотемпературные минералы клинкеров в основном представлены закалочными фазами, в число которых входят, прежде всего, кордиерит, тридимит, кристобалит, магнетит, муллит, шпинель, резе ильменит и гематит. Размерность, морфология и количество кристаллитов преимущественно контролируются режимом охлаждения пород. Средние размеры кристаллитов 0.5—10 мкм, максимальные — 50 мкм, их общее количество обычно не превышает 20—30 об.%. Иногда имеет место пропитка образцов более поздним тонкодисперсным гематитом.

Паралавы — пирогенные силикатные плавненные породы (рис. 3), не имеют массового распространения среди горельников Присалаирской полосы Кузбасса. Исключение составляет комплекс, находящийся на юго-западе бассейна близ дер. Малиновка, где из-за высокого содержания в терригенных породах сидеритовых конкреций генерация пирогенных расплавов была массовой. В большинстве своем паралавы приурочены к зонам высокотемпературных брекчий обрушения (рис. 4), занимающих по степени распространенности промежуточное положение между клинкерами и паралавами.

Можно выделить три основных типа паралав, различающиеся по облику, химическому и минеральному составам (табл. 2). Первый тип — это паралавы и железистые шлаки, возникающие *in situ* в результате декарбонатизации, вспенивания и плавления сидеритовых конкреций, загрязненных пелитовым материалом. Визуально они напоминают базальтоиды или вулканические шлаки. Их общее количество редко превышает 5—10 об.%. Общее содержание в них железа (в пересчете на Fe₂O₃) может достигать 39 мас.%. Чаще всего они встречаются в горельниках Соколиных гор и на сопках, тянущихся

Таблица 2.

Химический состав (мас.%) представительных образцов паралав и шлаков
древних угольных пожаров Кузбасса

Компо- нент	05-КС-10	05-КС-12	05-КС-32-1	05-КС-32	05-КС-20	05-23-5	05-26-3	05-69-4-1	05-69-4-3	05-78-1	05-78-4	05-78-9
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂	67.48	68.14	27.21	59.98	68.47	66.85	70.58	66.83	65.99	68.68	75.05	65.59
TiO ₂	0.74	1.11	0.72	0.48	0.77	0.49	0.92	0.64	0.68	0.82	0.67	0.88
Al ₂ O ₃	15.60	19.08	27.34	11.78	16.84	13.30	20.57	16.08	16.15	17.42	17.36	14.91
Fe ₂ O ₃	10.93	5.57	39.38	12.85	7.82	4.06	1.24	7.32	7.66	6.87	1.04	5.51
MnO	0.17	0.14	0.25	0.18	0.15	0.13	0.12	0.14	0.14	0.14	0.13	0.15
MgO	1.54	0.36	0.10	1.12	0.31	2.78	0.67	0.44	0.63	0.49	0.70	2.24
CaO	0.57	0.73	2.09	9.90	0.50	8.52	0.41	5.23	5.10	0.56	0.39	6.10
Na ₂ O	0.41	0.33	0.00	0.50	0.96	1.01	0.21	0.85	1.13	1.57	0.32	1.46
K ₂ O	1.65	3.36	0.35	1.47	2.62	2.12	3.62	2.17	2.12	3.01	3.48	2.34
P ₂ O ₅	0.07	0.09	1.80	0.82	0.13	0.19	0.09	0.11	0.12	0.15	0.10	0.14
П.п.п.	0.87	1.14	0.70	0.94	1.51	0.57	1.66	0.19	0.29	0.31	0.79	0.70
Сумма	100.04	100.06	99.95	100.01	100.09	100.02	100.10	100.01	100.02	100.01	100.02	100.03

Примечание. Плавленые породы из районов: 1—5 — Соколиных гор, 6 — Гряды брекчий, 7 — дер. Октябрька, 8, 9 — Абинских сопок (г. Прокопьевск), 10—12 — дер. Малиновка. 1, 2, 7—12 — паралавы, 3 — шлак, 4 — ошлакованная паралава, 5 — порода, переходная от клинкеров к паралавам, 6 — паралава по ошлакованному песчанику. Фазовый состав пород: 1 — кордиерит, тридимит, шпинель, обломочный кварц, стекло с микролитами муллита, 2 — кордиерит, алюмосодержащий титаномагнетит, ильменит, гематит, глиноземистый клиноферросилит, тридимит, кристобалит, стекло с микролитами муллита; 3 — шпинель, кордиерит, тридимит; стекло с микролитами муллита, 4 — алюмогеденбергит, плагиоклаз (битовнит-лабрадор), кристобалит, тридимит, железистые шпинелиды, обломочный кварц, стекло с микролитами муллита, 5 — кордиерит, тридимит, железистые шпинелиды, ильменит, обломочный кварц, стекло с микролитами муллита, 6 — плагиоклаз, клинопироксен, тридимит, шпинель, обломочный кварц, стекло с микролитами муллита, 7 — кордиерит, тридимит, кристобалит, титаномагнетит, ильменит, микрокристы клинопироксена, стекло с микролитами муллита(?), 8, 9 — тридимит, кордиерит, глиноземистый клиноферросилит, плагиоклаз, глиноземистый титаномагнетит, обломочный кварц, стекло с микролитами муллита, 10 — шпинель, кордиерит, обломочный кварц, стекло с микролитами муллита, 11 — железистые шпинелиды, стекло, 12 — плагиоклаз (битовнит-лабрадор), глиноземистый пжонит, тридимит, глиноземистый титаномагнетит, кордиерит, обломочный кварц, стекло.

вдоль р. Аба в г. Прокопьевск. Механизм появления железистых выплавок аналогичен реконструированному ранее для рудных паралав кендерлыкского пирогенного комплекса [Калугин и др., 1991] и техногенных парабазальтов Челябинского угольного бассейна [Шарьгин и др., 1999; Sokol et al., 2002].

В горельниках близ деревень Малиновка, Октябрька и на Соколиных горах были изучены продукты закалки перемещенных силикатных расплавов. Эти паралавы формируют отдельные мелкие прожилки темных шлакоподобных пород мощностью до 5 см, цементирующие брекчий, образуют в пустотах сосульки („сталактиты“), а также своеобразные фигурные формы (напоминающие пирожные „Безе“), возникшие при выдавливании в пустоты более вязких и быстрозатвердевающих расплавов. Содержание Fe₂O₃ в них существенно понижается (6—12 мас.%) на фоне роста концентраций CaO (5—10 мас.%) и MgO (1.1—2.8 мас.%), содержание которых в большинстве изученных нами горелых пород Кузбасса не превышает десятых долей процента. На этом основании можно предполагать образование данного типа паралав за счет плавления субстрата, имеющего наряду с пелитовым материалом карбонаты Ca, Mg и Fe либо анкерит.

Потеки этих паралав имеют гофрированную поверхность, что свидетельствует о достаточно низкой вязкости пирогенных расплавов в момент их генерации, а также о высокой скорости их охлаждения. Вслед за И.А. Калугиным с соавторами [1991] мы использовали ориентировку сосуллек для определения посттермических деформаций. В горельниках Соколиных гор и угольного карьера в северной части Прокопьевско-Киселевской зоны они неизменно ориентированы вертикально. Это позволяет утверждать, что после этапа пирогенных событий залегание горельника в пределах данного тектонического блока не нарушалось. Однако в шахтах были обнаружены многометровые вертикальные смещения горелых пластов [Геология..., 1969], что напрямую свидетельствует о новейших тектонических подвижках, последовавших уже после одной из волн пожаров. Таким образом, геологические данные позволяют уверенно говорить о одновременности возгораний на смежных территориях.

Третий тип паралав возникал в зонах наиболее высокотемпературного преобразования брекчий. Здесь происходило массовое плавление материала клинкеров в присутствии незначительного количества сидеритового флюса. Содержание Fe₂O₃ в этих породах варьирует от 6 до 12 мас.%, а концентрация SiO₂ составляет 65—70 мас.%. Валовое плавление материала происходило по границам крупных фрагментов клинкеров, благодаря чему до половины объема брекчий оказались целиком переплавлены, и только

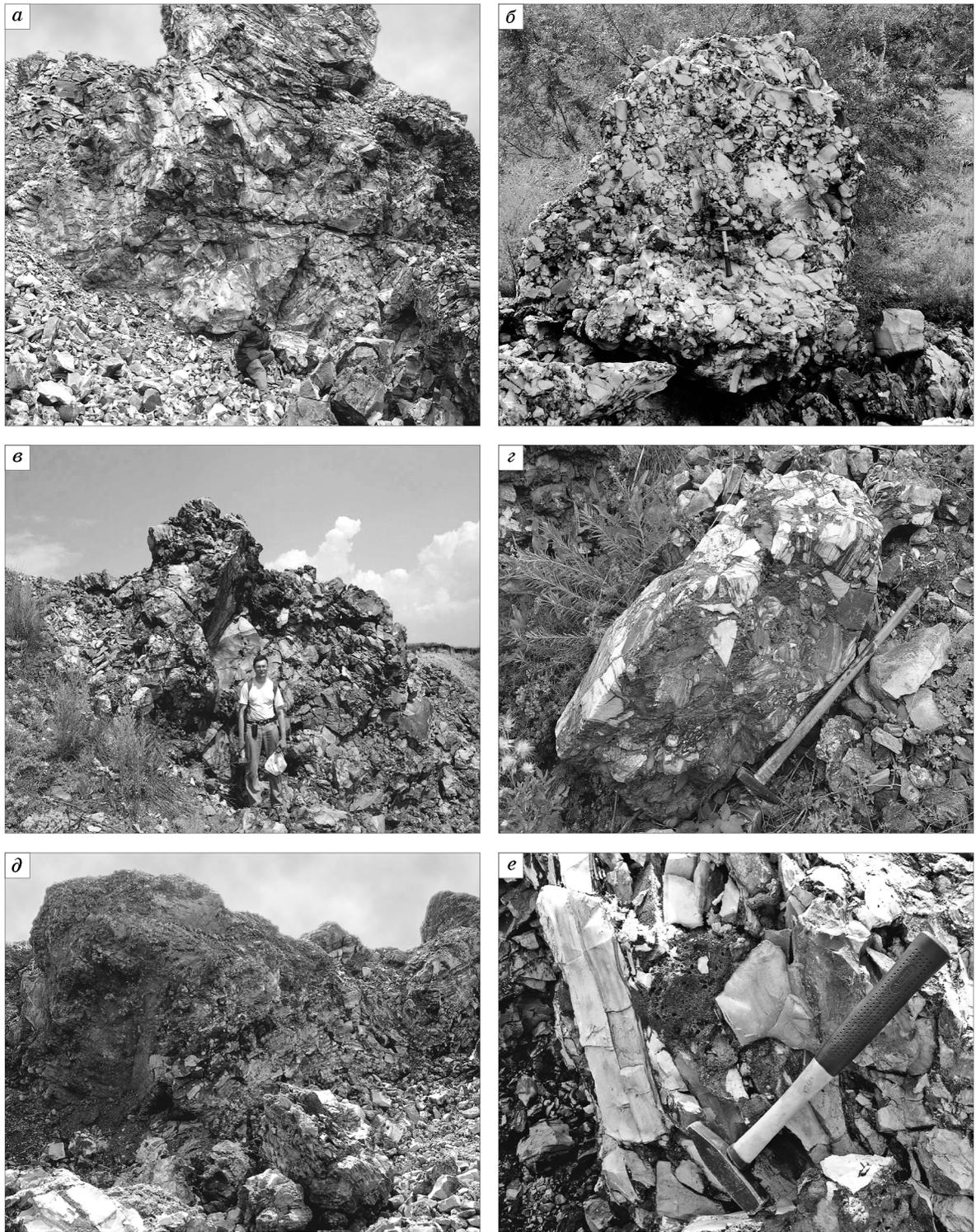


Рис. 4. Внешний облик пирогенных брекчий Кузбасса.

a, б — древние пирогенные брекчий района Соколиных гор (Гряда брекчий): *a* — скальное обнажение взрывных брекчий; слагающие их крупноблочные фрагменты клинкеров консолидированы процессами плавления и спекания в единый монолит, *б* — мелкообломочные брекчий обрушения сводов, состоящие из цементированных тонкими прожилками паралав фарфоровидных клинкеров; *в, г* — брекчий района дер. Октябрька: *в* — крупные глыбы клинкеров, цементированные массивными и прожилковыми паралавами, *г* — высокотемпературные брекчий обрушения, характеризующиеся преобладанием связующего материала плавящихся пород — паралав; куски клинкеров в их составе в различной степени ассимилированы паралавой, вплоть до появления темных структур; *д, е* — брекчий обрушения из пирогенного комплекса промежуточного возраста (район дер. Малиновка); фрагменты клинкеров цементированы паралавами и шлаками.

центральные части (ядра) фрагментов клинкеров сохранили исходный текстурный рисунок. Этот тип паралав является переходным к остеклованным клинкерам. Поскольку резкие химические и минералогические различия между этими типами пород отсутствуют, в качестве критерия их разделения можно условно принять количество стекла (более 50 %). Такие паралавы широко распространены на северной и южной окраинах Прокопьевско-Киселевского района, свидетельствуя о том, что именно здесь происходили наиболее высокотемпературные и длительные пожары.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -определения выполнялись методом ступенчатого прогрева по валовым пробам пирометаморфических пород. Образцы измельчались до размерности 0.25—0.50 мм, пробы промывались в воде и ацетоне, технология определения описана ранее [Лепезин и др., 2006]. Навески образцов, совместно с мусковитом МСА-11 и биотитом LP-6, используемыми в качестве мониторов, заворачивались в алюминиевую фольгу, помещались в кварцевую ампулу и после откачки из нее воздуха запаивались. Затем пробы облучались в кадмированном канале научного реактора ВВР-К типа при Томском политехническом институте. Градиент нейтронного потока не превышал 0.5 % в размере образца. Эксперименты по ступенчатому прогреву проводились в кварцевом реакторе с печью внешнего прогрева. Холостой опыт по определению ^{40}Ar (10 мин при 1200 °С) не превышал $5 \cdot 10^{-10}$ нсм³. Очистка аргона производилась с помощью Ti- и ZrAl-, SAES-геттеров. Изотопный состав аргона измерялся на масс-спектрометре Noble gas 5400 фирмы Микромасс (Англия). Ошибки измерений, приведенные в тексте, соответствуют интервалу $\pm 1\sigma$. Для коррекции на мешающие изотопы аргона, образовавшиеся во время облучения на Ca, Cl, K, использовались следующие коэффициенты: $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 0.00073 \pm 0.000026$, $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Cl}} = 0.00032 \pm$

Таблица 3. Химический состав (мас.%) кордиеритов из паралав древних угольных пожаров Кузбасса

Компонент	05-КС-12				05-КС-20				05-26-3				05-69-4-1			
	1				2				3				4			
SiO ₂	47.85	48.17	47.66	45.21	45.13	45.75	45.23	45.96	46.04	46.73	47.69	48.21	53.81	46.83	47.14	47.48
TiO ₂	0.20	0.13	0.06	0.07	0.16	0.22	0.27	0.29	0.13	0.12	0.06	0.16	0.19	0.08	0.18	0.29
Al ₂ O ₃	32.05	31.06	31.65	32.97	32.15	32.29	33.47	32.09	33.34	32.88	32.42	30.12	26.40	32.85	32.91	33.59
FeO	17.30	18.51	18.39	18.13	19.76	19.28	19.56	19.35	14.49	14.70	13.84	16.08	12.37	12.42	12.16	9.08
MnO	0.26	0.34	0.40	0.27	0.12	0.21	0.29	0.16	0.24	0.26	0.26	0.31	1.55	1.06	0.99	0.47
MgO	1.67	1.85	2.32	2.25	1.43	1.93	1.36	1.97	4.92	4.66	5.55	3.63	2.67	5.72	5.90	8.11
CaO	0.03	0.04	0.04	0.06	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.03	0.12	0.17	0.05	0.07	0.05
Na ₂ O	0.09	0.12	0.01	0.10	0.13	0.15	0.13	0.09	0.11	0.06	0.07	0.07	0.11	0.12	0.07	0.09
K ₂ O	0.58	0.50	0.09	0.40	0.63	0.40	0.45	0.31	0.58	0.33	0.29	0.83	0.27	0.35	0.37	0.37
P ₂ O ₅	0.04	0.00	0.00	0.07	0.03	0.05	0.03	0.02	0.04	0.03	0.00	0.00	0.06	0.03	0.04	0.10
BaO	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Сумма	100.07	100.88	100.62	99.52	99.56	100.31	100.83	100.30	99.95	99.82	100.21	99.54	97.60	99.51	99.83	99.63

Расчет формулы на 18 атомов кислорода

Si	5.054	5.087	5.027	4.841	4.873	4.883	4.812	4.903	4.832	4.901	4.958	5.112	5.671	4.898	4.905	4.871
Ti	0.016	0.010	0.004	0.005	0.013	0.018	0.021	0.023	0.010	0.010	0.004	0.013	0.015	0.006	0.014	0.022
Al	3.990	3.866	3.935	4.161	4.092	4.062	4.197	4.035	4.125	4.065	3.973	3.764	3.280	4.049	4.036	4.062
Fe	1.528	1.635	1.622	1.624	1.784	1.721	1.740	1.726	1.272	1.289	1.203	1.426	1.090	1.087	1.058	0.779
Mn	0.023	0.030	0.036	0.024	0.011	0.019	0.026	0.014	0.022	0.023	0.023	0.028	0.138	0.094	0.087	0.041
Mg	0.263	0.291	0.365	0.359	0.230	0.307	0.216	0.313	0.770	0.728	0.861	0.574	0.420	0.892	0.914	1.240
Ca	0.003	0.005	0.004	0.006	0.004	0.004	0.004	0.006	0.006	0.007	0.004	0.014	0.020	0.006	0.008	0.006
Na	0.019	0.025	0.002	0.020	0.026	0.031	0.027	0.019	0.023	0.012	0.013	0.014	0.022	0.024	0.015	0.017
K	0.078	0.067	0.012	0.054	0.086	0.055	0.061	0.042	0.078	0.045	0.038	0.112	0.036	0.047	0.050	0.049
P	0.003	0.000	0.000	0.006	0.002	0.004	0.003	0.002	0.003	0.002	0.000	0.000	0.005	0.002	0.004	0.008
Сумма катионов	10.978	11.016	11.008	11.101	11.121	11.105	11.108	11.084	11.141	11.082	11.077	11.057	10.696	11.103	11.090	11.096
F, %	85.51	85.11	81.97	82.11	88.64	85.00	89.12	84.75	62.69	64.31	58.76	71.69	74.53	56.97	55.61	39.80

Примечание. Паралавы из районов: 1, 2 — Соколиных гор, 3 — дер. Октябрька, 4 — Абинских сопок; F = ((Fe + Mn)/(Fe + Mg + Mn)) · 100 %.

Таблица 4. Химический состав (мас.%) плагноклазов из паралав Кузнецкого угольного бассейна

Компонент	05-КС-32				05-69-4-2						05-78-9					
	1				2						3					
SiO ₂	53.41	55.77	51.17	54.58	46.33	46.33	46.43	45.39	45.96	47.01	52.03	55.50	56.64	57.63	49.05	52.50
TiO ₂	0.12	0.18	0.05	0.11	0.06	0.00	0.06	0.41	0.02	0.00	0.08	0.08	0.10	0.00	0.45	0.58
Al ₂ O ₃	26.25	24.19	27.25	24.91	33.42	33.21	32.45	35.17	35.19	33.14	28.16	27.93	26.51	26.46	30.94	28.68
FeO	4.00	4.10	3.97	4.09	0.64	0.80	1.52	2.17	0.82	0.66	1.29	0.24	0.88	0.37	1.20	1.13
MnO	0.02	0.02	0.00	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.02	0.02	0.01	0.04	0.02	0.00	0.06
MgO	0.01	0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	0.04	0.09	0.03	0.12	0.14
CaO	12.01	10.58	13.72	11.77	18.25	17.67	16.39	15.32	15.31	17.03	13.31	11.16	11.47	9.74	15.91	13.96
Na ₂ O	2.67	3.10	2.85	3.10	0.90	1.46	1.96	1.42	1.80	1.44	3.43	4.26	3.75	4.77	1.87	1.79
K ₂ O	1.27	1.72	0.53	1.10	0.22	0.15	0.16	0.14	0.16	0.11	0.44	0.57	0.53	0.78	0.59	1.01
P ₂ O ₅	0.09	0.04	0.05	0.01	0.00	0.00	0.04	0.01	0.01	0.01	0.04	0.05	0.04	0.01	0.07	0.16
BaO	—	—	—	—	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	—	—	—	0.00	0.00
Сумма	99.83	99.72	99.63	99.72	99.87	99.64	99.04	100.06	99.31	99.42	99.25	99.82	100.05	99.80	100.20	100.00

Расчет формулы на 8 атомов кислорода

Si	2.466	2.571	2.382	2.521	2.143	2.148	2.169	2.095	2.123	2.175	2.400	2.504	2.552	2.590	2.255	2.394
Ti	0.004	0.006	0.002	0.004	0.002	0.000	0.002	0.014	0.001	0.000	0.003	0.003	0.003	0.000	0.016	0.020
Al	1.429	1.314	1.495	1.356	1.822	1.815	1.787	1.913	1.916	1.807	1.531	1.485	1.408	1.402	1.676	1.541
Fe	0.154	0.158	0.155	0.158	0.025	0.031	0.060	0.084	0.031	0.026	0.050	0.009	0.033	0.014	0.046	0.043
Mn	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.000	0.002	0.001	0.000	0.002
Mg	0.001	0.000	0.003	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.002	0.006	0.002	0.008	0.010
Ca	0.594	0.523	0.684	0.583	0.904	0.878	0.820	0.757	0.758	0.844	0.658	0.539	0.554	0.469	0.784	0.682
Na	0.239	0.277	0.257	0.277	0.081	0.131	0.178	0.127	0.161	0.129	0.307	0.373	0.328	0.416	0.167	0.158
K	0.075	0.101	0.032	0.065	0.013	0.009	0.010	0.008	0.009	0.006	0.026	0.033	0.030	0.045	0.035	0.059
P	0.003	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002	0.001	0.000	0.003	0.006
Ba	—	—	—	—	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	—	—	—	0.000	0.000
Сумма катионов	4.967	4.953	5.011	4.968	4.991	5.014	5.027	5.001	5.003	4.989	4.996	4.951	4.917	4.938	4.988	4.915
CaAl ₂ Si ₂ O ₈	65.421	57.988	70.335	63.001	90.560	86.247	81.419	84.893	81.618	86.149	66.399	57.087	60.746	50.487	79.546	75.863
NaAlSi ₃ O ₈	26.319	30.777	26.405	29.978	8.117	12.898	17.629	14.202	17.360	13.200	30.964	39.434	35.932	44.719	16.918	17.602
KAlSi ₃ O ₈	8.260	11.234	3.260	7.021	1.323	0.854	0.952	0.904	1.022	0.651	2.637	3.479	3.323	4.794	3.536	6.535

Примечание. Паралавы из районов: 1 — Соколиных гор, 2 — Абинских сопок, 3 — дер. Малиновка. Прочерк — элемент не определялся.

± 0.000021 , $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}} = 0.0641 \pm 0.0001$. Перед измерениями производилась предварительная дегазация образцов при температуре 300 °С. Особое внимание уделялось контролю фактора изотопной дискриминации с помощью измерения порции очищенного атмосферного аргона. Замеры проводились регулярно, после каждых 2—3 измерений выделенного из образцов аргона. Среднее значение отношения $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ на период измерений составило 298 ± 2 . В случае предельно низких содержаний радиогенного аргона в образцах прогрев проводился в 3—4 ступени, при интерпретации спектров выделение промежуточных плато проводилось на основе менее жестких критериев по сравнению с предложенными в работе [Fleck et al., 1977]. Для определения промежуточного плато из 1-й или 2-й ступеней считалось достаточным соответствие ему не менее 50 % выделенного ^{39}Ar . Определение промежуточного плато из трех последовательных ступеней, характеризующихся близкими Ca/K отношениями, допускалось при доле выделенного ^{39}Ar , меньшей 50 %.

Фазовый состав пород контролировался посредством рентгеновской дифрактометрии (ДРОН-3), петрографического анализа и микрозондового химического анализа (табл. 3—6). Химический состав минералов и стекол был определен в петрографических шлифах на микроанализаторе Camebax-Micro. В процессе расчета концентраций методом PАР [Rouchou, Pichoir, 1985] учитывалось наложение линии CaK_{β_1} на аналитическую линию PK_{α} . Пределы обнаружения (C_{min}) Si, Ti, Al, Mg, Fe, Mn, Ca, Na, K, P рассчитаны по 2σ-критерию (при уровне значимости 99 %) и варьируют от 0.01 до 0.02 мас.%. Рентгено-

Таблица 5. Химический состав (мас. %) клинопироксенов из паралав Кузнецкого угольного бассейна

Компонент	05-КС-12		05-КС-32					05-69-4-3					05-78-9				
	1		2					3					4				
SiO ₂	41.71	42.44	43.66	40.76	41.37	40.96	42.20	45.65	57.38	46.15	46.24	46.24	54.31	53.18	53.27	50.60	52.91
TiO ₂	0.17	0.41	0.34	0.52	0.56	0.56	0.40	0.33	0.20	0.25	0.29	0.32	0.67	0.35	0.42	1.91	0.39
Al ₂ O ₃	3.40	3.53	4.95	5.91	5.27	5.35	5.22	5.05	4.14	3.45	3.44	4.12	11.50	2.40	2.34	2.92	3.13
FeO	53.23	53.04	20.98	24.78	24.56	25.32	23.10	41.18	33.05	41.14	42.30	39.02	13.38	19.74	18.57	22.58	18.57
MnO	0.09	0.30	0.27	0.32	0.35	0.40	0.33	0.69	0.62	0.74	0.69	0.65	0.43	0.54	0.53	0.59	0.56
MgO	0.09	0.49	7.24	5.37	5.23	4.53	6.17	6.56	4.40	7.56	6.72	7.94	11.22	22.12	21.06	16.21	20.19
CaO	0.25	0.16	22.19	22.26	22.16	21.82	22.15	0.69	0.35	0.47	0.41	0.46	6.16	1.98	2.44	4.75	3.71
Na ₂ O	0.06	0.05	0.26	0.32	0.32	0.29	0.24	0.12	0.04	0.09	0.01	0.07	1.81	0.07	0.10	0.29	0.27
K ₂ O	0.08	0.13	0.02	0.03	0.03	0.04	0.02	0.04	0.05	0.02	0.02	0.03	0.42	0.13	0.55	0.90	0.27
P ₂ O ₅	0.22	0.25	0.04	0.05	0.02	0.06	0.02	0.06	0.00	0.03	0.04	0.09	0.09	0.05	0.05	0.07	0.00
Сумма	99.30	100.78	99.95	100.31	99.86	99.31	99.85	100.36	100.23	99.90	100.15	99.04	100.04	100.57	99.33	100.82	100.00

Расчет формулы на 6 атомов кислорода

Si	1.850	1.847	1.755	1.675	1.704	1.703	1.722	1.869	2.185	1.900	1.907	1.900	1.951	1.952	1.975	1.911	1.954
Ti	0.006	0.013	0.010	0.016	0.017	0.017	0.012	0.010	0.006	0.008	0.009	0.010	0.018	0.010	0.012	0.054	0.011
Al	0.178	0.181	0.234	0.286	0.256	0.262	0.251	0.244	0.186	0.167	0.167	0.200	0.487	0.104	0.102	0.130	0.136
Fe	1.975	1.930	0.705	0.851	0.846	0.881	0.788	1.410	1.053	1.416	1.459	1.341	0.402	0.606	0.576	0.713	0.573
Mn	0.003	0.011	0.009	0.011	0.012	0.014	0.011	0.024	0.020	0.026	0.024	0.022	0.013	0.017	0.017	0.019	0.018
Mg	0.006	0.031	0.434	0.329	0.321	0.281	0.375	0.400	0.250	0.464	0.413	0.486	0.601	1.211	1.164	0.913	1.111
Ca	0.012	0.007	0.956	0.980	0.978	0.972	0.968	0.030	0.014	0.021	0.018	0.020	0.237	0.078	0.097	0.192	0.147
Na	0.005	0.004	0.020	0.025	0.026	0.024	0.019	0.009	0.003	0.007	0.000	0.006	0.126	0.005	0.007	0.021	0.019
K	0.004	0.007	0.001	0.001	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002	0.019	0.006	0.026	0.044	0.013
P	0.008	0.009	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.002	0.000	0.001	0.001	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.000
Сумма катионов	4.048	4.041	4.127	4.177	4.163	4.158	4.149	4.001	3.718	4.011	4.000	3.989	3.856	3.989	3.977	3.999	3.983
F, %	99.70	98.41	62.22	72.38	72.79	76.10	68.05	78.17	81.11	75.66	78.21	73.71	40.86	33.97	33.74	44.51	34.71

Примечание. Паралавы из районов: 1, 2 — Соколиных гор, 3 — Абинских сопок, 4 — дер. Малиновка, $F = ((Fe + Mn)/(Fe + Mg + Mn)) \cdot 100\%$.

флуоресцентный силикатный анализ горных пород выполнен на рентгеновском анализаторе VRA-20 R (Карл Цейс Йена). Образец сравнения — государственный стандарт СГД-1А (габбро эссекситовое). Пределы обнаружения большинства элементов — 0.02 мас. % (Na₂O — 0.2 мас. %, MgO — 0.1 мас. %). Расчет концентраций проведен методом фундаментальных параметров [Афонин и др., 1984]. Потери при прокаливании определены весовым методом.

РЕЗУЛЬТАТЫ МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

При отборе образцов, пригодных для ⁴⁰Ar/³⁹Ar-датирования пирогенных событий, наиболее важной представлялась оценка степени термического преобразования минералов, являющихся концентраторами калия в осадочных породах, — слюд, гидрослюд и полевых шпатов обломочной фракции, а также определение содержания калия и кальция в пирогенных породах и отдельных минералах. Паралавы из Присалаирского комплекса представляют собой продукты полного плавления метаосадочного материала, что подтверждается их фазовым составом, структурой и полным отсутствием реликтов первичных минералов (рис. 5), в том числе полевых шпатов обломочной фракции. Изученные образцы представляют собой плавленые породы преимущественно кислого (реже среднего) состава, глиноземистые, с умеренным содержанием железа и пониженными концентрациями TiO₂, MnO, MgO, Na₂O и P₂O₅. Содержание K₂O в них составляет 1.5—3.5 мас. %, а CaO — 0.7—10 мас. %, что делает корректным их использование для ⁴⁰Ar/³⁹Ar-датирования. Учитывая методическую направленность данной работы, приведем характеристику всех образцов, использованных для ⁴⁰Ar/³⁹Ar-датирования.

Образец 05-КС-32. Отобран на западной окраине Прокопьевско-Киселевского блока, разрез Соколиные горы. Железистая паралава среднего состава. Свежее кислое калиевое стекло слагает до 30 % объема породы. Главные минералы — алюмогеденбергит и битовнит-лабрадор. Второстепенные

Таблица 6. Химический состав (мас. %) стекол из паралав Кузнецкого угольного бассейна

Компонент		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	BaO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Сумма	
Район отбора образца	№ образца													
Соколиные горы	05-КС-12	76.33	0.62	12.35	0.75	0.04	0.03	0.00	0.20	0.48	5.77	1.39	97.94	
		75.65	0.64	12.20	0.64	0.01	0.02	0.00	0.17	0.53	6.20	1.35	97.40	
		76.54	0.73	12.10	0.87	0.07	0.02	0.00	0.31	0.68	6.42	0.37	98.09	
		73.25	0.30	14.13	0.24	0.01	0.04	0.00	2.50	1.54	5.23	0.08	97.32	
		78.72	0.41	10.35	0.70	0.00	0.03	0.00	0.31	0.62	6.59	0.49	98.22	
		76.73	0.54	12.83	1.17	0.05	0.02	0.00	0.35	0.68	6.60	0.45	99.41	
		76.41	0.83	12.78	1.38	0.02	0.00	0.00	0.34	0.85	7.07	0.30	99.97	
		76.72	0.40	12.91	1.31	0.04	0.01	0.00	0.35	0.67	6.76	0.37	99.53	
		78.18	0.23	12.35	7.85	0.21	0.19	—	0.10	0.09	0.66	0.25	100.10	
	78.75	0.85	12.09	0.95	0.01	0.02	0.00	0.27	0.34	4.43	0.45	98.15		
	05-КС-20	73.51	1.10	12.75	2.70	0.06	0.00	0.00	0.74	1.43	5.76	0.21	98.26	
		72.89	1.29	12.28	3.38	0.06	0.03	0.15	0.65	1.41	5.61	0.23	97.98	
		72.75	1.22	12.61	3.00	0.10	0.04	0.00	0.64	1.43	5.76	0.22	97.77	
		75.48	1.10	12.66	1.32	0.03	0.02	0.25	0.62	1.01	5.46	0.29	98.23	
		73.35	1.22	12.45	1.94	0.05	0.04	0.00	0.66	1.27	5.54	0.24	96.76	
		70.56	1.39	12.90	4.99	0.02	0.06	0.00	0.81	1.14	5.45	0.09	97.41	
		75.27	0.96	12.01	2.78	0.04	0.02	0.00	0.58	1.42	5.61	0.36	99.06	
		05-КС-32	72.07	0.73	10.59	3.60	0.08	0.05	—	3.14	0.97	5.28	0.06	97.56
			72.23	0.75	10.70	3.64	0.07	0.04	—	3.01	0.89	5.28	0.07	97.69
	72.80		0.76	10.56	3.47	0.06	0.04	—	2.83	0.78	5.30	0.05	97.63	
	73.41		0.71	10.67	3.19	0.05	0.00	—	2.23	0.80	5.12	0.03	97.21	
	дер. Октябринка	05-26-3	70.06	0.72	13.28	3.79	0.09	0.00	—	1.88	0.96	6.08	0.25	97.10
			68.95	0.88	13.28	4.73	0.08	0.04	—	1.97	0.96	5.96	0.25	97.09
			70.21	1.11	12.27	4.89	0.08	0.21	—	1.60	0.74	5.74	0.17	97.02
			71.05	0.80	12.81	4.96	0.10	0.02	—	1.75	0.92	5.86	0.17	98.44
			70.10	0.74	12.62	5.08	0.10	0.05	—	1.89	0.79	5.61	0.31	97.26
			69.91	0.74	12.64	5.02	0.11	0.01	—	1.83	0.84	5.51	0.28	96.89
Абинские сопки (г. Прокопьевск)	05-69-4-3	73.32	0.07	13.24	0.15	0.00	0.03	1.23	0.28	1.60	10.03	0.15	100.10	
		75.91	0.27	13.34	1.26	0.02	0.05	0.01	0.41	1.45	6.38	0.44	99.54	
		70.20	0.12	15.50	0.39	0.04	0.06	0.33	0.29	1.53	11.06	0.29	99.81	
		71.27	0.09	15.49	0.13	0.02	0.01	0.25	0.31	1.61	11.16	0.31	100.65	
		72.12	0.11	14.84	0.15	0.03	0.01	0.05	0.75	1.54	10.37	0.29	100.25	
		71.55	0.10	14.99	0.05	0.03	0.00	0.01	0.68	1.56	10.95	0.30	100.22	
		73.39	0.09	13.57	0.31	0.01	0.03	0.33	0.28	1.59	10.33	0.25	100.18	
		64.80	0.16	19.30	0.71	0.03	0.04	0.00	4.56	1.50	6.42	0.25	97.77	
		61.07	0.05	21.69	0.48	0.00	0.05	0.00	5.65	2.50	5.70	0.12	97.32	
		61.50	0.08	21.67	0.61	0.11	0.05	0.41	7.19	2.25	4.98	0.27	99.10	
		дер. Малиновка	05-78-9	75.13	1.08	11.68	3.68	0.10	1.30	0.15	2.12	0.37	1.68	0.09
70.77	0.70			14.25	2.22	0.03	0.50	—	5.96	1.49	1.18	0.06	97.15	
75.08	1.16			11.52	2.33	0.04	0.07	—	1.38	1.02	5.14	0.17	97.91	
75.56	1.16			10.99	2.41	0.06	0.27	—	1.08	0.89	5.43	0.30	98.15	
74.35	1.31			11.73	2.87	0.03	0.27	—	1.70	0.92	4.98	0.26	98.42	
73.75	1.43			11.68	2.67	0.04	0.21	0.00	1.73	0.95	4.86	0.32	97.64	
70.22	1.23			14.41	1.86	0.01	0.16	0.00	3.75	1.37	4.65	0.18	97.84	
72.01	0.98			11.99	3.92	0.07	0.33	0.00	2.50	0.83	4.59	0.43	97.65	
70.77	0.70			14.25	2.22	0.03	0.50	—	5.96	1.49	1.18	0.06	97.15	
75.08	1.16			11.52	2.33	0.04	0.07	—	1.38	1.02	5.14	0.17	97.91	

Примечание. Прочерк — элемент не определялся.

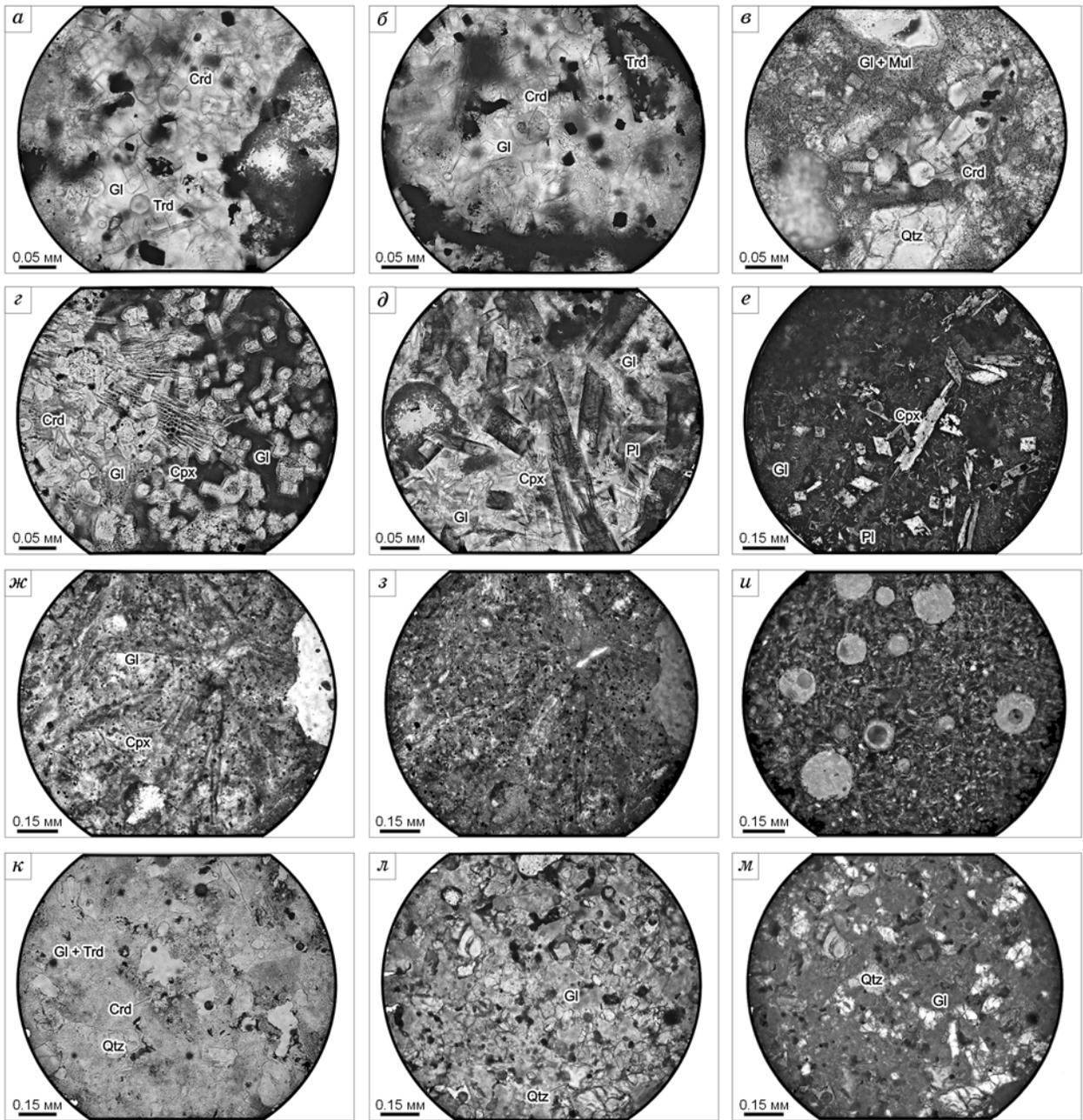


Рис. 5. Минеральные ассоциации пирометаморфических пород (паралав и клинкеров) Кузбасса.

a, б — обр. 05-КС-12, кордиеритовая паралава; *в* — обр. 05-КС-20, порода промежуточного типа между клинкером и паралавой; *г* — обр. 05-26-3, кордиеритовая паралава; *д, е* — обр. 05-КС-32, паралава; *ж, з* — обр. 05-69-4-3, паралава; *и* — обр. 05-78-9, паралава; *к* — обр. 05-63-3, типичный остеклованный клинкер; *л, м* — обр. 05-78-2, клинкер. Петрографические шлифы: *е, з, м* — фото в скрещенных николях; *а—д, ж, к, л* — фото, сделанные в поляризованном свете без анализатора. Crd — кордиерит, Cpx — клинопироксен, Trd — тридимит, Mul — муллит, Qtz — кварц, Gl — стекло, Pl — плагиоклаз.

минералы — кристобалит, тридимит, железистые шпинелиды и муллит. Пироксен образует футлярные кристаллы, индивиды с неровными границами роста, а рудные минералы — скелетные и дендритные формы, что указывает на высокие скорости закалки расплава. Присутствуют отдельные недоплавленные зерна обломочного кварца. Основным концентратом калия в образце является стекло (5.1—5.3 мас.% K_2O), дополнительным — плагиоклаз (0.5—1.7 мас.% K_2O). Особенности фазового состава породы объясняются одновременным присутствием значительных количеств железа и кальция при относительно невысоких содержаниях алюминия и калия.

Образцы 05-КС-12 и 05-26-3. Западная окраина Прокопьевско-Киселевского блока, разрезы в районе Соколиных гор и дер. Октябринка соответственно. Образцы представляют собой типичные кислые и глиноземистые кордиеритовые паралавы, различающиеся по содержанию железа. В обр. 05-КС-12, где концентрация Fe_2O_3 составляет 5.57 мас.%, главным силикатным минералом является ярко-синий железистый кордиерит ($F = 82\text{—}85\%$) с содержанием $\text{K}_2\text{O} \leq 0.58$ мас.%. Он образует короткопризматические кристаллы в массе кислого стекла, количество которого не превышает 10%. Стекло бурое или бесцветное, прозрачное, содержит 3.28—7.07 мас.% K_2O . Концентрация рудных минералов — титаномагнетита, содержащего до 10.34 мас.% Al_2O_3 , ильменита и гематита местами достигает 50 об.%. Дополнительные фазы — клинопироксен (представленный редким видом — глиноземистым клиноферросилитом), тридимит, кристобалит и муллит.

В обр. 05-26-3, где содержание Fe_2O_3 составляет 1.24 мас.%, преобладают мелкий бесцветный кордиерит ($F \approx 65\%$; $\text{K}_2\text{O} = 0.20\text{—}0.83$ мас.%), слагающий около 45% объема породы, и тридимит. Второстепенные минералы — кристобалит, глиноземистый титаномагнетит (до 8.54 мас.% Al_2O_3), ильменит, пироксен, мелкие размеры которого не позволяют выполнить точную диагностику, и муллит(?). Кислое стекло (бесцветное до розоватого) составляет не менее 30 об.% породы и содержит 4.63—6.08 мас.% K_2O .

Образец 05-КС-20. Западная часть Прокопьевско-Киселевского блока, разрез Соколиных гор. Образец занимает промежуточное положение между клинкерами (с которыми его роднит структура и фазовый состав) и паралавами (на что указывает валовый химический состав). Порода гетерогенна. Наряду с участками, содержащими значительные объемы кислого стекла, в ней присутствуют области с неасимилированным обломочным кварцем. Главные минералы — бесцветный и голубоватый железистый кордиерит ($F = 84.7\text{—}89.1\%$) и тридимит. Стекла бурого и серого цветов имеют кислый состав и содержат $\text{K}_2\text{O} = 4.00\text{—}5.76$ мас.%. Обычны железистые шпинелиды, ильменит и микролиты муллита.

Образцы 05-78-9 и 05-69-4-3. Восточная граница Прокопьевско-Киселевского блока (обр. 05-69-4-3, Абинские сопки, г. Прокопьевск) и к югу от него (обр. 05-78-9, дер. Малиновка). Кислые паралавы с умеренным содержанием Fe_2O_3 , Al_2O_3 и повышенным — CaO и Na_2O . Образец 05-78-9 в основном состоит из мелких лейст плагиоклаза (битовнит-лабрадор), содержащего 0.44—0.78 мас.% K_2O , глиноземистого пижонита ($F = 33.7\text{—}44.5\%$), тридимита и глиноземистого титаномагнетита, заключенных в массе кислого калиевого стекла (2.40—5.43 мас.% K_2O), количество которого достигает 50%. Отмечены отдельные микроиндивиды кордиерита и единичные зерна обломочного кварца.

В обр. 05-69-4-3 преобладают тридимит, кордиерит и пойкилокристаллы пироксена с содержанием $\text{CaO} = 0.01\text{—}0.03$ ф.е. Косое погасание этого минерала заставляет отнести его к разряду глиноземистых клиноферросилитов, а не ортопироксенов. В этой связи уместно напомнить, что моноклинные аналоги клинопироксенов обнаруживают в пирогенных комплексах регулярно [Чесноков, Щербакова, 1991; Tulloch, Campbell, 1993; Пирогенный..., 2005]. В породе присутствуют микролиты плагиоклаза, глиноземистый титаномагнетит (до 17.45 мас.% Al_2O_3), муллит и недоплавленные зерна обломочного кварца. Кислое стекло бурого цвета слагает до 40 об.% породы. Содержание в нем K_2O варьирует от 3.15 до 11.16 мас.%, преобладают участки стекла с концентрацией 6—10 мас.%.

РЕЗУЛЬТАТЫ $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -ИССЛЕДОВАНИЯ

Определения возраста пирометаморфических событий в Присалаирской зоне Кузбасса были выполнены по шести охарактеризованным выше образцам паралав (рис. 6, табл. 7).

Образец 05-КС-12. В Са/К спектре образца наблюдается увеличение отношения от 0.1 до 0.5, что свидетельствует о его фазовой неоднородности. Основываясь на различии Са/К отношений и относительном увеличении значений в высокотемпературной части возрастного спектра, в нем выделяются два промежуточных плато, состоящих из трех последовательных ступеней. Плато в средней части соответствует более богатой калием фракции, характеризуется 53% выделенного ^{39}Ar и значением возраста 0.3 ± 0.3 млн лет. Для высокотемпературного плато, характеризующегося большими Са/К отношениями и 37% выделенного ^{39}Ar , рассчитан относительно древний возраст — 1.2 ± 0.5 млн лет. Интегральный возраст, являющийся аналогом К/Аг возраста, составляет 0.6 ± 0.5 млн лет. Учитывая, что в образцах полностью отсутствуют реликты первичных минералов, а полное плавление материала протолита происходило в условиях открытой проточной системы при интенсивном выделении подвижных компонентов в атмосферу, представляется маловероятным присутствие избыточного радиогенного аргона. Полученные данные, по всей видимости, свидетельствуют в пользу возрастной гетерогенности образца. Можно предположить, что изотопная система образца, образовавшегося 1.2 ± 0.5 млн лет назад, была подвергнута позднему прогреву, что привело к омоложению минеральной фазы с менее устойчивой изотопной системой. Основываясь на вариациях Са/К отношения, высокотемпературное плато характеризуется большим вкладом аргона, выделяемого из обогащенной Са стекловатой матрицы, характеризующейся, вероятно, и большей устойчивостью изотопной системы к наложенным термическим воздействиям.

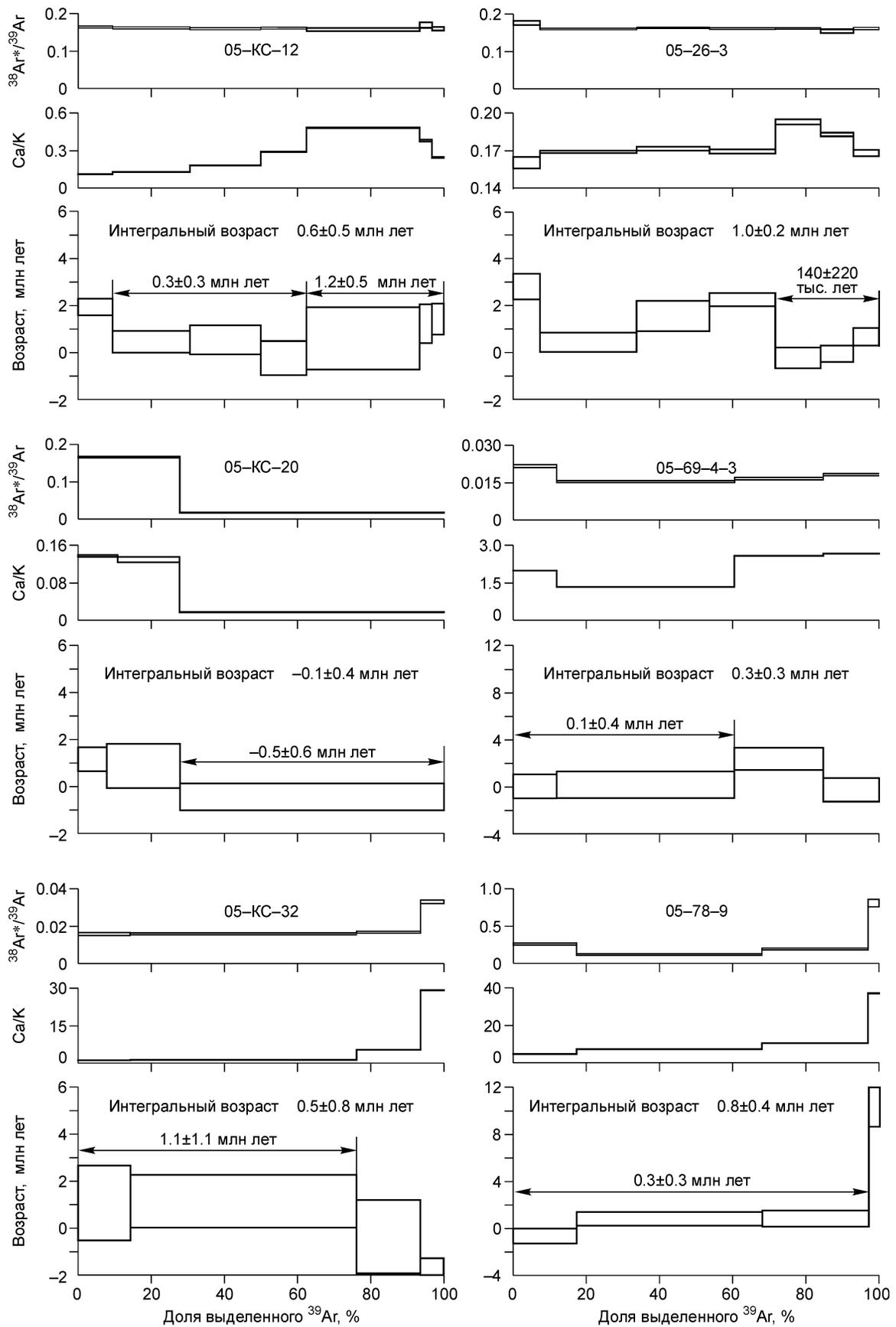


Рис. 6. Результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирования пирогенных пород Присалаирского пирометаморфического комплекса.

Таблица 7. Результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования паралав древних угольных пожаров Кузбасса

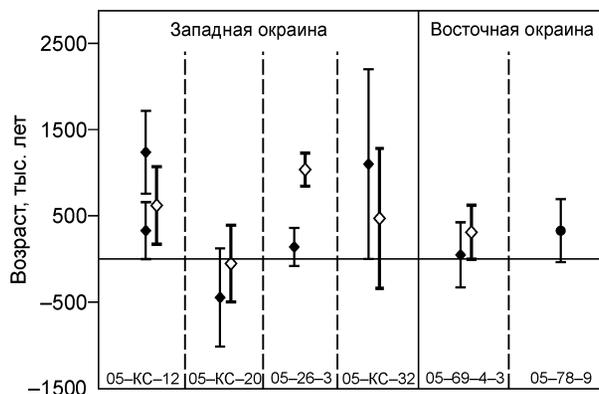
$T, ^\circ\text{C}$	$t, \text{мин}$	$^{40}\text{Ar}, 10^{-9} \text{ нсм}^3$	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	Ca/K	$\Sigma^{39}\text{Ar}, \%$	Возраст, млн лет ($\pm 1\sigma$)
Обр. 05-КС-12, $J = 0.004575 \pm 0.0000546$									
500	10	17.83	3.30	0.018	0.03	0.010	0.11	9.4	1.9 ± 0.4
650	10	33.91	2.80	0.018	0.04	0.009	0.13	30.6	0.5 ± 0.5
750	10	30.29	2.72	0.018	0.05	0.009	0.18	50.0	0.5 ± 0.6
850	10	27.49	3.84	0.018	0.08	0.013	0.29	62.5	-0.2 ± 0.7
950	10	149.52	8.44	0.021	0.13	0.028	0.48	93.4	0.6 ± 1.3
1050	10	25.66	13.24	0.025	0.11	0.044	0.38	96.8	1.2 ± 0.8
1150	10	23.08	12.45	0.024	0.07	0.042	0.25	100.0	1.4 ± 0.7
Обр. 05-КС-20, $J = 0.004517 \pm 0.000053$									
600	10	13.26	1.82	0.018	0.04	0.006	0.14	10.8	1.2 ± 0.5
900	10	36.64	3.23	0.019	0.04	0.011	0.13	27.7	0.9 ± 0.9
1200	10	41.16	0.85	0.002	0.00	0.003	0.02	100.0	-0.4 ± 0.6
Обр. 05-КС-32, $J = 0.004487 \pm 0.000052$									
550	10	10.37	3.69	0.018	0.32	0.012	1.14	14.3	1.0 ± 1.6
700	10	19.17	1.58	0.017	0.36	0.005	1.29	76.1	1.1 ± 1.1
850	10	5.15	1.50	0.018	1.48	0.005	5.32	93.6	-0.4 ± 1.6
1150	10	4.96	3.95	0.036	8.11	0.015	29.19	100.0	-4.8 ± 3.5
Обр. 05-26-3, $J = 0.004505 \pm 0.000053$									
500	10	10.90	3.50	0.020	0.04	0.011	0.16	7.3	2.8 ± 0.5
650	10	38.50	3.43	0.018	0.05	0.011	0.17	33.7	0.4 ± 0.4
750	10	42.47	5.01	0.019	0.05	0.016	0.17	53.7	1.5 ± 0.6
850	10	58.40	7.62	0.021	0.05	0.025	0.17	71.7	2.2 ± 0.3
950	10	44.88	8.52	0.022	0.05	0.029	0.19	84.1	-0.2 ± 0.4
1050	10	31.31	8.20	0.021	0.05	0.028	0.18	93.0	-0.1 ± 0.3
1150	10	29.42	9.91	0.022	0.05	0.033	0.17	100.0	0.7 ± 0.4
Обр. 05-69-4-3, $J = 0.004421 \pm 0.000051$									
600	10	7.69	1.78	0.023	0.55	0.006	1.99	11.9	0.0 ± 0.5
800	10	8.47	0.48	0.016	0.37	0.002	1.33	60.5	0.1 ± 0.6
1000	10	7.21	0.82	0.017	0.72	0.002	2.59	84.8	1.2 ± 0.5
1200	10	7.63	1.38	0.019	0.74	0.005	2.68	100.0	-0.1 ± 0.5
Обр. 05-78-9, $J = 0.004384 \pm 0.00005$									
600	10	10.66	1.84	0.017	1.29	0.007	4.66	17.3	-0.7 ± 0.6
800	10	25.43	1.50	0.017	2.02	0.005	7.28	68.0	0.8 ± 0.6
1000	10	16.63	1.71	0.018	2.91	0.005	10.47	97.0	0.8 ± 0.7
1200	10	5.61	5.63	0.021	10.32	0.015	37.14	100.0	10.3 ± 1.7

Примечание. J — параметр, характеризующий величину нейтронного потока.

Образец 05-26-3. Повышенные значения возраста образца наблюдаются для двух ступеней в средней части спектра. Только в высокотемпературной части выделяется промежуточное плато, характеризующееся 28 % выделенного ^{39}Ar , значением возраста 0.1 ± 0.2 млн лет и повышенными Ca/K отношениями. При этом интегральный возраст существенно древнее — 1.0 ± 0.2 млн лет. Такое различие, как и в случае обр. 05-КС-12, может быть объяснено возрастной гетерогенностью, при этом древняя компонента не проявилась в виде промежуточного плато.

Рис. 7. Сводка результатов $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирования пирогенных пород западной и восточной окраин Прокопьевско-Киселевского блока.

Залитый ромб — возраст промежуточного плато, незалитый ромб — интегральный возраст, залитый круг — возраст, рассчитанный на основе плато, выделенного по критериям [Fleck et al., 1977].



Образец 05-КС-20. Большая часть ^{39}Ar (72 %) выделилась на последней третьей ступени, возраст которой составил -0.5 ± 0.6 млн лет. Интегральный возраст в этом случае равен -0.1 ± 0.4 млн лет. На основе полученных данных формирование образца на уровне доверительной вероятности 95 % произошло не раньше чем 0.1 млн лет назад.

Образец 05-69-4-3. Выделяется в сторону повышенного возраста и Са/К отношения только третья ступень. По первым двум ступеням, которым соответствует более 60 % выделенного ^{39}Ar , рассчитано среднее значение возраста 0.1 ± 0.4 млн лет. Величина интегрального возраста, равная 0.3 ± 0.3 млн лет, согласуется с возрастом промежуточного плато. Соответственно, формирование образца произошло не раньше чем 0.5 млн лет назад.

Образец 05-КС-32. Характеризуется очень низким содержанием радиогенного аргона, что приводит к большим ошибкам при расчете возраста. Двум первым ступеням с согласующимися значениями соответствует 76 % выделенного ^{39}Ar . Среднее значение по ним составило 1.1 ± 1.1 млн лет. За счет вклада двух высокотемпературных ступеней интегральный возраст несколько меньше — 0.5 ± 0.8 млн лет, хотя в пределах ошибки согласуется с возрастом плато.

Образец 05-78-9. В возрастном спектре данного образца выделяется плато, соответствующее трем критериям, предложенным Р.Дж. Флеком с соавторами [Fleck et al., 1977]. Трех последовательным ступеням, характеризующимся согласующимися значениями возраста и Са/К отношений, соответствует 97 % выделенного ^{39}Ar . На этом основании можно с большой степенью достоверности считать, что возраст формирования образца составляет 0.3 ± 0.3 млн лет. Интегральный возраст за счет вклада высокотемпературной ступени несколько древнее — 0.8 ± 0.4 млн лет.

Сводка значений возраста, рассчитанных по методу плато (промежуточное и по критериям [Fleck et al., 1977]), а также интегрального возраста приведена на рис. 7. Данные, полученные для образцов 05-КС-12, 05-26-3, свидетельствуют в пользу их возрастной гетерогенности. В них присутствует как относительно древний компонент с возрастом порядка 1 млн лет, так и компонент с минимальным возрастом.

Таким образом, анализируя распределение полученных возрастных значений для пирогенных пород, можно сделать следующие выводы: для образцов восточной окраины Прокопьевско-Киселевского блока фиксируется молодой возраст — 0.2 ± 0.3 млн лет (среднее взвешенное для плато обр. 05-69-4-3 и 05-78-9); для образцов западной окраины фиксируется, как минимум, две компоненты — 1.2 ± 0.4 млн лет (среднее взвешенное для древнего плато обр. 05-КС-12 и плато обр. 05-КС-32) и 0.2 ± 0.2 млн лет (средневзвешенное для молодого плато обр. 05-КС-12 и плато обр. 05-КС-20, 05-26-3).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Древние пожары — масштабы и причины. Присалаирский пирометаморфический комплекс уникален как по своим размерам (длина 45 км, ширина 5—6 км), так и по температурному режиму преобразования пород. Массовое распространение в ассоциациях клинкеров и паралав тридимита, кристобалита, калийсодержащего кордиерита и муллита, ассоциирующих со значительными объемами кислых калиевых глиноземистых стекол, позволяет уверенно реконструировать температуру подземных пожаров, как превышающую 1000 °С. В череде подобных объектов, где области развития высоких температур носят очаговый характер, данный комплекс резко выделяется не только протяженностью, но и выдержанностью зон высокотемпературного воздействия. Сегодня они представляют собой многокилометровые полосы пород, полностью преобразованных процессами плавления и последующей закалки в материалы, близкие по составу и свойствам к стекловатым кордиеритовым керамкам. Именно это объясняет их высокую резистентность в процессах выветривания и денудации, обусловившую формирование ими положительных форм в современном рельефе.

«Следы каменноугольных пожаров имеются в различных частях площади бассейна. Однако наибольшего развития пожары достигали в юго-западной части бассейна, в так называемой Присалаирской

полосе его, на промежутке между д. Зенковой и вершиной р. Кривой Ускат...», — писали В.И. Яворский, Л.К. Радугина [1932], досконально знавшие Кузбасс. Если бы интенсивность угольных пожаров контролировалась исключительно количеством и калорийностью углей, то на западной периферии Кузбасса это явление было бы распространено повсеместно, чего в действительности не наблюдается. Следовательно, масштабы древних пирометаморфических событий определил не один фактор, а их совокупность. Специфика угленосности Прокопьевско-Киселевского района [Геология..., 1948, 1969; Газоносность..., 1979, 1980; Карасевич и др., 2001; Угольная..., 2003] состоит в том, что именно здесь в обрамлении Кузбасса зафиксированы наибольшие мощности (в среднем 820 м) пород самой угленасыщенной — верхнебалахонской подсерии. Коэффициент угленосности в этом районе также близок к максимальному и достигает 10.2 %. Район выделяется газонасыщенностью углей даже на фоне Кузбасса, относящегося к разряду гигантских метан-угольных бассейнов. Преобладают газопродуктивные пласты высококалорийных полуматовых углей с содержанием витринита до 55 %, средних стадий метаморфизма (марки ГЖ, Ж, ЖК, К), а также антрациты. Суммарная мощность продуктивных пластов достигает 60—80 м, а мощность индивидуальных пластов — 14 м (пласты Мощный, Горелый и IV Внутренний). Им свойственна повышенная трещиноватость и высокое содержание метана ($\text{м}^3/\text{т}$ угля): 10—15 на горизонте ± 0 ; 14—19 на горизонте -100 ; 19—24 на горизонте -300 . Все шахты района относятся по содержанию газа к опасным по выбросам и сверхкатегорийным (т. е. не укладываемым по степени загазованности в принятые нормативы). Многие угольные пласты являются специфичными коллекторами газа. В закрытых и полужакрытых антиклинальных складках (в первую очередь в антиклиналях высокого порядка, в частности, Тайбинской), в которые собраны породы балахонской серии, они обладают повышенной газоносностью. Существенную роль как в миграции метана с глубины, так и в его аккумуляции играют крупные тектонические нарушения. В целом по району в зонах разрывных нарушений число случаев роста газоносности угольных пластов (экранирующие разрывы) и ее снижения (дренирующие разрывы) примерно равно. Среди экранирующих нарушений в Прокопьевско-Киселевском районе преобладают согласные продольные взбросы с углами падения плоскости сместителя до $50\text{—}60^\circ$, а также надвиги. Им же принадлежала ведущая роль и в процессах вековой дегазации угольных толщ.

В документации штолен зафиксировано 2—3-кратное увеличение вблизи поверхности мощностей карманов, сложенных материалом дробленых горельников, по сравнению с мощностью пласта при выгорании которого они возникли (см. рис. 1). Единственный механизм, позволяющий объяснить выдержанную воронкообразную форму брекчированных горизонтов горельников на продолжении угольных пластов (у поверхности), — это механизм близповерхностных газовых взрывов с эксплозивным выбросом материала и его обрушением во взрывную воронку.

Не удивительно, что именно в Прокопьевско-Киселевской полосе древние угольные пожары достигали масштабов исключительных даже для Кузбасса. Фонтанные выбросы и последующие возгорания метан-угольной смеси являлись своеобразными детонаторами угольных пожаров в этой полосе. Подобные выбросы, влекущие за собой гибель людей, и сегодня являются постоянной проблемой шахт Кузбасса. Наличие свободной газовой фазы до момента газификации твердого топлива представляет собой тот принципиально важный фактор, который обеспечил стремительное распространение фронта пожара от точки воспламенения вдоль поверхности угольного пласта. Наличие спонтанных выбросов горячих газов способно также объяснить и многочисленные очаги развития брекчий взрыва и связанные с ними сверхвысокотемпературные преобразования пород, выражающиеся в массовом плавлении и остекловании клинкеров, и последующей консолидации их фрагментов в монолиты.

Время пирогенных событий. В нормальном разрезе слабозродированных пирогенных комплексов преобладают породы малой и умеренной степени термического преобразования, слагающие верхние 4/5 мощности разреза, и только корневые (очаговые) его зоны могут быть сложены плавленными породами. Эти соотношения выдерживаются достаточно строго по всему миру [Пирогенный..., 2005]. Сегодня на фронте Тырганского взброса (западная окраина Прокопьевско-Киселевского блока) именно эти корневые части пирометаморфического разреза (мощностью 20—50 м) и выведены на поверхность. Следовательно, за время, прошедшее с момента возникновения этого комплекса, перекрывающие толщи слабопреобразованных горельников мощностью от 80 до 200 м удалены в процессах денудации. В условиях низкогогорья и гумидной зоны на это требуются первые миллионы лет. Древность этих образований подтверждается также серией геологических критериев, таких как: наличие 3—6 м горизонтов переотложенных продуктов выветривания горелых пород в логах между грядами клинкеров; перекрытие их бурыми лессовидными суглинками и наличие развитого почвенного горизонта.

В пользу относительной древности горельников западной окраины Прокопьевско-Киселевского блока говорят и результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирования, фиксирующие в них наличие компоненты с возрастом 1.2 ± 0.5 и 1.1 ± 1.1 млн лет. Если верна интерпретация полученных значений как соответствующих возрасту ранних пирогенных эпизодов, то в это время по Тырганскому взбросу, ограничивающему Прокопьевско-Киселевский блок с запада, на новейшем этапе должны были начаться движения.

Для трех образцов этой же территории фиксируются и значительно меньшие значения $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -возраста. Здесь уместно отметить, что многократные и разорванные во времени возгорания на смежных территориях представляют собой заурядное явление в районах скопления каустобиолитов [Heffern, Coates, 2004; Пирогенный..., 2005]. Подробно этот вопрос был рассмотрен и получил подтверждение посредством $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ [Gur et al., 1995] и трекового [Kolodny et al., 1971] датирования метаморфических пород пирогенного комплекса бассейна Хатрурим в Израиле. В подтверждение сказанному можно привести тот факт, что обр. 05-КС-20, представляющий собой паралаву, типичную для древнего комплекса Соколиных гор, был взят в зоне прямого воздействия пожара XX в. на древние горельники. Повторный прогрев породы привел к диффузионной потере аргона, омоловив данный образец. Таким образом, при выборе объектов датирования древнейших пирогенных событий особую важность приобретают геологические критерии, позволяющие проводить предварительную типизацию комплексов по возрасту, а также заранее отбраковать образцы, подвергшиеся повторному прогреву.

Прочие изученные образцы паралав (05-69-4-3, 05-78-9) позволяют оценить время пирогенных событий и инициировавших их тектонических движений на восточной границе Прокопьевско-Киселевского блока. Формирование этих пород на 95 %-м уровне вероятности произошло не раньше, чем 0.5–0.7 млн лет назад. Следовательно, Афонинско-Киселевский взброс, ограничивающий Прокопьевско-Киселевский блок с востока, подвергся новейшей активизации не раньше чем 0.5–0.7 млн лет назад и с этого момента образует предгорную ступень восточной окраины Салаира. Средняя степень препарировки пород этого комплекса хорошо согласуется с выводом о его промежуточном возрасте.

Неотектонический контроль развития пирометаморфических процессов. Массовое развитие пирогенных пород максимальной степени термического преобразования (паралав и остеклованных клинкеров) свидетельствует о том, что в пределах каждого линейного блока на западной периферии Кузнецкой впадины угленосные толщи были выведены на поверхность одновременно и быстро. Пространственное распределение датировок подтверждает реконструируемую по геологическим данным картину развития переходных зон от новейших орогенов к впадинам, где наиболее универсальной закономерностью является поэтапное разрастание горных сооружений за счет вовлечения в поднятие периферических полос впадин, отсекаемых от них по взбросам. Датировки, отвечающие временному интервалу пожаров (1.2 ± 0.5 и 1.1 ± 1.1 млн лет), соответствуют началу высотной дифференциации рельефа западной окраины Кузбасса.

В настоящее время пирометаморфические комплексы этого возраста расположены уже за пределами Кузнецкой равнины, в пределах Тыргана (который представляет собой нижнюю ступень Салаирской возвышенности). Эта ступень имеет субмеридиональное простирание и с запада, и с востока, ограничена взбросовыми уступами с падением плоскостей сместителя взбросов на запад — под Салаир. Это позднепалеозойско-раннемезозойские разломы, лишь обновленные в поздненеоген-четвертичное время. Именно в этом районе проходил стык Кузбасса и Салаира в начале интенсивной фазы движения. С ним связаны и наиболее высокоамплитудные новейшие деформации, спровоцировавшие деметанизацию угольных пластов, и последовавшие за ними крупномасштабные угольные пожары. Более молодая группа датировок (0.1 ± 0.4 и 0.3 ± 0.4 млн лет) характеризует пирогенные комплексы, локализованные восточнее Тыргана, в том числе на современной границе Кузнецкой равнины. Меньшая степень эродированности этих комплексов является подтверждением их относительной молодости.

Таким образом, первые датировки, полученные по предложенной методике в рамках разрабатываемой концепции, показали, что новейшая активизация на северной границе гор юга Сибири носила дискретный характер и началась не позднее рубежа неогена и четвертичного периода. Дискретность распределения датировок позволяет выделить и более поздний этап усиления новейших движений в среднеплейстоценовое время. Намечается тренд распространения зоны новейших деформаций от горных сооружений Салаира к центру впадины.

Особенности метода $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирования применительно к пирометаморфическим породам. Необходимыми условиями пригодности пирогенных образцов для $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирования являются: тотальное преобразование минералов протолита, высокие валовые содержания калия в породах на фоне низких или умеренных концентраций кальция, наличие фаз-концентраторов калия в новообразованных плавленых породах, особенно благоприятно присутствие значительных количеств калиевых стекол.

Датирование паралав древних пожаров выполнено методом ступенчатого прогрева с привлечением минералогических критериев идентификации источников аргона (по изотопам, образовавшимся в процессе облучения быстрыми нейтронами на Са, Сl и К), а также внутренних (методы возрастного плато и изохронной регрессии) и внешних критериев („критерии пары“ [Морозова, Рублев, 1987], геологический и стратиграфический контроль) достоверности изотопного возраста. Морфологические особенности кристаллитов, присутствующих в клинкерах и паралавах (дендриты, скелетные формы, футлярные кристаллы), а также обилие свежего стекла позволяют утверждать, что охлаждение пирогенных расплавов происходило в режиме закалки. Следовательно, при охлаждении пород происходило фактически мгновенное (в геологическом масштабе времени) замораживание диффузионного обмена, в том числе закрытие К/Аг

системы. Итак, датировки, полученные $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -методом, точно соответствуют моменту прекращения высокотемпературного воздействия в конкретной точке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Возникновение горных сооружений в пределах мобильных зон Центральной Азии на континентальном этапе в пермокарбоне, юре и кайнозойе происходило по сходному сценарию. На ранних этапах активизации в условиях умеренных тектонических движений формировались системы невысоких гор, разделенные бассейнами водной седиментации, по периферии которых происходило массовое накопление углей. В ходе последующих фаз орогенеза происходило осушение бассейнов, выведение угленосных осадков в зону аэрации и их возгорание. Пирометаморфические комплексы проявлены на границах практически всех крупных новейших горных сооружений региона [Пирогенный..., 2005]. Мощность пирогенных комплексов обычно не превышает первых сотен метров. Поэтому для сохранения горельников позднепермского и позднеюрского возрастов было необходимо достаточно редкое сочетание геологических условий, которое бы обеспечило их захоронение в процессе общего воздымания территории. До сих пор такие комплексы нигде в мире не найдены, но они неизбежно должны были формироваться. Обнаружение их продуктов хотя бы в переотложенном виде является вопросом времени.

Пока датирование проводилось только по паралавам, применимость предлагаемого метода ограничена, поскольку эти породы относительно редки и не всегда имеют оптимальный состав. Следующими шагами в совершенствовании разработанного алгоритма является апробация метода К/Аг-датирования и адаптация обеих методик ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ - и К/Аг-датирования) для определения возраста широко распространенных клинкеров. Это позволит получить надежный инструмент датирования тектонических событий на всем протяжении границ горных сооружений, примыкающих к угленосным бассейнам. Развитие нового методологического подхода и детальное обследование пирогенных комплексов Центральной Азии и в первую очередь Горного Алтая, Кендерлыкской мульды и Джунгарской впадины явится базой для создания хронологически обоснованной модели геологической истории новейшего орогенеза региона.

Большую помощь в обсуждении полученных результатов оказали чл.-кор. РАН Г.И. Грицко, д. г.-м. н. И.А. Калугин, академик РАН В.В. Ревердатто и чл.-кор. РАН В.В. Ярмолюк, в вопросах методических подходов к выбору пирогенных образцов, пригодных для $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирования, — профессор И. Колодный (Иерусалим, Израиль); в аналитических исследованиях — к. г.-м. н. Е.Н. Нигматулина, С.Н. Федорова, к. г.-м. н. Л.Д. Холодова и В.А. Малышева. Всем им авторы выражают искреннюю признательность. Авторы благодарны рецензентам чл.-кор. РАН Е.В. Складову и д. г.-м. н. М.М. Буслову за конструктивный анализ рукописи.

Работа осуществлена при поддержке гранта Президента РФ для поддержки ведущих научных школ „Сибирская метаморфическая школа“ № НШ-4922.2006.5, РФФИ (гранты 05-05-65036 и 05-05-64438) и интеграционного проекта СО РАН № 105.

ЛИТЕРАТУРА

Афонин В.П., Гуничева Т.Н., Пискунова Л.Ф. Рентгенофлуоресцентный силикатный анализ. Новосибирск, Наука, 1984, 227 с.

Бутов П.И., Яворский В.И. Материалы для геологии Кузнецкого каменноугольного бассейна. Петроград, 1922, 88 с. (Тр. Геол. ком., вып. 48).

Газоносность угольных бассейнов и месторождений СССР. Угольные бассейны Сибири, Казахстана и Дальнего Востока. Т. 2 / Ред. А.И. Кравцов. М., Недра, 1979, 455 с.

Газоносность угольных бассейнов и месторождений СССР. Угольные бассейны Сибири, Казахстана и Дальнего Востока. Т. 3 / Ред. А.И. Кравцов. М., Недра, 1980, 217 с.

Гапеев А.А. Твердые горючие ископаемые (каустобиолиты). М., Гос. изд-во геол. лит., 1949, 335 с.

Геология СССР. Т. XIV, ч. I. Геологическое описание / Ред. В.И. Яворский. М.; Л., Гос. изд-во геол. лит., 1948, 708 с.

Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. Т. 7: Кузнецкий, Горловский бассейны и другие угольные месторождения Западной Сибири / Ред. В.И. Яворский. М., Недра, 1969, 912 с.

Добрецов Н.Л., Берзин Н.А., Буслов М.М., Ермиков В.Д. Общие проблемы эволюции Алтайского региона и взаимоотношения между строением фундамента и развитием неотектонической структуры // Геология и геофизика, 1995, т. 36 (10), с. 5—19.

Калугин И.А., Третьяков Г.А., Бобров В.А. Железорудные базальты в горелых породах Восточного Казахстана. Новосибирск, Наука, 1991, 80 с.

Карасевич А.М., Хрюкин В.Т., Зимаков Б.М., Матвиенко Н.Г., Золотых С.С., Натура В.Г., Попова Г.С. Кузнецкий бассейн — крупнейшая сырьевая база промышленной добычи метана из угольных пластов. М., Изд-во Акад. горн. наук, 2001, 63 с.

Кольцов К.С., Попов Б.Г. Самовозгорание твердых веществ и материалов и их профилактика. М., Химическая промышленность, 1978, 184 с.

Крупенинников Б.С. Прокопьевский и Киселевско-Афонинский районы // Полезные ископаемые Зап.-Сиб. края. Т. III. Угли. Новосибирск, ОГИЗ, 1935, с. 297—325.

Кухаренко Т.А. Химия и генезис ископаемых углей. М., Госгортехиздат, 1960, 328 с.

Лепезин Г.Г., Травин А.В., Юдин Д.С., Волкова Н.И., Корсаков А.В. Возраст и термическая история максютовского метаморфического комплекса (по $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ данным) // Петрология, 2006, т. 14, № 1, с. 109—125.

Морозова И.М., Рублев А.Г. Калий-аргоновые системы полиметаморфических пород // Изотопное датирование процессов метаморфизма и метасоматоза / Ред. Ю.А. Шуколюкова. М., Наука, 1987, с. 19—28.

Новиков И.С. Морфотектоника Алтая. Новосибирск, Изд-во СО РАН, филиал „Гео“, 2004, 313 с.

Новиков И.С., Сокол Э.В. Новый подход к определению главных хронологических рубежей неотектонической активизации Центрально-Азиатского горного пояса // Фундаментальные проблемы геотектоники. Области активного тектогенеза в современной и древней истории земли: материалы XL тектонического совещания. Т. 2. М., ГЕОС, 2007, с. 56—59.

Пирогенный метаморфизм / Э.В. Сокол, Н.В. Максимова, Е.Н. Нигматулина, В.В. Шарыгин, В.М. Калугин. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2005, 284 с.

Ревердатто В.В. Фации контактового метаморфизма. М., Недра, 1970, 271 с.

Саидов М.Н. Мезокайнозойские континентальные отложения Джунгарской впадины // Изв. АН СССР. Сер. геол., 1956, № 10, с. 85—97.

Сокол Э.В., Новиков И.С., Травин А.В., Новикова С.А. Возраст главной фазы новейших орогенных событий в северной части Центрально-Азиатского горного пояса: реконструкция по пирометаморфическим индикаторам на примере Салаира и Кузнецкой впадины // Фундаментальные проблемы геотектоники. Области активного тектогенеза в современной и древней истории Земли: Материалы XL тектонического совещания. Т. 2. М., ГЕОС, 2007, с. 219—222.

Чесноков Б.В., Щербакова Е.П. Минералогия горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (опыт минералогии техногенеза). М., Наука, 1991, 151 с.

Шарыгин В.В., Сокол Э.В., Нигматулина Е.Н., Лепезин Г.Г., Калугин В.М., Френкель А.Е. Минералогия и петрография техногенных парабазальтов Челябинского бурогоугольного бассейна // Геология и геофизика, 1999, т. 40 (6), с. 896—915.

Угольная база России. Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири. Т. II / Ред. В.Ф. Череповский. М., Геоинформцентр, 2003, 985 с.

Эйхвальд Э.И. Об открытиях месторождений каменного угля и графита и о подземных пожарах по Нижней Тунгуске и Таймыру // Горный журнал, 1864, кн. 3, № 7, с. 117—153.

Яворский В.И. Материалы для геологии Кузнецкого каменноугольного бассейна. Тырган и прилегающая к нему полоса угленосных отложений. Л., Изд-во Геол. ком., 1924, 31 с.

Яворский В.И., Бутов П.И. Кузнецкий каменноугольный бассейн Л., Изд-во Геол. ком., 1927, 224 с. (Труды Геол. ком. Нов. сер., вып. 177).

Яворский В.И., Радугина Л.В. Каменноугольные пожары в Кузнецком бассейне и связанные с ними явления // Горный журнал, 1932, № 10, с. 55—59.

Ярмолюк В.В., Коваленко В.И. Глубинная геодинамика, мантийные плюмы и их роль в формировании Центрально-Азиатского складчатого пояса // Петрология, 2003, т. 11, № 6, с. 556—586.

Ярмолюк В.В., Иванов В.Г., Коваленко В.И. Динамика формирования и магматизм позднемезозойско-кайнозойской Южно-Хангайской горячей точки мантии (Монголия) // Геотектоника, 1994, № 5, с. 28—45.

Ярмолюк В.В., Иванов В.Г., Коваленко В.И. Источники внутриплитного магматизма Западного Забайкалья в позднем мезозое—кайнозое (на основе геохимических и изотопных данных) // Петрология, 1998, т. 6, № 2, с. 115—139.

Bentor Y.K., Kastner M., Perlman I., Yellin Y. Combustion metamorphism of bituminous sediments and the formation of melts of granitic and sedimentary composition // Geochim. Cosmochim. Acta, 1981, v. 45, p. 2229—2255.

Cosca M.A., Essene E.J., Geissman J.W., Simmons W.B., Coates D.A. Pyrometamorphic rocks associated with naturally burned coal beds, Powder River Basin, Wyoming // Amer. Miner., 1989, v. 74, p. 85—100.

De Grave J., Buslov M.M., Van den Haute P., Dehandschutter B., Delvaux D. Meso-Cenozoic evolution of mountain range — intramontane basin systems in the southern Siberian Altai Mountains by apatite fission-track thermochronology // Thrust belts and foreland basins: from fold kinematics to hydrocarbon systems / Eds. O. Lacombe, J. Lave, F. Roure, J. Vergs. Berlin; Heidelberg, Frontiers in Earth Sciences, Springer Book Series, 2006, ch. 24, p. 457—470.

De Grave J., Buslov M.M., Van den Haute P. Distant effect of India-Eurasia convergence and Mesozoic intracontinental deformation in central Asia: constraints from apatite fission-track thermochronology // *J. Asian Earth Sci.*, 2007, v. 29, p. 188—204.

Fleck R.J., Sutter J.F., Elliot D.H. Interpretation of discordant $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age-spectra of Mesozoic tholeiites from Antarctica // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1977, v. 41, p. 15—32.

Grapes R.H. Melting and thermal reconstruction of pelitic xenoliths, Wehr Volcano, East Eifel, West Germany // *J. Petrol.*, 1986, v. 27 (2), p. 343—396.

Gur D., Steinitz G., Kolodny Y., Starinsky A., McWilliams M. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of combustion metamorphism („Mottled Zone“, Israel) // *Chem. Geol.*, 1995, v. 122, p. 171—184.

Heffern E.L., Coates D.A. Geological history of natural coal-bed fires, Powder River basin, USA // *Int. J. Coal Geol.*, 2004, v. 59, p. 25—47.

Kolodny Y., Bar M., Sass E. Fission track age of the „Mottled Zone“ in Israel // *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1971, v. 11, p. 269—272.

Molnar P., England P. Late Cenozoic uplift of mountain ranges and global climatic changes: chicken or egg? // *Nature*, 1990, v. 346, p. 29—34.

Pouchou J.L., Pichoir F. ‘PAP’ (ppz) procedure for improved quantitative microanalysis // *Microbeam analysis* / Ed. J.T. Armstrong. San Francisco, CA San Francisco Press, 1985, p. 104—106.

Schreyer W., Maresch W.V., Daniels P., Wolfsdorff P. Potassic cordierites: characteristic minerals for high-temperature, very low-pressure environments // *Contr. Miner. Petrol.*, 1990, v. 105, p. 162—172.

Shairer J.F. The alkali feldspar join in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8\text{—KAlSi}_3\text{O}_8\text{—SiO}_2$ // *J. Geol.*, 1950, v. 58, p. 512—517.

Sokol E.V., Sharygin V.V., Kalugin V.M., Volkova N.I., Nigmatulina E.N. Fayalite and kirschsteinite solid solutions in melts from burned spoil-heaps, South Urals, Russia // *Eur. J. Miner.*, 2002, v. 14, p. 795—807.

Tulloch A.J., Campbell J.K. Clinoenstatite-bearing buchites probably from combustion of hydrocarbon gases in a major thrust zone, Glenroy Valley, New Zealand // *J. Geol.*, 1993, v. 101, p. 404—412.

*Рекомендована к печати 16 ноября 2007 г.
А.Э. Изухом*

*Поступила в редакцию 22 марта 2007 г.,
после доработки — 9 июля 2007 г.*