

**ПРИРОДНЫЕ УГОЛЬНЫЕ ПОЖАРЫ КУЗБАССА: ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ,
КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ, ВОЗРАСТ**

Э.В. Сокол¹, С.А. Новикова¹, Д.В. Алексеев¹, А.В. Травин^{1,2,3}

¹Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия

²Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2, Россия

³Томский государственный университет, 634050, Томск, просп. Ленина, 36, Россия

Статья суммирует результаты исследований плейстоценовых пирогенных комплексов Кузбасса. Методом ступенчатого прогрева выполнено $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирование паралав и клинкеров. На этой основе реконструирована последовательность реактивации древних разломов в Присалаирской зоне и получены оценки временных рубежей развития современной гидросети. Сопоставлены разрезы горельников с западной окраины и из центра Кузнецкой впадины. Дан анализ геологических факторов риска природных возгораний углей. Показано, что на западной окраине Кузбасса палеопожары возникали на мощных крутопадающих пластах, на участках с преобладанием мягких витрено-клареновых углей, обладающих высокой сорбционной емкостью в отношении метана и кислорода. Поля глубоко денудированных высокотемпературных горельников приурочены к сводам слабонарушенных антиклиналей. Доступ воздуха к углям был обеспечен в ходе позднекайнозойской реактивации разломов, и последующего эрозионного расчленения осадочных толщ. Их воспламенение от внешнего источника зажигания представляется более вероятным, нежели самовозгорание. Глубины распространения палеопожаров, достигающие 200 м, указывают на их возникновение в теплом и сухом климате. В центре Кузбасса разрозненные очаги пожаров возникли на пластах самовозгорающихся углей в ходе проработки современной гидросети. Горельники здесь слабо эродированы и преимущественно сложены породами начальной степени обжига. Геологические наблюдения и результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирования пирогенных пород свидетельствуют, что на западной окраине Кузбасса первая волна массовых возгораний прошла в эоплейстоцене (1.3—0.9 млн лет). За верхний возрастной рубеж начала высотной дифференциации рельефа этого района, связанной с реактивацией Тырганского взброснадвига и Афонино-Киселевского взброса, можно принять наиболее древнюю $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датировку — 1.7 ± 0.3 млн лет. Времена повторных возгораний на западной окраине (0.2 ± 0.1 млн лет) и в центре бассейна (0.13—0.02 млн лет) близки. Эти пожары с высокой вероятностью произошли в казанцевское межледниковье, когда закладывалась современная гидросеть.

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирование, угольные пожары, пирометаморфические комплексы, климат, паралавы, клинкеры, Кузбасс.

**NATURAL COAL FIRES IN THE KUZNETSK COAL BASIN:
GEOLOGIC CAUSES, CLIMATE, AND AGE**

E.V. Sokol, S.A. Novikova, D.V. Alekseev, and A.V. Travin

The paper summarizes data on the Pleistocene combustion metamorphic complexes of the Kuznetsk Coal Basin. Paralava and clinker samples are dated by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ incremental heating. The $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of the combustion metamorphic rocks permit reconstructions of the succession of renewed activity of ancient faults in the Salair zone and age estimates for the evolution of the present-day drainage network. Cross sections of burned rocks from the western margin and center of the Kuznetsk Basin are compared. The geologic factors of coal ignition risks are analyzed. On the western margin of the Kuznetsk Basin, paleofires occurred in steeply dipping thick seams with predominant crushed vitrain–clarain coal, which has a high oxygen and methane adsorption capacity. Highly denuded high-temperature combustion metamorphic complexes are most often localized in the arches of slightly broken anticlines. Oxygen was supplied to the coals during the Late Cenozoic renewed fault activity and the subsequent erosion of the sediments. The natural fires in the area were a result of external rather than spontaneous ignition. The paleofire depths (up to 200 m) indicate that they occurred in a warm and dry climate. In the center of the Kuznetsk Basin, dispersed fire foci appeared in seams of self-igniting coals with the erosion propagation of the current drainage network. The combustion metamorphic complexes here are partly

eroded and consist mostly of clinkers with a low degree of alteration. The $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages and geological data indicate that the earliest large-scale combustion events on the western periphery of the basin occurred in the Eopleistocene (1.3–0.9 Ma). The oldest $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age of a coal fire episode (1.7 ± 0.3 Ma) might be the upper age boundary of the altitude differentiation of topography, which corresponds to the renewed activity of the Tyrgan and Afonino–Kiselevsk faults. The later coeval combustion events on the western margin (0.2 ± 0.1 Ma) and in the center of the basin (0.13–0.02 Ma), most probably, occurred during the Kazantsevia interglacial, which gave rise to the present-day drainage network.

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating, coal fires, combustion metamorphic complexes, climate, paralavas, clinkers, Kuznetsk Basin

ВВЕДЕНИЕ

В эпохи массового захоронения органического вещества обеспечивалась изоляция каустобиолитов от кислорода атмосферы. В ходе неотектонической активизации, выразившейся в блоковых перемещениях фундамента дна осадочных бассейнов, особенно в их прибортовых частях, колоссальные объемы ископаемого органического топлива оказались выведенными на дневную поверхность [Пирогенный..., 2005; Coal..., 2010]. Усилившееся эрозионное расчленение территории обеспечило непосредственный контакт окислителя и топлива, создав главные предпосылки пожаров. Уголь, попав в зону аэрации, адсорбирует кислород и либо возгорается, либо вследствие окислительной дезактивации, быстро утрачивает способность к воспламенению [Кухаренко, 1960; Coal..., 2010]. Поэтому естественные угольные пожары возникают как «немедленный отклик» на тектоническую активизацию и интенсификацию эрозионных процессов. Следовательно, абсолютное датирование эпизодов пирогенного метаморфизма дает возможность реконструировать на численной основе позднекайнозойскую геологическую историю осадочных бассейнов [Heffern et al., 2007; Новиков и др., 2008]. Поскольку угольные пожары обычно возникают в теплых и засушливых обстановках [Яворский, Радугина, 1932; Усов, 1935; Heffern et al., 2007], их климатическая обусловленность открывает перспективы использования пирогенных пород в качестве новых климатических индикаторов.

Сегодня эта точка зрения подтверждена результатами датирования пирогенных комплексов Великих Равнин США [Heffern et al., 2007]. Оно было выполнено (U-Th)/He и трековым методом по отожженному в ходе угольных пожаров детритовым цирконам из клинкеров. Этими методами удалось датировать пожары, возраст которых не превышал 1 млн лет, и реконструировать этапы развития современной гидросети. По результатам датирования был сделан вывод о приуроченности палеопожаров к межледниковым периодам плейстоцена. Этот подход к датированию пирогенных событий мог бы быть признан наилучшим, однако его применимость резко ограничивают палеогеографические условия формирования угленосных отложений, — цирконы накапливаются только в осадках прибрежной зоны. Таким образом, существует потребность в разработке иных методик датирования пирогенных пород, применимых к более широкому спектру осадочных протолитов.

Принципиально иная методика датирования пирогенных плавленых пород, основанная на традиционном $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -методе ступенчатого прогрева, была отработана нами на материале плейстоценовых горельников Кузбасса. Наиболее древние датировки (~1.2 млн лет) были получены для горельников из зоны сочленения Кузнецкой впадины и Салаирского кряжа [Новиков и др., 2008]. Наряду с K/Ar-методом $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -метод широко применяется для датирования кайнотипных базитовых пород [Karlstrom et al., 2007; Перепелов и др., 2010].

Данная работа ставит своими целями: 1) реконструировать детали геологического строения разновозрастных горельников; 2) установить главные факторы риска (тектонические, структурные, вещественные) возникновения природных угольных пожаров в Кузбассе; 3) датировать пирогенные породы и реконструировать возрастные интервалы массовых возгораний угля на западной окраине и в центре Кузбасса.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ УГЛЕНОСНЫХ ТОЛЩ И ПИРОГЕННЫЕ КОМПЛЕКСЫ КУЗБАССА

Кузбасс — крупнейший угледобывающий бассейн России — рассматривается также и как наиболее перспективный для добычи сорбированного метана из угольных пластов [Карасевич и др., 2001]. Структурно он приурочен к Кузнецкой впадине, выполненной мощными (до 10 км) осадками, относящимися к возрастному интервалу D_2 — J_2 (табл. 1). По периферии впадины верхнепалеозойско-мезозойские осадочные комплексы были нарушены в результате реактивации древних разломов в позднекайнозойское время. Максимально деформированы толщи на северо-западной и юго-западной окраинах впадины [Геология..., 1969; Угольная база..., 2003]. Следы древних угольных пожаров встречаются в

Таблица 1. Стратиграфия и угленосность верхнего палеозоя Кузбасса [Угольная база..., 2003; Кудинов, 2007]

Серия	Подсерия	Свита	Мощность отложений, м	Число угольных пластов	Суммарная мощность угольных пластов, м	Угленосность, % (диапазон угленосности, %)
Кольчугинская (P ₂ kl)	Ерунаковская (P ₂ er)	Тайлуганская (P ₂ tl)	1900—2580	105	101.5	3.6 (0.7—16)
		Грамотеинская (P ₂ gr) Ленинская (P ₂ ln)				
	Ильинская (P ₂ il)	Ускатская (P ₂ usk) Казанково-Маркинская (P ₂ k-m)	1000—1600	64	12.6	1.4
Балахонская (C ₁ -P ₁ bl)	Верхнебалахонская (P ₁ bl)	Кемеровская (P ₁ km) Ишановская (P ₁ is) Промежуточная (P ₁ pr)	825—1275	68	98.6	4.0 (1.3—21)
		Нижнебалахонская (C ₂₋₃ bl)				
	Острогская (C ₁₋₂ os)	Каезовская (C ₂ ks) Евсеевская (C ₁ ev)	100—600	—	—	< 1

Кузбассе повсеместно. Однако большинство палеовозгораний сосредоточено на четырех площадях: Кемеровской, Прокопьевско-Киселевской, Кондомской и Ерунаковской. В 2005—2009 гг. нами были изучены пирогенные комплексы интенсивно деформированной западной окраины (Прокопьевско-Киселевская площадь, присалаирский комплекс) и слабдеформированной центральной части Кузнецкого бассейна (Ерунаковская площадь, комплексы соколовский, камушек, инской, караканский) (см. рис. 1). При анализе геологической ситуации и особенностей строения горельников наряду с собственными полевыми наблюдениями были использованы фондовые материалы (Медникова, Жданова, 1967 г.; Жданова и др., 1970 г.) и крупномасштабные карты [Луппов, 1964, 1965; Фотьева, 1984; Юзвицкий, 1998, 2000].

Присалаирский комплекс

Краткий очерк геологического строения района. Западная окраина Кузнецкого прогиба интенсивно деформирована в результате надвигания Салаирского блока в условиях субгоризонтального сжатия [Яворский, 1970; Угольная база..., 2003; Кудинов, 2007]. Блочное строение района задает серия субпараллельных разломов взбросонадвигового типа с общей амплитудой вертикальных смещений до 2000 м. Крупнейшие из них — Тырганский, Тайбинский, Афоново-Киселевский и Киселевский — взбросы и взбросонадвиги ограничивают в рельефе три высотных ступени. Абсолютные отметки верхней ступени — 440—460 м; средней — 380—400 м, нижней — 320—370 м (рис. 2). В пределах средней высотной ступени выделяются Западная и Центральная тектонические зоны [Кудинов, 2007]. В Западной зоне преобладают сжатые линейные складки с крутонаклонными, часто опрокинутыми крыльями; в Центральной зоне — брахиформные складки. В Восточной зоне, пространственно совпадающей с нижней ступенью, преобладают открытые складки.

В районе распространены угленосные отложения кемеровской и ишановской свит (P₁is, P₁km) верхнебалахонской подсерии (табл. 2). Мощность рабочих пластов колеблется от 0.8 до 24 м. Коэффициент угленосности близок к максимальному в Кузбассе (до 21 %). В Западной зоне преобладают слабометаморфизованные матовые и полуматовые дюрено-фюзеновые угли марок ДГ, Г, ГЖ (R^o < 1.1 %). Угли средних (КЖ, КС, СС, ОС; R^o = 0.8—1.5 %) и высоких степеней метаморфизма (К, Т; R^o = 1.0—1.75 %) с преобладанием полублестящих витрено-клареновых литотипов распространены в Центральной и на юге Восточной зоны. На участках крутого залегания обычны раздувы и пережимы пластов, где уголь интенсивно перемят. Для главных рабочих пластов Внутреннего III, IV, V доля мятых углей превышает 30 %; для пластов Характерного, Горелого и Внутреннего II, VI составляет 20—30 %; для Мощного — 15—20 %.

Природная метаносность в Прокопьевско-Киселевском районе колеблется от 10—45 м³/т в угольных пластах и до 1—3 м³/т — во вмещающих породах [Карасевич и др., 2001; Кудинов, 2007]. Основной объем (90—95 %) метана находится в сорбированном состоянии. Наибольшей газоносностью (до 32—34 м³/т сухой беззольной массы угля) обладают витреновые и клареновые угли марок К и ГЖ

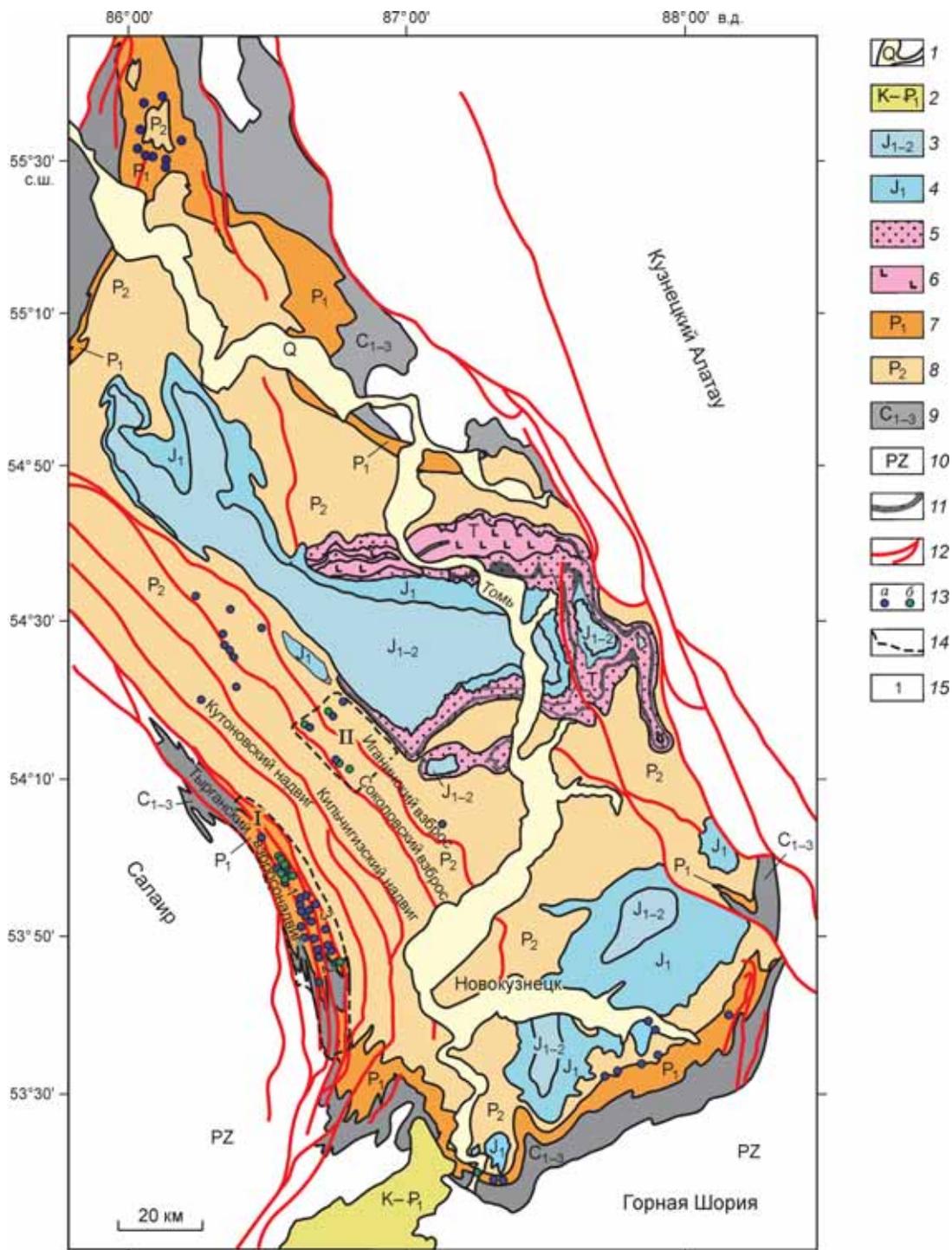


Рис. 1. Геологическая схема Кузнецкого бассейна, по [Луппов, 1964; Бабин, 2007].

1 — аллювиальные отложения речных долин; 2 — мел-нижнепалеогеновые отложения; 3 — нижнесреднеюрские угленосные отложения; 4 — нижнеюрские угленосные отложения; 5 — вулканогенно-осадочные отложения, триас; 6 — базальты, триас; 7 — нижнепермские угленосные отложения; 8 — верхнепермские угленосные отложения; 9 — каменноугольные отложения; 10 — породы фундамента Кузнецкой впадины, палеозой; 11 — базальтовые силлы, триас; 12 — главные разломы; 13 — горелые породы: а — выходы горелых пород, по [Луппов, 1964], б — выходы горелых пород по авторским данным; 14 — районы работ (детальные геологические схемы см. на рис. 2, 6): I — Прокопьевско-Киселевская площадь (присалаирский комплекс), II — Ерунаковская площадь (комплексы инской, камушек, соколовский, караканский); 15 — разломы: 1 — Тайбинский взбросонадвиг, 2 — Афонино-Киселевский взброс, 3 — Киселевский взброс.

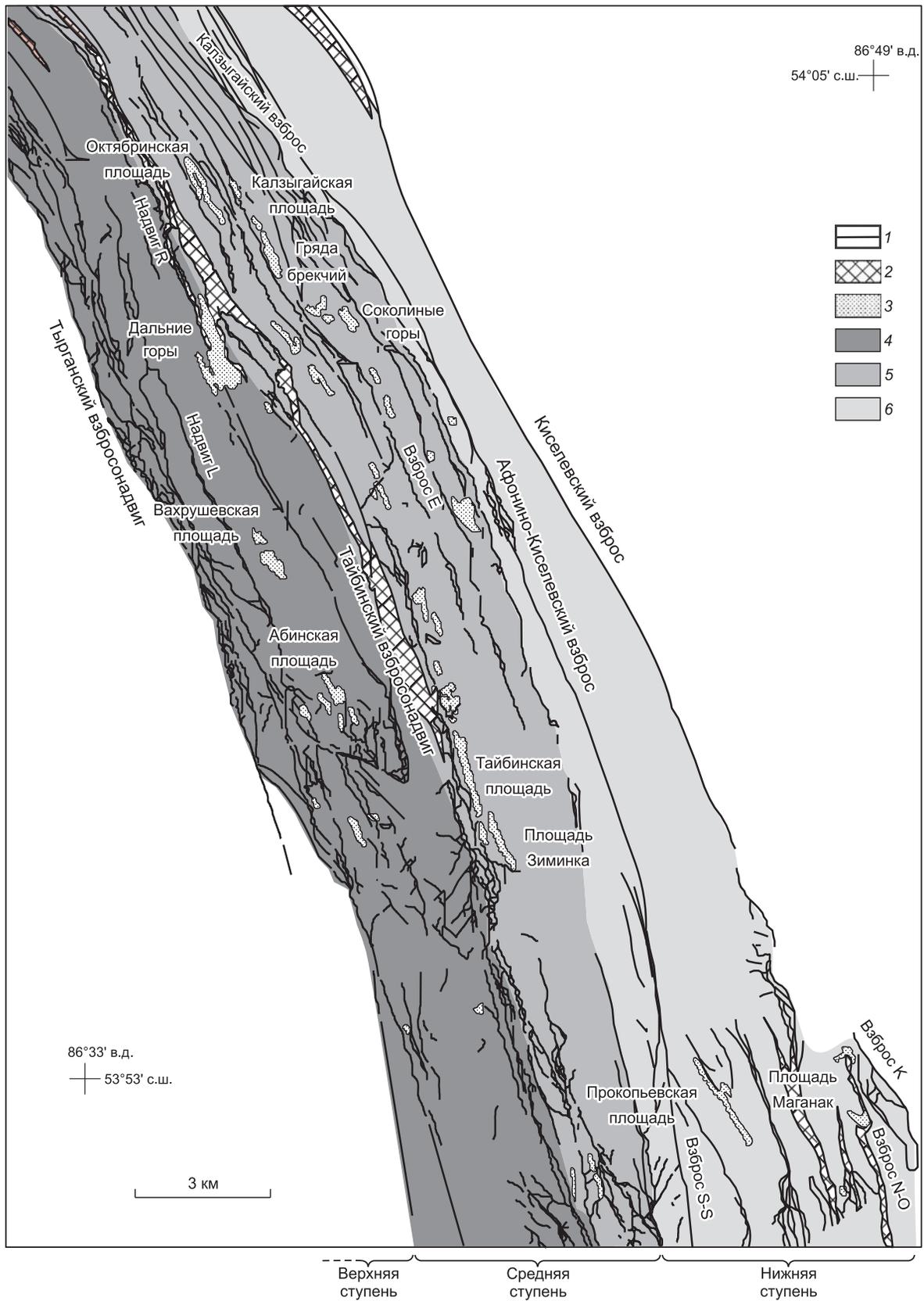


Рис. 2. Предгорные ступени, тектонические зоны и поля горельников на западной окраине Кузнецкой впадины.

1 — разломы; 2 — зоны дробления; 3 — поля горельников; 4 — Западная тектоническая зона; 5 — Центральная тектоническая зона; 6 — Восточная тектоническая зона;

Таблица 2.

Факторы риска возникновения и развития природных угольных пожаров на западной окраине Кузнецкого бассейна (Прокопьевско-Киселевская площадь) и его центральной части (Ерунаковская площадь)

Площадь, продуктивные отложения (подсерия)	Угленосность продуктивных отложений, %	Мощность индивидуальных пластов, м	Суммарная мощность угольных пластов, м	Преобладающие марки углей	Наличие мягких углей	Склонность углей к самовозгоранию	Характер складчатости	Наличие разрывных нарушений	Метаносность углей на отметке ± 0 (м ³ /т с.б.м.)	Расчлененность рельефа
Прокопьевско-Киселевская, P _{1bl}	12 (локально до 21)	до 24; преобладают пласты мощностью > 3,5	86	КЖ, К, Т	Широко распространены	Не склонны	Гребневидная, 40—90°	Широко распространены	12—15	Умеренная
Ерунаковская, P _{2et}	8 (локально до 14)	до 20; преобладают пласты мощностью 1,5—5,5	220	Д, ДГ, ГЖ, ГЖО, Г	Широко распространены	Склонны	Крупные пологие складки, ~15°	Распространены умеренно	до 3	Слабая

Примечание. P_{1bl} — верхнебалахонская подсерия; P_{2et} — ерунаковская подсерия; P_{2et} — темно-серый цвет — высокий риск; светло-серый цвет — умеренный риск; белый цвет — низкий риск; с.б.м. — сухая беззольная масса. Таблица составлена по данным [Линдену и др., 1982; Юзвickий, 1998, 2000; Угольная база..., 2003; Кудинов, 2007], (Медникова, Жданова, 1967 г.; Жданова и др., 1970 г.) и авторским наблюдениям.

Центральной и Восточной зон. Скопления свободного метана приурочены к сводам антиклинальных складок. Максимальное газовыделение зафиксировано в скважинах, пробуренных на сводах антиклиналей: I и II Тырганской, Новосергеевской, Промежуточной, «Е», «Ж», «N», «В», Красногорской, Тайбинской, Абинской, Маганакской, Калзыгайской, Муравейник и Караульная. В ряде случаев флюидоупорами выступают висячие крылья надвигов и взбросов. Неблагоприятным фактором для аккумуляции метана является сложная разрывная тектоника. В антиклинальных структурах верхняя граница зоны метанового выветривания может вплотную приближаться к дневной поверхности (абс. отметки +300...+325 м). В синклиналях она опускается до отметок +150...+250 м. В замковых частях антиклиналей метаносность пластов значительно выше, чем на крыльях и в донной части синклиналей на сопоставимых глубинах [Карасевич и др., 2001; Кудинов, 2007].

Факторы риска шахтных пожаров. Наибольшей склонностью к самовозгоранию в Прокопьевско-Киселевском районе обладают витреновые угли пластов IV Внутреннего и Горелого, а минимальной — крепкие дюреновые угли пласта Характерный. Мягкие дюреновые угли пластов Мощного и Характерного демонстрируют умеренную склонность к самонагреванию [Маревич, 1955]. К естественным факторам риска были отнесены: обилие кливажных трещин в замках антиклиналей, наличие дизъюнктивов и мягких углей (48 % пожаров). Тем не менее комплексный анализ факторов риска позволил [Маревич, 1955] выдвинуть на первый план не природные характеристики углей, а техногенные причины возгораний. С 1941 по 1953 г. при угледобыче с обрушением кровли без закладки выработанного пространства на шахтах Прокопьевско-Киселевского района возникло 209 очагов тления. Более 80 % возгораний произошло на крутопадающих (60—85°) пластах IV Внутренний, Мощный и Горелый (мощностью 4—15 м). От 70 до 90 % пожаров возникло на глубине до 100 м, в участках скопления дробленого угля (19—57 % потерь), при избыточном притоке воздуха, при длительной отработке пласта и медленном продвижении забоя (2—10 м/мес) [Манукян, 1947]. В случае наиболее пожароопасной камерной системы разработки 75 % пожаров произошло в холодное время года, когда усиливалась воздушная тяга. Следует отметить, что даже в условиях высокого техногенного риска угли продемонстрировали достаточно высокую устойчивость к саморазогреву, большинство очагов тления возникло через 6—11 мес после вскрытия пласта. За 5 лет наблюдений мест открытой угледобычи мы также не наблюдали тления угля во вскрытых пластах и в местах его складирования.

Геологическая позиция и строение горельников. На западной окраине Кузбасса цепочка естественных выходов горелых пород протягивается на 40 км (от р. Прямой Ускат на севере до г. Маганак — на юге) при ширине 3—5 км. Здесь обнаружено 28 крупных тел горельников, непрерывная протяженность которых достигает 1200 м, а площадь выходов — 70 тыс. м² [Луппов, 1964; 1965]. Глубина распространения пожаров достигает 80—200 м от современной поверхности [Геология..., 1969]. Древние пожары углей в основном затронули те же промышленные пласты, что и шахтные возгорания. Большинство из них возникло на пластах II—IV Внутреннем, Горелом и Мощном, единичные — на пластах Прокопьевском, Безымянном, Двойном и Характерном. Главные поля горель-

ников находятся в Центральной тектонической зоне и сосредоточены между Тайбинским (М-М) и Калзыгайским (S-S) взбросами. В Восточной зоне находятся только две крупные площади — Северный Маганак и Прокопьевская. Горельники Вахрушевской и Абинской площадей локализованы на стыке Западной и Центральной зон. В наиболее дислоцированной части Западной зоны, где преобладают дюреновые и фюзеновые угли, горельники не обнаружены (см. рис. 2).

Крупные тела горельников приурочены к слабонарушенным или ненарушенным замкам, реже — к крыльям антиклинальных структур. Из них II Тырганская, Промежуточная, Тайбинская, Абинская, Маганакская и Калзыгайская антиклинали отличаются высокой метаноносностью. Природные пожары в основном затронули участки с преобладанием высокометаморфизованных мятых витрено-клареновых углей, обладающих высокой сорбционной емкостью в отношении и кислорода, и метана [Маревич, 1955; Кудинов, 2007]. Только поле Дальние горы возникло при выгорании углей марок ГЖО и Г. Зачастую пожар не распространялся на смежные пласты, что в условиях их крутого падения и сближенного расположения весьма необычно [Пирогенный..., 2005] и указывает на умеренную природную пожароопасность угольных пластов этого района.

Горельники присалаирского комплекса глубоко эродированы и преимущественно сложены высокотемпературными породами — остеклованными клинкерами и пирогенными брекчиями. Обладая высокой устойчивостью к выветриванию, они формируют многочисленные сопки и гряды. Породы умеренной и слабой степени преобразования (всегда располагающиеся в верхней части горельника и слагающие его основной объем) практически целиком эродированы. Видимая мощность разрезов горелых пород составляет 10—25 м, иногда достигая 80 м. В них прослеживается четкая вертикальная зональность (рис. 3, 4). В основании разреза находятся неизменные осадки. Над ними залегает зольный горизонт (мощность 0.5—2 м), который подстилается термоантрацитом или протлевшим углем, что указывает на распространение фронта пожара от кровли к подошве пласта. Угольный пласт, залегающий в основании горельника, всегда дезинтегрирован и/или перетерт в мелкую крошку, а зольный остаток наследует текстуру дробленых углей (рис. 5).

Над зольным горизонтом располагаются пирогенные брекчии (см. рис. 4, 5). Обломки в них представлены остеклованными клинкерами, которые обычно цементируются паралавами. (Термин «паралава» (paralava) используется при описании продуктов полного плавления метаосадочного субстрата в ходе угольных пожаров [Cosca et al., 1989; Grapes, 2011]). Видимая мощность брекчий варьирует от 2 до 30 м. Они формируют пластовые тела и блоки объемом 50—100 м³. В присалаирском комплексе преобладают брекчии, возникшие при обрушении кровли выгоревшего угольного пласта. Фрагменты клинкеров (*n* см—1.5 м) сплавлены здесь в единый монолит и/или сцементированы прожилками паралав. Реже фрагменты клинкеров (*n* см—0.4 м) цементируются и ассимилируются обильными паралавами (см. рис. 5).

На площадях Соколиные горы, Дальние горы, Калзыгайская и Прокопьевская брекчии перекрываются горизонтами остеклованных клинкеров мощностью до 35 м. Они образуют полные псевдоморфозы замещения по пелитовым осадкам, наследуя их структурный рисунок. Породы умеренной степени обжига обычно целиком эродированы. Только в разрезах площадей Дальние горы, Калзыгайская и Прокопьевская сохранились их реликты — выветрелые и маломощные (до 10 м). Мощность коры выветривания по горельникам составляет 2—7 м (см. рис. 4).

Вершины и склоны «горелых сопки» перекрыты слоем современной почвы. В логах залегают (снизу вверх): бурые суглинки с дресвой умеренно преобразованных горельников и линзами розоватых «глин», представляющих собой продукты глубокого физико-химического выветривания горельника; светло-серые лессовидные суглинки со столбчатой отдельностью, содержащие до трех горизонтов палеопочв; современная почва. Морфология рыхлых отложений, перекрывающих горельники, типична для осадков еловской свиты, сформированных 23—10 тыс. лет назад [Форонова, 2001].

Уникальной особенностью угольных палеопожаров на стыке с Салаиром является их распространение на глубину до 200 м. Это означает, что во время возгораний гидрогеологическая ситуация на западной окраине Кузбасса резко отличалась от современной. Высокая угленосность толщи, высокая калорийность углей и повсеместное развитие мятых углей в совокупности с большой глубиной очагов палеопожаров обеспечили здесь формирование мощных и протяженных зон термических преобразований осадков. В горельниках присалаирского комплекса абсолютно преобладают высокотемпературные породы, некогда слагавшие корневые части разрезов и экспонированные сейчас на дневную поверхность. Мы не располагаем сведениями об аналогичных комплексах из других угольных бассейнов мира.

Пирогенные комплексы Ерунаковской площади

Краткий очерк геологического строения района. Ерунаковская площадь расположена в переходной полосе от Присалаирской зоны к центральной части бассейна, где разрывная тектоника развита слабее и преобладают мелкоамплитудные разломы [Юзвицкий, 2000; Угольная база..., 2003].

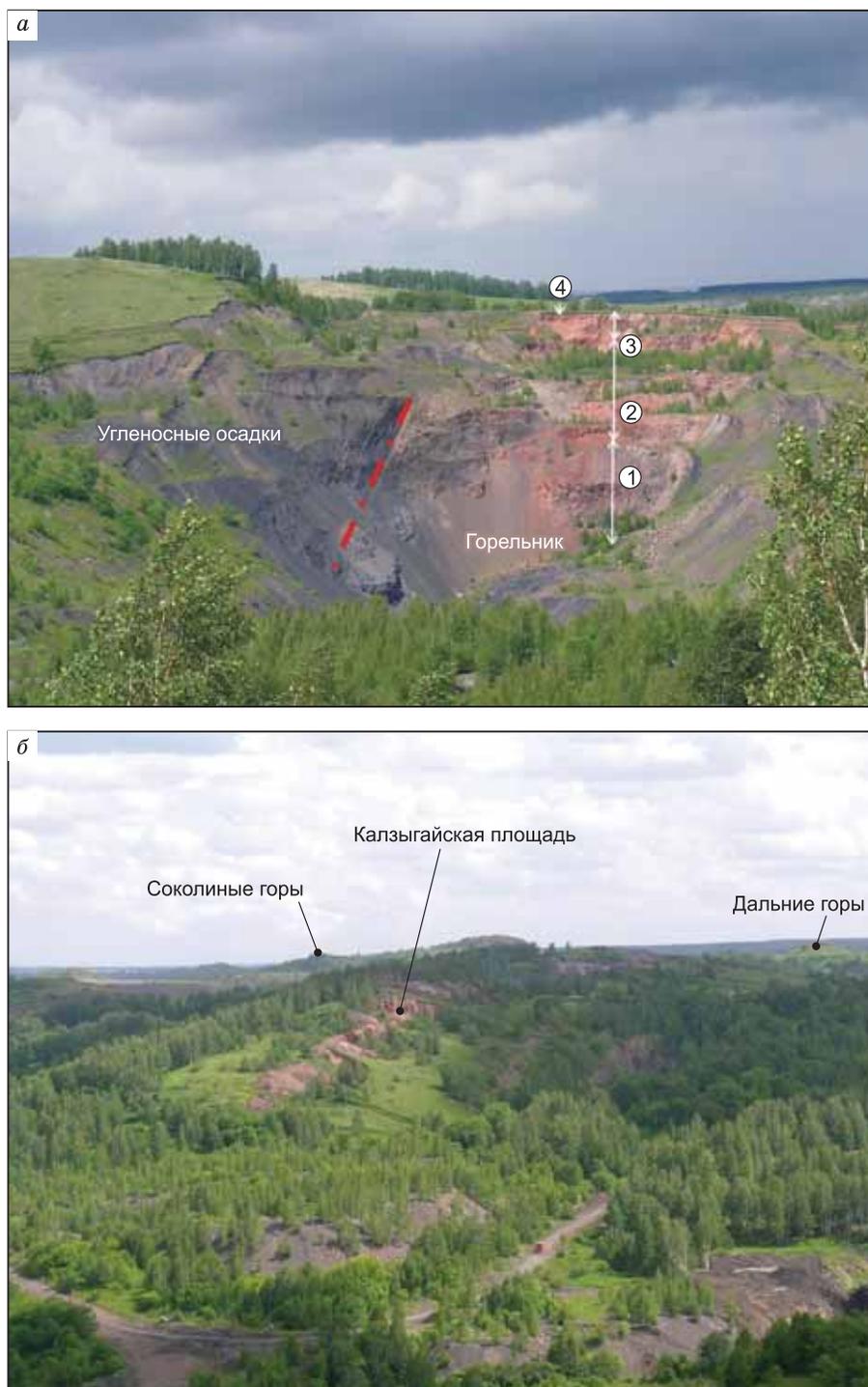


Рис. 3. Внешний облик горельников присалаирского комплекса.

a — панорама горельника, вскрытого карьером (Калзыгайская площадь), 2009 г. Видимая мощность горельника составляет ~80 м: 1 — пирогенная брекчия; 2 — остеклованные клинкеры; 3 — умеренно преобразованные пирогенные породы; 4 — четвертичные отложения (суглинки, лессовидные суглинки, современная почва); красная линия — взброс; *б* — панорама «горелых сопок», 2009 г.

В Ерунаковском районе развиты угленосные отложения ленинской (P_2ln), грамотейнской (P_2gr) и тайлуганской (P_2tl) свит (см. табл. 1). Их средняя угленосность составляет 8 %, максимальная — 14 %. Мощность рабочих пластов составляет 1.0—20 м. Преобладают мягкие и склонные к самовозгоранию слабометаморфизованные витринитовые и фюзенитовые угли марок Д, ДГ и ГЖО, Г, ГЖ (см. табл. 2). В северной части района отработка угля идет в пределах зоны метанового выветривания. На Караканс-

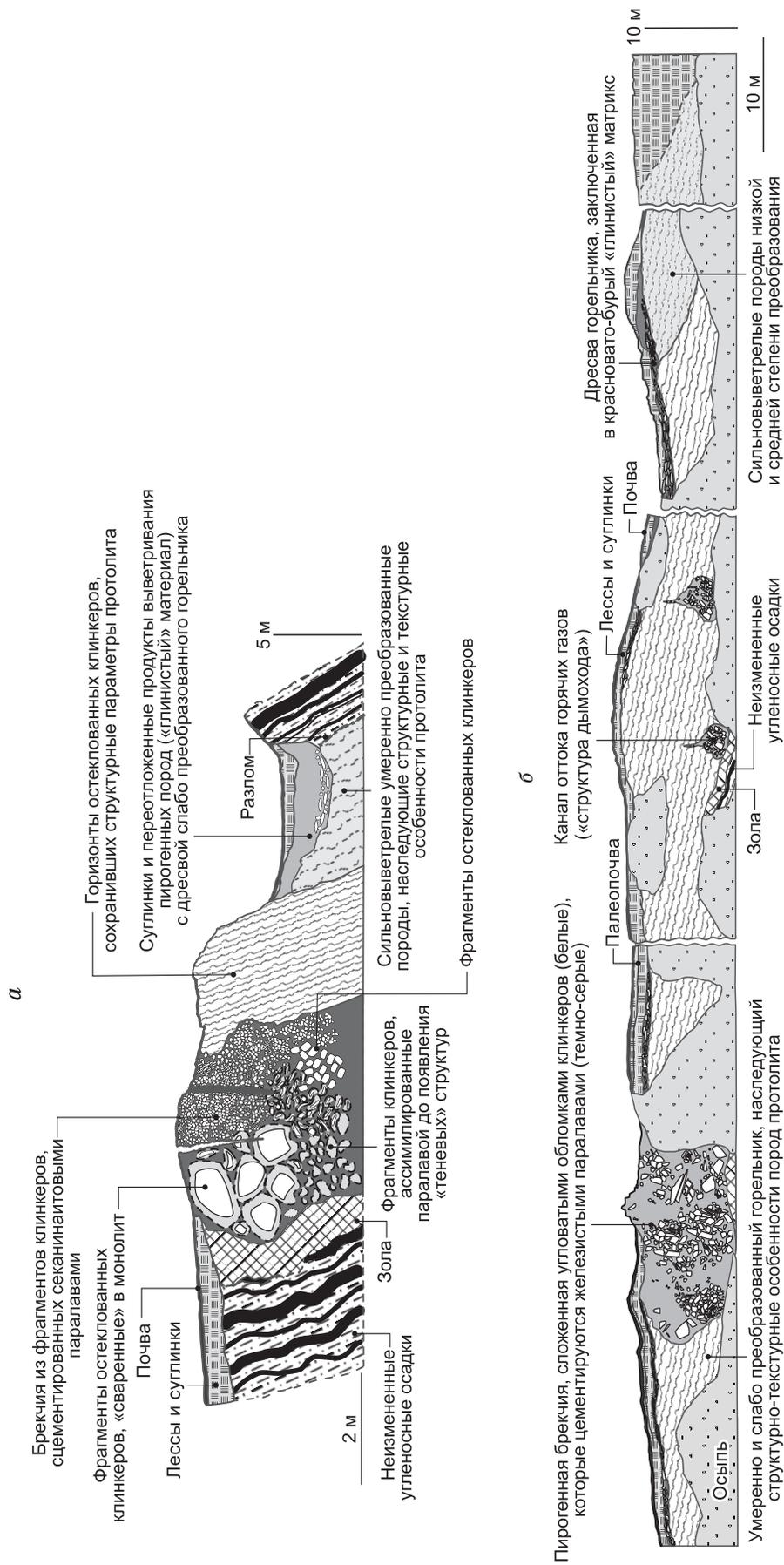


Рис. 4. Типичные разрезы горельников западной окраины (а) и центральной части Кузнецкого бассейна (б).

а — разрез горельника Калзгайской площади (построен на базе полевых наблюдений 2005—2009 гг.); б — разрез пирогенного комплекса, вскрытого в карьере Камушек, Ерунаковская площадь (построен на базе наблюдений 2008, 2009 гг.)

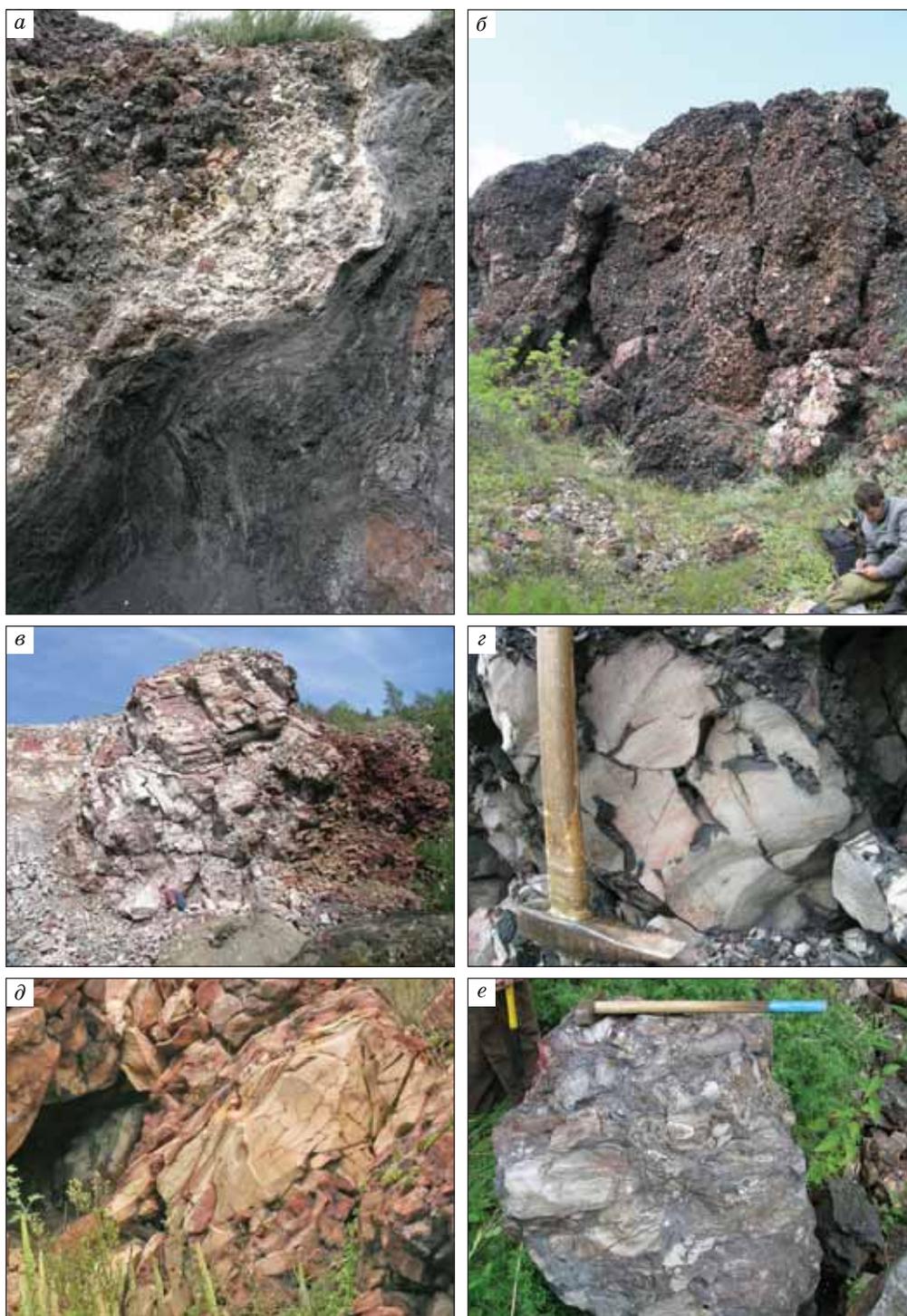


Рис. 5. Разнообразие пирогенных пород присалаирского комплекса.

a — пласт мягкого угля в основании горельника Соколиные горы (2005 г.); выше залегает зольный горизонт (белый) и пирогенная брекчия (темная); *б* — отпрепарированная эрозией мелкообломочная брекчия; изометричные фрагменты остеклованных клинкеров сцементированы обильными прожилками паралав, Прокопьевская площадь, 2005 г.; *в* — хаотическая брекчия обрушения; глыбы остеклованных клинкеров сплавлены в монолит (светлый блок слева), более мелкие фрагменты сцементированы прожилками паралав (бурый блок справа), Калзыгайская площадь, Гряда Брекчий, 2009 г.; *г, д* — увеличенные фрагменты фото *в*: *г* — брекчия, сложенная фрагментами клинкеров (светло-серые), утратившими угловатые очертания и сцементированными тонкими прожилками паралав (черные); *д* — брекчия из консолидированных в монолит обломков клинкеров; *е* — массивные паралавы, цементирующие и ассимилирующие обломки клинкеров, Соколиные горы, 2005 г.

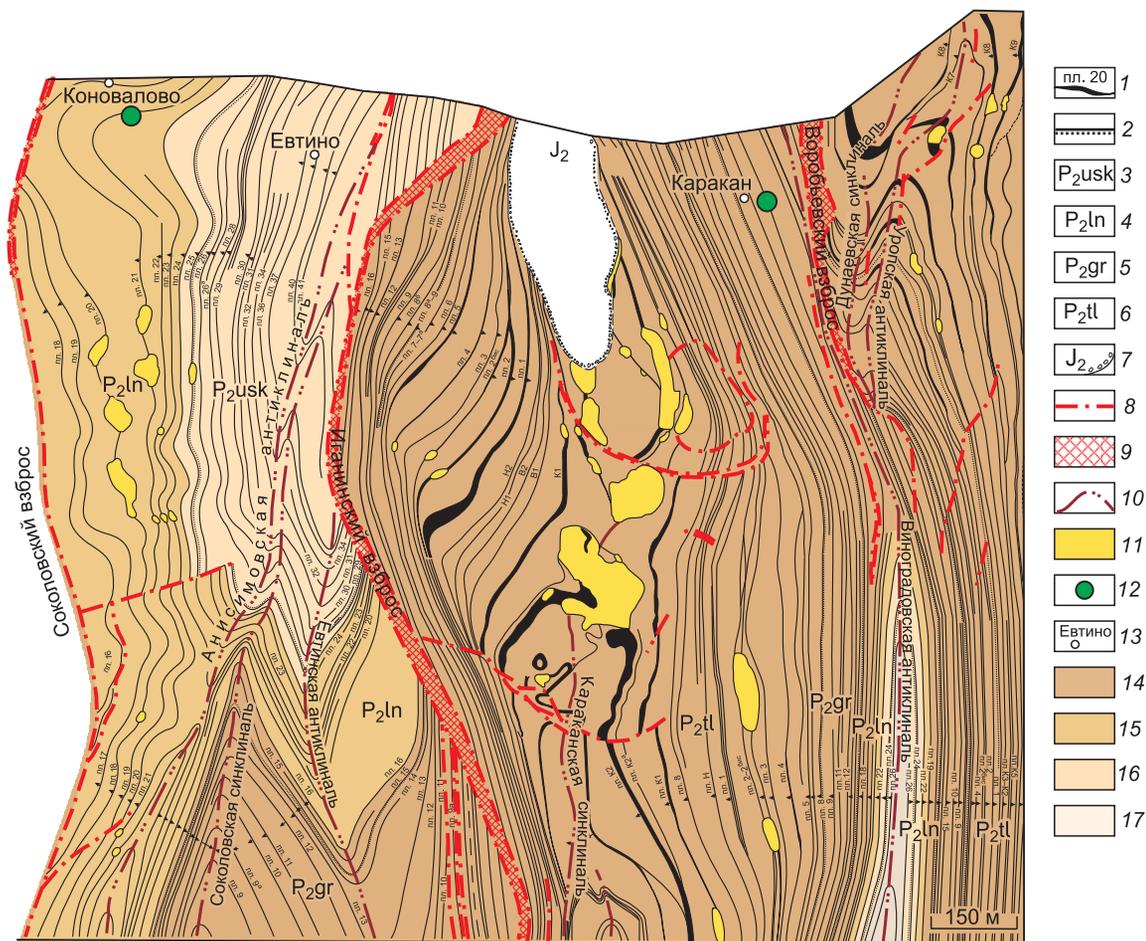


Рис. 6. Геологический план локализации горельников в северной части Ерунаковского района. Построен по материалам (Медникова, Жданова, 1967 г.; Жданова и др., 1970 г.; Фотьева, 1984 г.) и авторским наблюдениям.

1 — промышленные угольные пласты; 2 — границы стратиграфических подразделений; 3 — ускатская свита; 4 — ленинская свита; 5 — грамотеинская свита; 6 — тайлуганская свита; 7 — среднеюрские отложения; 8 — разломы; 9 — зоны дробления; 10 — оси складок; 11 — поля горельников; 12 — выходы горелых пород по авторским данным — комплекс инской (в районе д. Коновалово) и караканский (в районе д. Каракан); 13 — населенные пункты; 14—17 — марки углей: 14 — Д, 15 — ДГ, 16 — Г, 17 — ГЖО.

ком месторождении ее верхняя граница отвечает глубине 145—170 м; на Соколовском месторождении — глубине 70—110 м. Природная метаносность углей марки Д на Караканском месторождении составляет 2.0—3.5 м³/т с.б.м.

На севере Ерунаковского района сосредоточено большинство полей горельников (см. рис. 1, 6). Здесь в структуре Кузнецкой впадины выделяются три блока, ограниченных региональными разломами, субпараллельными структурам Салаирского кряжа. Наиболее сложной тектоникой отличается восточный блок, где преобладают линейные, асимметричные складки с открытым замком; углы падения крыльев складок меняются от пологих (10—20°) до крутых (60—85°). Центральный блок, ограниченный Воробьевским и Иганинским взбросами, осложняют около 30 малоамплитудных (от 6 до 50 м) разломов. Отложения смяты в несколько крупных пологих (6—20°) складок. Западный блок ограничен Соколовским и Иганинским взбросами. В его пределах разрывная тектоника развита слабо, осадки смяты в крупные складки с широкой замковой частью и пологими крыльями (см. рис. 6). В центре Ерунаковского района выявлены только единичные тела горельников (Медникова, Жданова, 1967 г., Жданова и др., 1970 г.), [Фотьева, 1984; Юзвицкий, 1998, 2000].

Геологическая позиция и строение горельников. В Ерунаковском районе преимущественно выгорали мощные пласты витринитовых углей марок Д, реже ДГ. Горельники в основном приурочены

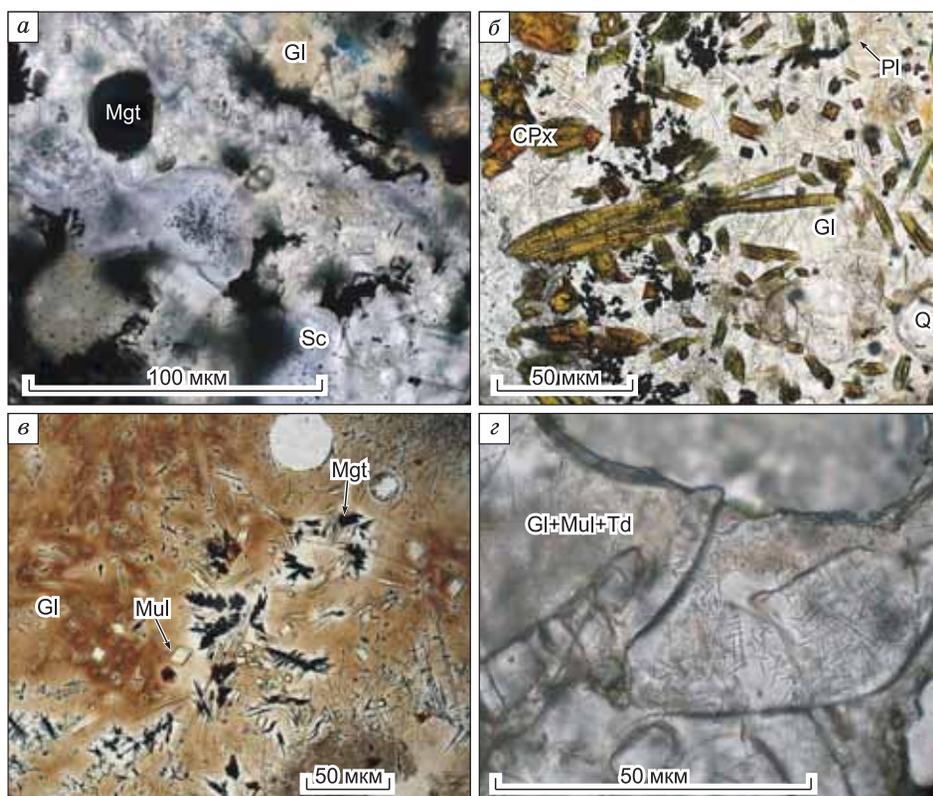


Рис. 7. Фазовый состав плавяных пирогенных пород Кузбасса.

a—d — петрографические шлифы, фото в поляризованном свете без анализатора; *a* — низкокальциевая Al-Fe-паралава (1-й тип): ярко-голубые кристаллы секанинита с включениями шпинели, лейсты тридимита и изометричные индивиды титаномагнетита в бесцветном стекле (присалаирский комплекс, Соколиные горы, обр. 05-КС-12); *b* — Fe-Al-Ca-паралава (2-й тип): удлиненные футлярные кристаллы геденбергита, заключенные в оранжевое и бесцветное стекло с микролитами основного плагиоклаза и единичными зернами обломочного кварца (присалаирский комплекс, Соколиные горы, обр. 05-КС-32-2); *c* — рудная паралава (3-й тип): короткопризматические кристаллы муллита и скелетные кристаллы магнетита в буром стекле (Ерунаковская площадь, комплекс инской, обр. 06-12-05); *d* — тридимит-муллитовый клинкер (4-й тип): бесцветное и светло-бурое стекло с игольчатыми микроиндивидами муллита и тридимита (присалаирский комплекс, Калыгайская площадь, обр. 06-23-11). СРх — клинопироксен, Gl — стекло, Mgt — Al-содержащий титаномагнетит, Mul — муллит, Pl — плагиоклаз, Sc — секанинит (Fe-кордиерит), Q — обломочный кварц, Td — тридимит.

к Караканской, Соколовской и Жерновской синклиналим и к Уропской антиклинали. Преимущественно выгорали пласты 2—3, Караканский 1—2, Верхний, пласты 84—86, 88—87, 91—92 (см. рис. 6).

Площади горельников, перекрытых четвертичными отложениями, составляют от 100 м² до 10 тыс. м² для индивидуальных тел и 200—500 тыс. м² для полей; протяженность тел от 8 до 500 м. Горелые породы формируют невысокие пологие холмы и обнажаются в бортах речных долин притоков р. Томь (р. Еловка, р. Еланы́й Нарык, р. Иня). Палеопожары не опускались ниже первой надпойменной террасы и фиксируют уровень расположения зеркала грунтовых вод на момент палеовозгораний. Максимальная глубина распространения горелых пород не превышает 50 м.

Мощность пирогенных разрезов в Ерунаковском районе варьирует от 3 до 20 м. Горельники подстилаются неизменными осадками. Над ними располагается зольный горизонт мощностью до 1 м, наследующий текстуру мятых углей. При посадке кровли выгоревшего пласта зольный горизонт уплотнялся до 10—20 см. Нередко под ним сохраняется уголь, верхний слой которого (до 20 см) преобразован в термоантрацит (см. рис. 4). В горельниках Ерунаковского района преобладают породы низкой и средней степени термического преобразования. Плавяные породы развиты локально и приурочены к зонам оттока горячих газов («структурам дымоходов»). Эти зоны сложены брекчиями, которые формируют изометричные или вертикальные тела (обычно объемом ~50 м³, редко до 1000 м³). Здесь обильные паралавы цементируют фрагменты (*n* см—0.5 м) клинкеров и реже ассимилируют их (см. рис. 4, 7, 8).

Несмотря на преобладание в горельниках Ерунаковской площади неустойчивых к выветриванию пород, эти комплексы слабо эродированы. По породам начальной стадии термических преобразований развиты полнопрофильные, ненарушенные или частично перекрытые коры выветривания мощностью

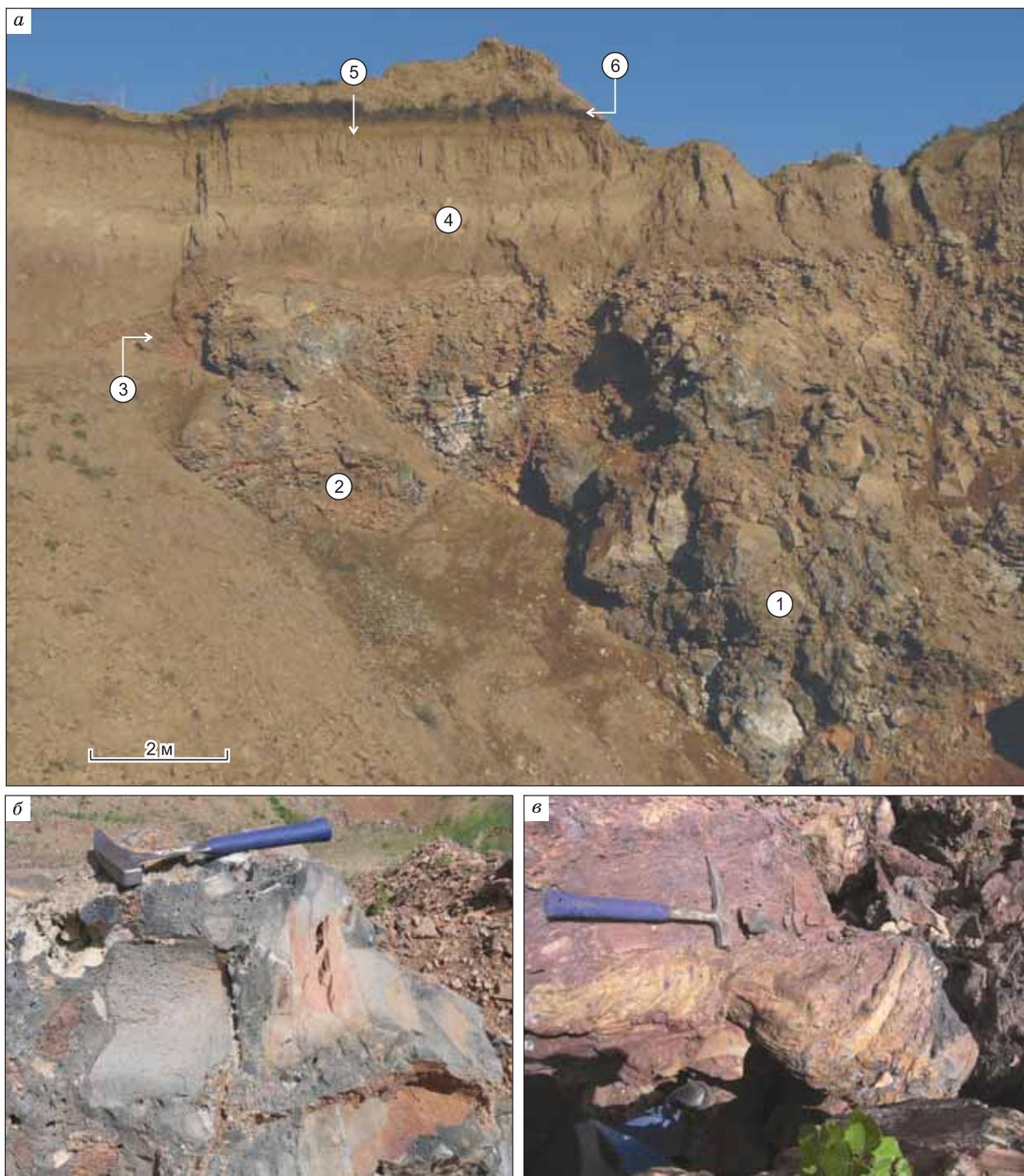


Рис. 8. Облик горельников Ерунаковской площади.

a — строение горельника в карьере Соколовский (северная стенка, 2008 г.): (1) «структура дымохода», сложенная брекчией и обильными паралавами, среди умеренно и слабо преобразованных пород, наследующих структурно-текстурные особенности протолита (2). Пирогенный разрез перекрыт дрсевой горельника, заключенной в красноватый глинистый матрикс (3), бурыми суглинками и более светлыми лессовидными суглинками со столбчатой отдельностью (4), слоем палеопочвы (5) и слоем современной почвы (6). *б* — блок брекчии, сложенный фрагментами клинкеров (светло-серые, красноватые), которые цементируются Fe-Са-паралавами (темно-серые). Многочисленные полости и поры в клинкерах возникли в результате «вскипания» карбонатного цемента песчаников. Комплекс камушек, 2009 г. *в* — закаленные натеки маловязкого Fe-Са-расплава, комплекс камушек, 2009 г.

1.5—3 м. Их перекрывают бурые и лессовидные суглинки (мощностью 1—7 м), а также современная почва. Суглинки обладают столбчатой отдельностью и содержат горизонты палеопочв, что позволяет отнести их к еловской свите [Форонова, 2001; Зыкин и др., 2008]. В понижениях палеорельефа суглинки подстилает горизонт дресвы (до 0.5 м) слабо преобразованного горельника, заключенной в красновато-буром «глинистом» матриксе. По-видимому, это продукт физико-химического выветривания горельника (см. рис. 4, 8).

Таким образом, в центральной части Кузбасса угли выводились в зону аэрации в эрозионных врезах. Разрозненные очаги возгораний возникали в процессе проработки современной дренажной сети. Пологое залегание угленосных толщ предопределило малые глубины и меньшие площади распространения пожаров, нежели на западной окраине бассейна. Повсеместная сохранность в пирогенных разрезах центра Кузбасса слабо преобразованных пород указывает на низкую степень препарирования денудацией горельников. Аналогичные пирогенные комплексы типичны для многих угольных бассейнов [Пирогенный..., 2005; Grapes, 2011].

АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Весь комплекс аналитических исследований выполнен в ИГМ СО РАН. Рентгенофлуоресцентный силикатный анализ пород (табл. 3, 4) выполнен на рентгеновском анализаторе VRA-20 R («Карл Цейс Йена», Йена). Пределы обнаружения большинства элементов — 0.02 мас. % (Na_2O — 0.2 мас. %, MgO — 0.1 мас. %). Фазовый состав пород контролировался посредством рентгеновской дифрактометрии (ДРОН-3), петрографического и микродифракционного (табл. 5, 6) химического анализа («Camebax-Micro», JXA-8100), а также сканирующей электронной микроскопии (LEO 420 SEM, JSM 6380LA, аналитик А.Т. Титов). Параметры съемки приведены в [Grapes et al., 2011].

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирование плавленых пирогенных пород выполнено по их валовым пробам. Образцы совместно со стандартными образцами-мониторами (биотит МСА-11) облучались быстрыми нейтронами на научном реакторе ВВР-К типа при Томском политехническом институте. Датирование выполнялось с помощью двух измерительных комплексов.

1. Прогрев проб в кварцевом реакторе с малоинерционной печью внешнего прогрева; измерение изотопного состава аргона на одноколлекторном масс-спектрометре Noble gas 5400 (Micromass, Англия). Для увеличения количества выделяемого аргона стандартная навеска была увеличена до 150—250 мг, а количество ступеней прогрева уменьшено до 3—4.

2. Прогрев проб в камере с использованием ИК-лазера Fusions 10.6 (длина волны 10.6 мкм, выходная мощность регулируется от 2.5 до 55 Вт; Photon Machines, США); измерение изотопного состава аргона на многоколлекторном масс-спектрометре Argus (GV-Instruments, Англия). Анализы были выполнены на полированных пластинках пород толщиной 0.3 мм, диаметром 3—5 мм и весом ~25 мг. Пластинки прогревали по всей площади в 3—6 степени расфокусированным лучом лазера.

Очистка аргона производилась с помощью ZrAl-SAES-геттеров. Регулярно измерялся изотопный состав порции очищенного воздушного аргона ($^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}_{\text{возд}} = 297 \pm 2$) и уровень фона ($^{40}\text{Ar} < 3 \times 10^{-10}$ нсм³, $^{36}\text{Ar} < 0.003 \times 10^{-10}$ нсм³). Уровень фона вычитали из результатов измерения изотопного со-

Таблица 3. Общая характеристика паралав и высокотемпературных клинкеров Кузбасса

Тип породы	Площадь	Распространенность среди плавленых пород	Содержание			
			обломочного кварца, об. %	стеклофазы, об. %	CaO, мас. %	K ₂ O, мас. %
Низкокальциевые Fe-Al-паралавы	Прокопьевско-Киселевская	Умеренная (до 40 об. %)	0—2	20—50	0.4—0.9	1.7—3.4
	Ерунаковская	Не обнаружены	—	—	—	—
Fe-Al-Sa-паралавы	Прокопьевско-Киселевская	Малая (до 20 об. %)	0—3	10—50	5.1—9.0	1.5—2.2
	Ерунаковская	Широкая (до 60 об. %)	0—3	20—50	3.4—10.0	2.2—2.5
Рудные паралавы	Прокопьевско-Киселевская	Малая (до 15 об. %)	0—2	30—60	1.4—2.1	0.4—2.0
	Ерунаковская					
Тридимит-муллитовые клинкеры	Прокопьевско-Киселевский	Доминируют (60—100 об. %)	2—20	60—80	0.4—0.6	2.6—4.1
	Ерунаковская	Единичные находки	1—3	70—80	~0.4	~3.5
Плагиоклазсодержащие клинкеры	Прокопьевско-Киселевский	Не обнаружены	—	—	—	—
	Ерунаковская	Широкая (40—70 %)	5—15	50—70	1.4—9.4	2.3—3.7

Таблица 4. Химический состав (мас. %) представительных образцов паралав и высокотемпературных клинкеров из горельников Кузбасса

Ком- понент	Клинкеры							Паралавы					
	06-09-03	06-10-08к	06-23-11	06-09-04	06-17-05к	06-14-01	06-14-07	05-КС-12	05-КС-32-2	06-09-02п	06-10-08п	06-12-04	06-12-05
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SiO ₂	69.61	68.78	69.15	73.36	62.97	69.53	65.41	68.14	59.98	62.62	63.01	59.16	50.03
TiO ₂	0.96	0.79	1.01	0.71	0.81	0.55	0.57	1.11	0.48	0.65	0.64	0.68	1.31
Al ₂ O ₃	19.10	16.78	21.04	16.88	16.44	15.83	15.26	19.08	11.78	16.58	14.30	14.25	26.41
Fe ₂ O ₃ *	2.29	6.41	1.84	2.07	6.42	7.42	11.96	5.57	12.85	14.18	13.35	12.79	16.00
MnO	0.14	0.15	0.13	0.14	0.16	0.14	0.16	0.14	0.18	0.15	0.18	0.19	0.04
MgO	0.41	0.32	0.32	0.29	1.03	0.69	1.03	0.36	1.12	0.18	0.25	0.98	1.37
CaO	0.54	0.53	0.36	0.38	8.66	1.43	1.43	0.73	9.90	0.39	0.63	8.25	2.10
Na ₂ O	0.11	0.77	0.13	0.78	0.64	1.68	1.65	0.33	0.50	0.46	0.85	1.31	0.76
K ₂ O	4.07	2.98	3.39	3.61	2.47	2.57	2.33	3.36	1.47	3.39	2.37	2.16	1.60
P ₂ O ₅	0.14	0.13	0.08	0.12	0.25	0.15	0.19	0.09	0.82	0.11	0.19	0.23	0.31
П.п.п.	2.64	2.34	1.94	1.69	0.16	0.00	0.00	1.14	0.94	1.30	4.22	0.00	0.00
Сумма	99.99	99.98	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.06	100.01	100.01	100.00	100.00	99.93
FeO**	2.06	5.77	—	1.86	5.78	6.68	—	5.01	11.57	12.76	12.02	11.52	—

Примечание. Породы из горельников присалаирского комплекса: 1, 4, 10 — Тайбинская площадь, 2, 8, 9, 11 — Соколиные горы, 3 — Калзыгайская площадь; породы из горельников Ерунаковской площади: 5—7 — караканский комплекс; 12, 13 — комплекс инской.

1—7 — фрагменты остеклованных клинкеров, слагающие обломочный материал брекчий; 8—10 — прожилки паралав, цементирующие в брекчиях фрагменты клинкеров; 11 — массивная паралава, ассимилирующая фрагменты клинкеров; 12, 13 — блоки переплавленных пород.

Фазовый состав пород: 1 — кислое Al-K-стекло, тридимит, муллит, секанинаит, клиноферросилит (?), ильменит (?), гематит (?), обломочный кварц; 2 — кислое Al-K-стекло, тридимит, муллит, секанинаит, кристобалит, ильменит (?), гематит, обломочный кварц; 3 — кислое Al-K-стекло, муллит, тридимит, герцинит, ильменит, гематит, кристобалит (?), обломочный кварц; 4 — кислое Al-K-стекло, секанинаит, муллит, тридимит (?), обломочный кварц; 5 — кислое Al-Ca-K-стекло, основной плагиоклаз, клинопироксен, кристобалит (?), обломочный кварц; 6 — кислое Al-Ca-K-стекло, андезин, тридимит, Fe-кордиерит, гематит, ильменит, кристобалит (?), обломочный кварц; 7 — кислое Al-K-стекло, андезин, Fe-кордиерит, тридимит, обломочный кварц, рудные минералы; 8 — секанинаит, тридимит, муллит, Fe-Al-шпинелиды, клиноферросилит (?), кристобалит, гематит, ильменит, кислое Al-K-стекло; 9 — тридимит, битовнит-лабрадор, геденбергит, кристобалит, Fe-Al-шпинелиды (?), гематит(?), обломочный кварц, кислое Al-Ca-K-стекло; 10 — секанинаит, тридимит, фаялит, Fe-Al-шпинелиды, кристобалит, обломочный кварц, кислое Al-K-стекло; 11 — секанинаит, тридимит, фаялит, Fe-Al-шпинелиды, кристобалит, клиноферросилит (?), обломочный кварц, кислое Al-K-стекло; 12 — диопсид, анортит-битовнит, тридимит, Fe-Al-шпинелиды, гематит, обломочный кварц, кислое Al-Ca-K-стекло; 13 — кислое Al-Ca-K-стекло, муллит, Al-титаномagnetит, тридимит, обломочный кварц. Рентгенофлуоресцентный силикатный анализ пород выполнен аналитиком Л.Д. Холодовой.

* Все железо как Fe₂O₃.

** Для пород, в составе которых преобладают Fe²⁺-содержащие минералы, железо пересчитано на FeO.

става аргона, выделенного из образца. Коэффициенты, использованные для учета вклада мешающих изотопов аргона, образовавшихся во время облучения на изотопах ⁴⁰Ca, ⁴²Ca и ⁴⁰K, приведены в табл. 7. При расчете погрешности ⁴⁰Ar/³⁹Ar-возраста пород учитывались: аналитические ошибки измерения количества изотопов аргона, погрешность измерения уровня фона, определения J-фактора и поправочных коэффициентов на аргон, образовавшийся на ⁴⁰Ca, ⁴²Ca и ⁴⁰K, нестабильность измеряемого отношения ⁴⁰Ar/³⁶Ar в воздушном аргоне. Ошибки измерений (рис. 9, 10; табл. 7—8) соответствуют интервалу ±1σ. Поскольку все изученные породы являются молодыми, содержания радиогенного аргона в них низки. Поэтому выделение промежуточных плато в спектрах проводилось на основе менее жестких критериев по сравнению с традиционными [Fleck et al., 1977]. Допускалось выделение промежуточного плато, состоящего из одной или двух ступеней, если ему соответствовало не менее 50 % выделенного ³⁹Ar.

В экспериментах по ступенчатому прогреву, выполненных с помощью различных измерительных комплексов, были получены согласующиеся результаты (см. табл. 7, рис. 9). Для большинства образцов рассчитанные изохронным методом возрасты согласуются в пределах ошибки с возрастными плато. Рассчитанные с помощью корреляционных диаграмм изотопов аргона первичные отношения ⁴⁰Ar/³⁶Ar₀ пи-

Таблица 5. Представительные анализы (мас. %) стекол из клинкеров и паралав Кузбасса

№ п/п	Образец	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Сумма
		Клинкеры										
1	06-09-03	78.59	1.00	11.85	0.83	0.02	0.26	0.68	0.09	3.98	0.14	97.65
		78.38	0.92	11.57	0.85	< 0.01	0.26	0.65	0.10	4.15	0.15	97.15
		80.96	0.85	11.83	0.80	0.05	0.26	0.62	0.06	2.28	0.09	97.92
		63.56	0.86	29.00	0.58	< 0.01	0.25	0.44	0.15	3.04	0.07	98.16
		74.86	0.62	20.16	0.37	< 0.01	0.14	0.27	0.17	1.36	0.04	98.00
		79.03	1.28	11.77	0.78	< 0.01	0.22	0.67	0.05	3.19	0.16	97.29
		79.27	0.53	19.55	0.38	< 0.01	0.54	0.11	0.06	0.38	0.00	100.88
2	06-23-11	72.77	0.04	22.43	0.57	0.02	0.34	0.25	0.27	2.84	—	99.62
		73.99	0.87	19.85	0.40	0.03	0.51	0.28	0.14	2.99	—	99.18
		68.12	0.43	26.07	0.38	< 0.01	0.44	0.25	0.23	3.27	—	99.24
		86.57	0.29	9.99	0.22	< 0.01	0.15	0.14	0.19	1.00	0.04	98.60
		74.48	0.44	14.62	0.48	0.02	0.50	0.32	0.26	4.59	< 0.01	95.72
		66.67	< 0.02	19.17	0.19	< 0.01	0.04	2.37	2.12	9.24	—	100.00
3	06-12-04	68.32	0.19	19.15	0.79	0.03	0.37	5.84	3.12	2.82	—	100.64
		88.81	0.32	6.92	0.40	< 0.01	0.12	0.27	0.38	3.30	—	100.51
		85.25	0.23	8.40	0.49	< 0.01	0.16	0.71	0.55	4.02	—	99.90
		83.47	0.75	8.98	1.18	0.05	0.39	1.18	0.41	2.62	—	99.03
		89.96	0.18	6.38	0.28	< 0.01	0.07	0.15	0.82	1.78	0.06	99.68
4	06-14-01	90.77	0.14	6.11	0.31	< 0.01	0.07	0.13	0.29	1.37	0.10	99.30
		69.56	0.45	24.52	0.92	< 0.01	0.15	0.57	0.62	2.60	0.05	99.45
		72.97	0.40	16.56	0.64	< 0.01	0.13	2.26	1.72	3.46	0.16	98.31
		Паралавы										
5	06-09-02	69.15	0.52	13.56	7.58	0.02	0.06	0.29	0.76	4.24	0.25	96.44
		70.42	0.47	13.18	2.37	< 0.01	< 0.02	0.74	1.58	6.49	0.19	95.44
		68.40	0.57	13.37	8.49	0.03	0.05	0.36	0.83	4.14	0.29	96.53
		66.03	0.52	12.81	7.99	< 0.01	< 0.02	0.84	1.56	5.69	0.27	95.73
		71.90	0.47	12.48	4.76	< 0.01	0.04	0.44	1.18	5.23	0.22	96.70
6	05-КС-12	91.51	0.32	3.14	1.55	0.03	0.14	0.08	0.10	0.30	0.00	97.16
		96.52	0.18	0.94	0.22	0.03	< 0.02	0.13	0.09	0.38	0.04	98.53
		75.63	0.82	11.73	1.09	< 0.01	< 0.02	0.77	0.72	5.67	0.14	96.59
		76.18	0.33	12.07	1.59	0.04	< 0.02	0.27	0.69	6.10	0.10	97.38
		78.03	0.51	11.64	0.64	0.02	< 0.02	0.28	0.60	5.64	0.08	97.45
7	06-10-08п	81.49	< 0.02	10.42	1.53	0.05	< 0.02	0.21	0.26	5.56	—	99.55
		81.82	< 0.02	10.66	1.68	0.04	< 0.02	0.22	0.27	5.40	—	100.10
		75.57	0.07	12.38	2.70	0.18	0.06	0.50	0.42	5.81	—	97.71
8	05-КС-32-2	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	< 0.02	2.23	0.80	5.12	0.03	97.21
9	06-12-05	65.81	0.77	16.55	4.19	0.07	2.59	3.90	1.49	2.39	—	97.77
		65.43	0.88	16.66	4.02	0.07	2.37	3.80	1.58	2.43	—	97.25
		65.35	0.80	16.51	4.27	0.08	2.32	3.83	1.38	2.49	—	97.04
		68.13	0.42	16.11	3.59	0.06	2.00	3.02	1.45	2.99	—	97.77
		67.04	0.52	16.01	3.73	0.05	2.28	3.60	1.37	2.76	—	97.36
		66.12	0.86	17.17	3.51	0.08	2.22	3.53	1.68	2.58	—	97.74

Примечание. 1, 2, 5—8 — породы из горельников присалаирского комплекса (1, 5 — Тайбинская площадь, 2 — Калзыгайская площадь; 6—8 — Соколиные горы); 3, 4, 9 — породы из горельников Ерунаковской площади (3, 9 — комплекс инской, 4 — караганский комплекс); стекла содержат ~ 0.1 мас. % ВаО; микрозондовый анализ выполнен Э.В. Сокол и С.А. Новиковой (ответственный аналитик Е.Н. Нигматулина).

Таблица 6.

Вариации содержания калия в стеклах и новообразованных минералах из паралав и клинкеров Кузбасса

Фаза	Количество анализов	Содержания K ₂ O, мас. %			
		Min	Max	\bar{X}	S
Кордиерит	203	0.06	0.86	0.34	0.18
Тридимит	32	0.06	0.37	0.19	0.09
Плагиоклаз	45	0.06	1.72	0.66	0.50
Клинопироксен	39	0.06	0.86	0.08	0.17
Стекла клинкеров	50	0.38	9.24	3.57	1.73
Стекла паралав	167	0.07	12.27	4.26	2.65

Примечание. \bar{X} — среднее значение, S — стандартное отклонение.

Таблица 7.

Результаты ⁴⁰Ar/³⁹Ar-датирования клинкеров и паралав Кузнецкого бассейна

Район	Площадь отбора образца	Образец	Тип породы	Валовые содержания, мас. %		Количество стеклофазы, об. %	Измерительный комплекс	Общее количество ⁴⁰ Ar _{газ} %	Возраст плагио, млн лет	Количество ступеней в плагио	Доля ³⁹ Ar, соответствующего плагио, %	Изохронный возраст, млн лет	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_0^*$	СКВО**
				K ₂ O	CaO									
Присалаирский комплекс	Правобережье р. Тайба	06-09-03	c-Td-Mul	4.1	0.5	70—80	N + п	3.56	1.01±0.17	3	96	1.4±0.4	291.0±6.1	0.9
		06-09-02п	p-Sc-Td	3.4	0.4	30—40	A + л	3.31	1.01±0.11	2	59	—	—	—
		06-09-04	c-Td-Mul	3.6	0.4	70	N + п	0.19	0.11±0.08	2	86	0.6±0.2	291.9±1.4	1.8
	Соколиные горы	05-КС-12	p-Sc-Td	3.4	0.7	30	A + л	0.43	0.23±0.15	2	78	—	—	—
		05-КС-32-2	p-CPx-Pl	1.5	9.9	40—50	A + л	1.27	1.69±0.31	1	60	1.5±0.5	283.5±12.8	5.1
		06-10-08п	p-Sc-Td	2.4	0.6	20—30	N + п	0.41	0.19±0.14	3	100	—	—	—
Калзыгайская площадь	06-23-11	c-Td-Mul	3.4	0.4	70—80	N + п	1.25	0.35±0.31	2	53	0.6±0.3	297.2±4.0	1.9	
								1.07±0.17	2	47				
Ерунаковская площадь	Караканский комплекс (склон холма, подработанный карьером)	06-14-01	c-Pl	2.6	1.4	60—70	A + л	0.05	0.34±0.21	2	73	—	—	—
	Комплекс инской (первая терраса р. Иня в районе д. Коновалово)	06-12-05	p-R	1.6	2.1	50—60	N + п	2.05	0.11±0.09	2	76	0.2±0.1	295.8±3.1	2.5

Примечание. Типы пород: p-Sc-Td — секанинаит-тридимитовая паралава, p-CPx-Pl — клинопироксен-плагиоклазовая паралава, p-R — рудная паралава, c-Td-Mul — тридимит-муллитовый клинкер, c-Pl — плагиоклазосодержащий клинкер; измерительные комплексы: N + п = Noble gas 5400 + печь, A + л = Argus + лазер; для учета вклада мешающих изотопов аргона, образовавшихся во время облучения на изотопах ⁴⁰Ca, ⁴²Ca и ⁴⁰K, использовались коэффициенты: $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 0.000831 \pm 0.000005$, $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 0.000522 \pm 0.000006$, $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}} = 0.089 \pm 0.001$; ⁴⁰Ar/³⁹Ar-датирование пирогенных пород и интерпретация изотопных данных выполнено А.В. Травином, С.А. Новиковой и Д.В. Алексеевым.

* Первичное отношение ⁴⁰Ar/³⁶Ar в плавленных пирогенных породах.

** Средний квадрат взвешенных отклонений.

Таблица 8. Результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирования пирогенных пород Кузнецкого бассейна

№ ступени	T, °C	t, мин	^{36}Ar	^{37}Ar	^{38}Ar	^{39}Ar	$^{40}\text{Ar}_{\text{рад}}$	$^{40}\text{Ar}_{\text{рад}}$, %	Ca/K	Возраст, млн лет ($\pm 1\sigma$)	$\Sigma^{39}\text{Ar}$, %	
			10^{-9} нсм 3 *									
Обр. 06-09-03 (навеска 209 мг, $J = 0.005432 \pm 0.000077$)												
1	600	10	0.3303	2.7358	0.7186	38.9671	4.8033	4.69	0.2527	1.21 ± 0.18	36.1	
2	800	10	0.4103	4.7000	0.8667	47.1371	4.3675	3.48	0.3590	0.91 ± 0.17	79.8	
3	1000	10	0.2115	1.5982	0.3309	17.7561	1.6530	2.58	0.3240	0.91 ± 0.21	96.2	
4	1150	10	0.0674	2.7720	0.0853	4.0667	0.2941	1.46	2.4539	0.71 ± 0.81	100.0	
Обр. 06-09-04 (навеска 198 мг, $J = 0.005447 \pm 0.000078$)												
1	600	10	0.4181	3.9095	0.7570	39.3846	0.0333	0.03	0.3573	0.08 ± 0.08	53.6	
2	800	10	0.3988	1.2205	0.4794	23.4928	0.6367	0.54	0.1870	0.27 ± 0.17	85.6	
3	1000	10	0.3354	9.4372	0.2244	9.0456	0.0000	0.00	3.7559	-1.14 ± 0.35	97.9	
4	1150	10	0.0627	1.2205	0.0390	1.5448	0.0126	0.07	2.8443	0.08 ± 1.84	100.0	
Обр. 06-10-08п (навеска 148 мг, $J = 0.005103 \pm 68$)												
1	600	10	0.2468	0.7706	0.3195	13.4577	0.2019	0.28	0.2061	0.20 ± 0.20	30.4	
2	750	10	0.2543	0.8375	0.2956	12.3912	0.0074	0.00	0.2433	0.14 ± 0.14	58.4	
3	1130	10	0.3051	1.4658	0.4358	18.4014	0.7725	0.85	0.2868	0.39 ± 0.33	100.0	
Обр. 06-23-11 (навеска 196 мг, $J = 0.0049145 \pm 0.000063$)												
1	600	10	0.3170	0.3842	0.3096	14.4784	0.2703	0.29	0.0955	0.17 ± 0.47	17.9	
2	750	10	0.5125	0.1838	0.5759	27.9028	1.1747	0.77	0.0237	0.37 ± 0.31	52.5	
3	900	10	0.3527	0.6846	0.4165	20.4227	2.4308	2.28	0.1207	1.06 ± 0.17	77.8	
4	1120	10	0.4451	0.1823	0.3911	17.9733	2.2262	1.66	0.0365	1.10 ± 0.22	100.0	
Обр. 06-12-05 (навеска 246 мг, $J = 0.049425 \pm 0.000064$)												
1	550	10	0.0384	0.3527	0.0435	1.8875	1.5987	12.34	0.6728	7.54 ± 0.93	4.4	
2	800	10	0.0637	3.0995	0.1685	8.4088	0.7006	3.59	1.3270	0.74 ± 0.25	24.2	
3	950	10	0.0785	5.2764	0.2866	14.9869	0.0715	0.31	1.2674	0.09 ± 0.09	59.4	
4	1100	10	0.2319	6.2452	0.3564	17.2751	0.1778	0.26	1.3015	0.14 ± 0.13	100.0	
№ ступени	Мощность ИК-лазера, Вт	T, °C	t, с	^{36}Ar	^{37}Ar	^{38}Ar	^{39}Ar	$^{40}\text{Ar}_{\text{рад}}$	$^{40}\text{Ar}_{\text{рад}}$, %	Ca/K	Возраст, млн лет ($\pm 1\sigma$)	$\Sigma^{39}\text{Ar}$, %
				10^{-9} нсм 3 *								
Обр. 06-09-03 (навеска 27 мг, $J = 0.004135 \pm 0.000045$)												
1	5.0	900	5	0.1288	8.6636	0.2509	12.1744	0.6521	1.68	2.5618	0.40 ± 2.42	7.0
2	5.5	950	5	0.1971	0.9715	0.3793	18.0214	2.1328	3.53	0.1941	0.88 ± 0.68	17.5
3	5.5	1000	10	0.1548	3.1976	0.2980	14.2767	0.7739	1.66	0.8063	0.40 ± 0.36	25.7
4	5.5	1050	60	0.2858	11.0853	0.5542	26.5201	0.7370	0.87	1.5048	0.21 ± 0.23	41.1
5	7.7	1100	120	0.4869	2.4266	1.0187	49.3292	6.2578	4.17	0.1771	0.95 ± 0.12	69.6
6	8.3	1150	180	0.5240	0.9715	1.0888	52.5487	7.4062	4.56	0.0666	1.05 ± 0.11	100.0
Обр. 06-09-02п (навеска 29 мг, $J = 0.004109 \pm 0.000044$)												
1	33.0	1100	10	0.1712	8.6863	0.1508	6.1444	0.6244	1.22	5.0893	0.86 ± 0.86	12.8
2	33.0	1150	45	1.0850	1.8975	0.7763	29.7773	4.4735	1.38	0.2294	1.11 ± 0.23	74.8
3	44.0	1200	50	0.3097	2.5816	0.2973	12.1032	2.2995	2.45	0.7679	1.41 ± 0.43	100.0
Обр. 05-КС-12 (навеска 25 мг, $J = 0.003972 \pm 0.000041$)												
1	8.3	1100	20	1.9146	5.2418	1.5988	60.1557	2.9564	0.52	0.3137	0.35 ± 0.19	42.2
2	33.0	1150	30	1.7474	11.8866	1.3577	50.5691	0.6855	0.13	0.8462	0.15 ± 0.15	77.7
3	55.0	1200	30	1.7342	0.9909	0.9774	31.8275	3.1896	0.62	0.1121	0.72 ± 0.31	100.0
Обр. 05-КС-32-2 (навеска 22 мг, $J = 0.004010 \pm 0.000042$)												
1	8.3	1050	10	0.0701	15.6077	0.0649	2.1773	0.0000	0.00	25.8066	-5.14 ± 2.60	7.5
2	8.3	1150	120	0.0522	9.0924	0.2073	9.6030	0.0000	0.00	3.4086	-1.22 ± 0.55	40.6
3	49.5	1200	40	0.1008	8.4297	0.3789	17.2367	4.0181	11.88	1.7606	1.69 ± 0.31	100.0
Обр. 06-14-01 (навеска 34 мг, $J = 0.004170 \pm 46$)												
1	5.0	730	3	0.5695	0.4172	0.3668	19.2922	0.0000	0.00	0.0779	-1.01 ± 0.20	26.6
2	7.7	850	10	1.8921	7.4808	0.4758	9.3674	0.0397	0.01	2.8749	0.28 ± 0.28	39.5
3	17.6	970	5	12.8173	9.5495	2.8988	43.9129	2.1679	0.06	0.7829	0.37 ± 0.21	100

Примечание. Характеристика образцов приведена в табл. 4-5, 7. I, II — результаты экспериментов по ступенчатому прогреву, выполненные с помощью измерительного комплекса Noble gas 5400 + печь (I) и Argus + ИК лазер (II).

* Содержания приведены с учетом поправок на фракционирование, распад ^{37}Ar и мешающих нейтроногенных изотопов Ar.

рогенных плавяных пород близки к воздушным (292 ± 5), что позволяет исключить вклад захваченного радиогенного ^{40}Ar .

ХАРАКТЕРИСТИКА ПАРАЛАВ И ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ КЛИНКЕРОВ ПРОКОПЬЕВСКО-КИСЕЛЕВСКОЙ И ЕРУНАКОВСКОЙ ПЛОЩАДЕЙ

Состав кузнецких клинкеров и паралав ранее был охарактеризован на материале пород присалаирского комплекса [Новиков и др., 2008; Grapes et al., 2011]. Поскольку главной задачей данной работы является определение времени палеовозгораний, пирогенные породы Прокопьевско-Киселевской и Ерунаковской площадей ниже будут охарактеризованы с позиции их пригодности для $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирования. Материал, обеспечивающий корректные $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датировки по валовым пробам, должен отвечать следующим условиям. 1. В анализируемых породах полностью преобразованы К-содержащие минералы протолита. 2. Валовые содержания $\text{K}_2\text{O} > 1.5$ мас. % на фоне низких—умеренных концентраций CaO . 3. Калий должен быть сконцентрирован в единственной фазе.

Все изученные клинкеры и паралавы являются стекловатыми породами (см. рис. 7). Их минеральный состав разнообразен и был задан литологией протолита и различными Tf_{O_2} -параметрами его преобразования. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -возраст был определен для следующих групп пород (см. табл. 3, 4).

1. Продукты полного плавления смеси пелитовых осадков и болотных руд и/или сидерита. Это сухие, средние и кислые, глиноземистые (Al_2O_3 — 14.3—19.1 мас. %) паралавы с умеренными содержаниями FeO (5.0—12.8 мас. %) и K_2O (1.7—3.4 мас. %) и низкими концентрациями (< 1 мас. %) прочих петрогенных элементов (см. табл. 4). Они сложены тридимитом, секанинитом, фаялитом, муллитом, Fe-Al-шпинелидами и кислым Al-K-стеклом (20—50 об. %) (см. рис. 7). Такие паралавы возникали только в заглубленных очагах палеопожаров на западной окраине Кузбасса.

2. Продукты полного плавления песчаников с анкеритовым цементом. Это сухие, средние и кислые, глиноземистые (Al_2O_3 — 11.8—16.2 мас. %) паралавы с умеренными содержаниями (мас. %): FeO (3.6—11.6), CaO (3.4—10.0), MgO (~1.0), K_2O (1.5—2.5) и Na_2O (~1.0) (см. табл. 4). Они состоят из основного плагиоклаза (An_{71}), клинопироксенов, Fe-Al-шпинелидов, тридимита, кислого Al-Ca-K-стекла (10—50 об. %). Второстепенные фазы — кристобалит, секанинит, обломочный кварц (см. рис. 7). Такие породы обычны в брекчиях Ерунаковской площади (см. рис. 8).

3. Продукты декарбонатизации и плавления сидеритовых конкреций, загрязненных пелитовым материалом — рудные паралавы, присутствующие во всех горельниках Кузбасса. Это сухие, ультраосновные, глиноземистые (Al_2O_3 — 11.4—27.3 мас. %), резко обогащенные Fe_2O_3 (26.0—42.4 мас. %) породы с умеренными количествами (мас. %): K_2O (0.4—2.0), CaO (~2.0), MgO (до 1.4), P_2O_5 (до 1.8) и TiO_2 (до 1.3) и пониженными MnO и Na_2O (< 0.8 мас. %) (см. табл. 4). В них обнаружены две ассоциации: 1) фаялит, Al-титаномагнетит, тридимит, клиноферросилит, кислое Al-K-Fe-Ca-стекло (~50 об. %); 2) муллит и Al-титаномагнетит, ультраосновное Al-Fe-Ca-P-стекло и кислое Al-Fe-Mg-Ca-K-стекло (~60 об. %) (см. рис. 7).

4. Продукты частичного плавления метапелитовых пород. Это сухие, кислые, глиноземистые клинкеры (Al_2O_3 — 15.4—21.0 мас. %) с умеренными содержаниями K_2O (1.5—4.4 мас. %) и Fe_2O_3 (~2 мас. %), обедненные прочими петрогенными элементами (< 1 мас. %) (см. табл. 4). Клинкеры на 50—80 об. % сложены кислым Al-K-стеклом с микролитами тридимита, муллита, секанинита, Fe-Al-шпинелидов, кристобалита (см. рис. 7). В породах, возникших по песчаникам, сохраняется до 20 об. % обломочного кварца. Клинкеры этого типа слагают обломочный материал брекчий и формируют горизонты в горельниках присалаирского комплекса (см. рис. 5).

5. Продукты частичного плавления песчаников с анкеритовым цементом. Это сухие, средние и кислые, глиноземистые (Al_2O_3 ~16 мас. %) клинкеры с умеренными содержаниями (мас. %) Fe_2O_3 (3.3—12.0), CaO (1.4—9.4), K_2O (2.3—3.7) и Na_2O (0.2—1.7) и пониженными (< 1 мас. %) прочими петрогенными элементами (см. табл. 4). Они состоят из Al-Ca-K-стекла (50—70 об. %) с микролитами плагиоклаза (An_{35-70}), кордиерита, тридимита, Fe-Al-шпинелидов. Постоянно присутствует обломочный кварц (5—15 об. %). Такие клинкеры слагают обломочный материал в брекчиях Ерунаковского района (см. рис. 8).

Во всех изученных породах калий сосредоточен в стекле (табл. 5, 6). Среднее содержание K_2O в стеклах клинкеров 3.6 мас. %, а в стеклах паралав 4.3 мас. %. Концентрации K_2O в плагиоклазах не превышают 1 мас. %. Таким образом, вещественные характеристики широкого спектра клинкеров и паралав Кузбасса отвечают условиям корректного $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирования их валовых проб.

РЕЗУЛЬТАТЫ $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -ДАТИРОВАНИЯ КЛИНКЕРОВ И ПАРАЛАВ КУЗБАССА

Среди пород, возникших в ходе природных угольных пожаров Кузбасса, наиболее древний $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -возраст имеют три образца из присалаирского комплекса (см. табл. 7—8, рис. 9). В возрастных

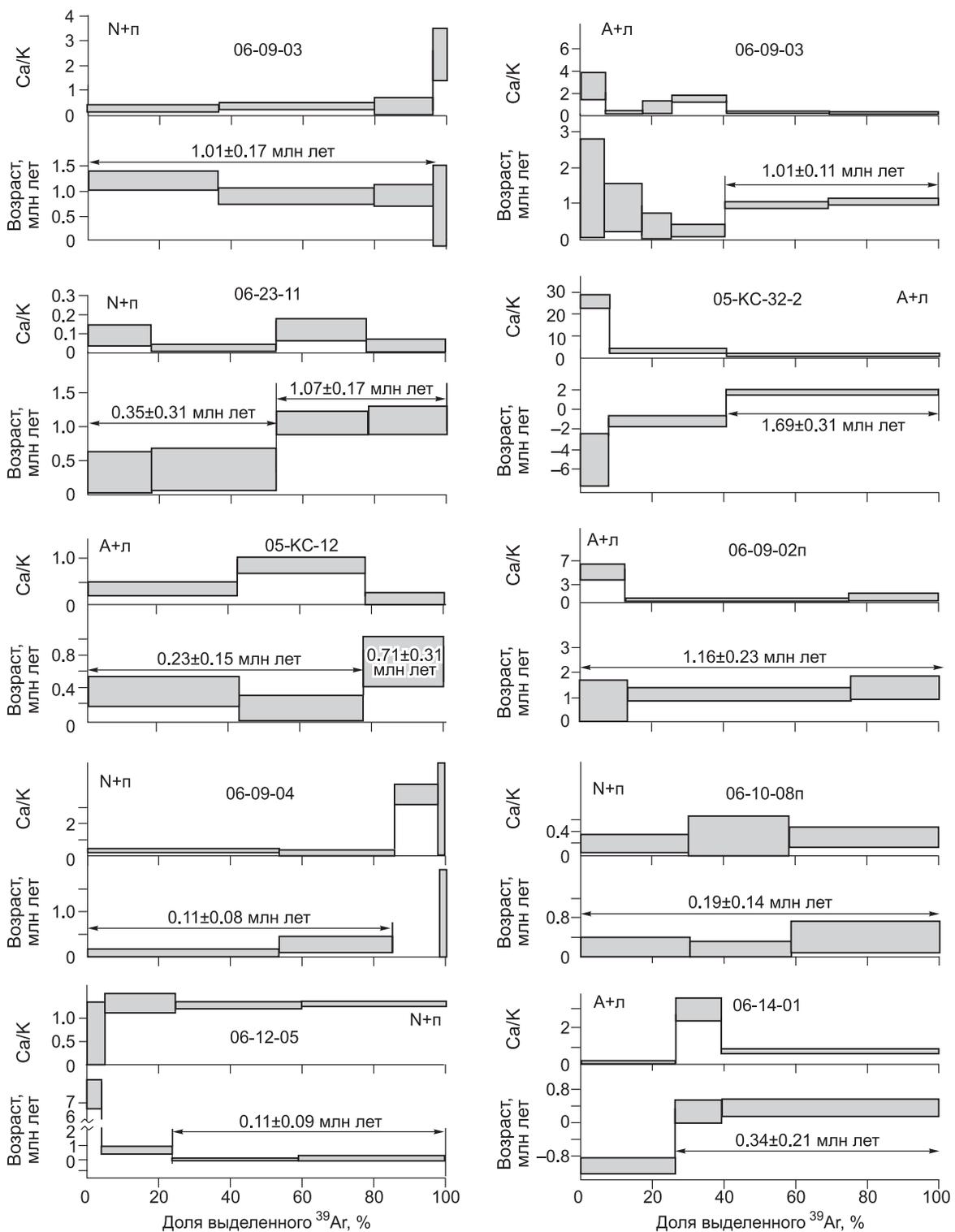


Рис. 9. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -возрастные спектры пирогенных пород Кузнецкого бассейна.

N + п = Noble gas 5400 + печь, A + л = Argus + лазер.

спектрах двух из них (горельник в правобережье р. Тайба) выделяются промежуточные плато из 2—3 последовательных ступеней (59—100 % выделенного ^{39}Ar). Возрасты этих плато составляют (млн лет): 1.16 ± 0.23 (обр. 06-09-02п, Argus+лазер), 1.01 ± 0.11 (06-09-03, Argus+лазер) и 1.01 ± 0.17 (06-09-03, Noble gas 5400 + печь). Наиболее древней (1.69 ± 0.31 млн лет) является паралава с Соколиных гор

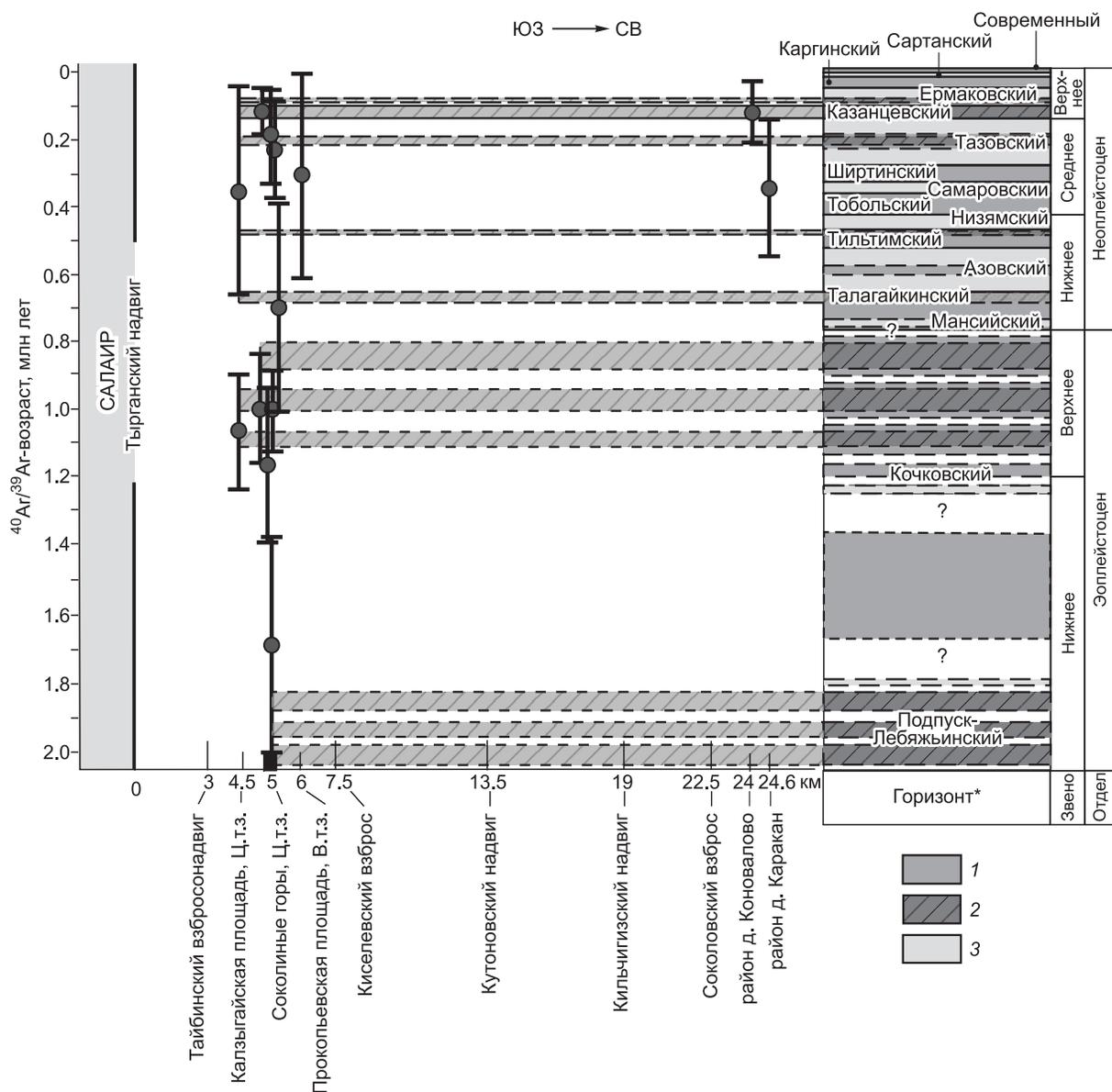


Рис. 10. Корреляция эпизодов кузнецких угольных пожаров с ледниковыми и межледниковыми эпохами плейстоцена.

* Региональная стратиграфическая схема плейстоценовых отложений Западной Сибири, по [Архипов, Волкова, 1994; Зыкин и др., 2008; International..., 2012]; Ц.т.з. — Центральная тектоническая зона; В.т.з. — Восточная тектоническая зона; по оси X отложено расстояние от Тырганского надвига, отделяющего угленосные осадочные толщи Кузнецкой впадины от безугльных девонских отложений Салаирского кряжа. 1 — теплые влажные и умеренно-влажные периоды, 2 — теплые засушливые периоды, 3 — ледниковые периоды.

(обр. 05-КС-32-2, Argus+лазер). Ее возраст был рассчитан по высокотемпературной ступени спектра (60 % выделенного ^{39}Ar).

Для двух образцов с этих же площадей получены более молодые $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датировки (Noble gas 5400 + печь). В спектре клинкера 06-09-04 выделяется промежуточное плато с возрастом 0.11 ± 0.08 млн лет (2 ступени, 86 % выделенного ^{39}Ar). В возрастном спектре паралавы 06-10-08п присутствует плато из трех ступеней (100 % выделенного ^{39}Ar), возраст которого равен 0.19 ± 0.14 млн лет (см. табл. 7, рис. 9).

Два образца из горельников Калыгайской площади и Соколиных гор характеризуются дискордантными спектрами, в которых выделяются две возрастные компоненты (см. табл. 7, рис. 9). Молодые $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -возрасты были рассчитаны по низкотемпературным плато. Для паралавы 05-КС-12 возраст

такого плато составил 0.23 ± 0.15 млн лет (2 ступени, 78 % выделенного ^{39}Ar , Argus + лазер). Для клинкера 06-23-11 он равен 0.35 ± 0.31 млн лет (2 ступени, 53 % выделенного ^{39}Ar , Noble gas 5400 + печь). Более древние возрасты соответствуют высокотемпературным ступеням этих же спектров: 0.71 ± 0.31 млн лет (паралава 05-КС-12, 1 ступень, 22 % выделенного ^{39}Ar) и 1.07 ± 0.17 млн лет (клинкер 06-23-11, 2 ступени, 47 % выделенного ^{39}Ar). Полученные данные позволяют предполагать, что паралава 05-КС-12 и клинкер 06-23-11 возникли при закалке пирогенных расплавов в позднем эоплейстоцене—раннем неоплейстоцене. Позднее уже затвердевшие породы испытали повторный прогрев, что привело к омоложению изотопной системы К-содержащей стеклофазы.

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -возраст клинкера (обр. 06-14-01, Argus + лазер) из караканского комплекса, рассчитанный по промежуточному плато из двух ступеней (73 % выделенного ^{39}Ar), составил 0.34 ± 0.21 млн лет. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -возраст паралавы из инского комплекса (обр. 06-12-05, Noble gas 5400 + печь) моложе — 0.11 ± 0.09 млн лет. Он был рассчитан по промежуточному плато из двух ступеней (76 % выделенного ^{39}Ar) (см. табл. 7, рис. 9). Таким образом, единичные датировки пирогенных пород Ерунаковской площади указывают на значительно более молодой возраст угольных пожаров в центре Кузбасса.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Общепризнано [Пирогенный..., 2005; Heffern et al., 2007; Coal..., 2010], что развитию угольных пожаров способствуют следующие факторы: *геологические* — высокая угленосность толщи; значительные мощности и крутое падение пластов; повышенная трещиноватость угля и вмещающих пород; благоприятный петрографический состав углей; наличие прослоев топлива над горящим горизонтом; *геоморфологические* — расчлененный рельеф; *климатические* — теплые и сухие климатические обстановки, глубокое расположение уровня грунтовых вод.

Естественные возгорания углей на западной окраине Кузбасса: время и причины. На западной окраине Кузбасса продуктивная верхнебалахонская подсерия (P_1bl) перекрыта мощными (до 800 м) и практически безугольными кольчугинскими отложениями (P_2kl). В триасе и юре в результате роста горных сооружений обрамления погребенные и до этого субгоризонтально залегавшие угленосные толщи были дезинтегрированы и смяты в сжатые складки. В позднем кайнозое движения Салаирского блока вызвали реактивацию мезозойских нарушений, следствием чего явилось блоковое воздымание осадочных толщ и дифференциация рельефа западной окраины бассейна [Геология..., 1969; Новиков и др., 2008, 2013]. Интенсификация эрозионных процессов в зоне сочленения с Салаирским кряжем обеспечила доступ воздуха к угольным пластам. Следовательно, возраст угольных пожаров на западной окраине Кузбасса может быть синхронизирован со временем проработки дренажной сети в угленосных толщах. Поскольку тектонические события должны были предварять экспозицию углей, возраст пожаров в Прокопьевско-Киселевской зоне можно рассматривать как верхнюю временную границу неотектонических событий на стыке Кузнецкой впадины с Салаирским кряжем.

Сегодня геологические наблюдения и результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирования горельников позволяют уверенно реконструировать на Прокопьевско-Киселевской площади две волны массовых палеопожаров. Первая из них прошла здесь в эоплейстоцене ($\sim 1.1 \pm 0.2$ млн лет назад), затронув только угольные пласты в пределах средней предгорной ступени (см. табл. 7, 8; рис. 2, 9, 10). Именно здесь горельники в наибольшей степени эродированы. Временному интервалу (1.3—0.9 млн лет назад) массовых возгораний углей отвечала фаза наиболее активных эрозионных процессов. За верхний возрастной рубеж начала высотной дифференциации рельефа этого района можно принять наиболее древнюю $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датировку — 1.7 ± 0.3 млн лет. Следовательно, обновление Тырганского взбросонадвига и Афоново-Киселевского взброса, ограничивающих среднюю ступень, произошло в эоплейстоцене.

Повторные возгорания углей в пределах средней предгорной ступени произошли в неоплейстоцене (0.1—0.3 млн лет назад). Поскольку единый массив горельника Соколиные горы сейчас прорезан долиной р. Тайба, наиболее вероятной причиной возобновления пожаров представляется вскрытие процессами линейной эрозии нижележащих угольных пластов, не затронутых древними пожарами.

Согласно [Новиков и др., 2008] $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -возраст паралавы из горельника, расположенного в пределах нижней предгорной ступени, был определен с большой ошибкой и составляет 0.3 ± 0.3 млн лет. Пожары на этой территории произошли в неоплейстоцене. На более молодой возраст этих возгораний также указывает сохранность в верхах разрезов горельника умеренно преобразованных пород. Можно предположить, что реактивация Киселевского взброса и сопряженное с ней воздымание нижней предгорной ступени произошло в неоплейстоцене (см. рис. 10). Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод о последовательном формировании предгорных ступеней на западной периферии Кузбасса.

Причиной природных пожаров углей может быть как их самовозгорание, так и воспламенение от внешнего источника. Угли Прокопьевско-Киселевского района относятся к категории трудноокисляемых и достаточно устойчивы к саморазогреву [Манукян, 1947; Линденау и др., 1982]. Это позволяет

оценить вероятность их природного самовозгорания как достаточно низкую. Первыми к такому выводу пришли В.И. Яворский и Л.В. Радугина [1932], которые считали, что причиной древних угольных пожаров Кузбасса были лесные пожары. Важнейшим аргументом в пользу такого сценария является распространение природных возгораний от кровли к подошве пласта (в противоположность самовозгоранию, идущему от подошвы к кровле) (см. рис. 5).

Необычная глубина развития плейстоценовых пожаров (до 200 м) указывает на их климатический контроль. Поскольку пожар не может распространяться ниже уровня грунтовых вод, древние возгорания на западной окраине Кузбасса должны быть отнесены к засушливым периодам четвертичного времени. Первым о развитии крупных угольных пожаров в Кузбассе именно в «сухой век постплиоцена» заявил еще М.А. Усов [1935]. В такой климатической обстановке наиболее вероятной причиной возгораний вскрытых угольных пластов были степные пожары, подобно тому, как это неоднократно случилось на Великих Равнинах Северной Америки [Heffern et al., 2007]. Дополнительным фактором риска возгорания углей на стыке с Салаиром мог быть сорбированный метан. На это косвенным образом указывает приуроченность главных очагов палеопожаров к антиклиналям, которые отличает высокая метаноносность. При развитии степных пожаров, наличие первичного горючего газа резко повышало риск воспламенения твердого топлива, обеспечивая предварительный разогрев угля до температуры его термического разложения.

Экспозиция угленосных толщ, время и причины естественных возгораний углей на Ерунаковской площади. В центре бассейна угли выводились в зону аэрации только в эрозионных врезках, что доказывается преимущественной локализацией горельников в долинах притоков р. Томь. Поскольку пожары не распространялись ниже уровня первых надпойменных террас, можно утверждать, что разрозненные очаги палеовозгораний возникали здесь по мере проработки современной дренажной сети. По мнению В.И. Яворского, ее заложение произошло во время казанцевского потепления (0.13—0.10 млн лет назад) [Геология..., 1967]. Нижняя граница отложений, перекрывающих горельники этого района, отвечает рубежу ~ 23 тыс. лет [Форонова, 2001; Зыкин и др., 2008]. Таким образом, пожары в центре Кузбасса могут быть отнесены к интервалу 130—23 тыс. лет назад. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -возрасты пирогенных пород этой территории (0.1 ± 0.1 и 0.3 ± 0.2 млн лет) согласуются с такими оценками, однако большая ошибка их определения пока не позволяет сузить данный интервал (см. табл. 7).

О причинах возгорания углей в центре Кузбасса сложно дать однозначное заключение, поскольку здесь распространены самовозгорающиеся угли. Вместе с тем в разрезах карьера Камушек мы обнаружили свидетельства развития палеопожаров от кровли пласта к подошве, что указывает на внешний источник воспламенения.

Угольные пожары Кузбасса и климатические обстановки. В Кузбассе массовые возгорания углей происходили в плейстоценовое время, для которого характерно чередование ледниковых и межледниковых эпох. Максимальной частотой и амплитудой климатических колебаний отличался неоплейстоцен (0.78—0.01 млн лет). В Западной Сибири для этого времени реконструировано 7 ледниковых и 6 межледниковых периодов. Для эоплейстоцена (2.6—0.78 млн лет) границы ледниковых и межледниковых периодов четко не установлены. Однако считается, что в это время теплые периоды были более длительными, а количество холодных эпизодов было меньшим [Архипов, Волкова, 1994; Форонова, 2001; Зыкин и др., 2008].

Как было обосновано выше, палеовозгорания углей Кузнецкого бассейна происходили в теплом и засушливом климате. На юге Западной Сибири такие климатические обстановки реконструируются в позднем эоплейстоцене и позднем неоплейстоцене (казанцевское время). В позднем эоплейстоцене (1.2—0.78 млн лет) климат здесь был наиболее теплым за весь четвертичный период, а ландшафты представляли собой степи и лесостепи [Архипов, Волкова, 1994]. Наиболее засушливым был конец позднего эоплейстоцена [Форонова, 2001; Зыкин и др., 2008]. Климат казанцевского межледниковья (0.13—0.10 млн лет) был значительно теплее современного. Наиболее засушливой была его вторая половина, когда на юге Сибири преобладали степные ландшафты [Форонова, 2001; Зыкин и др., 2008]. Для юга Западной Сибири относительно засушливые и теплые климатические условия также были реконструированы в конце талагайкинское, тильтимское, середине тазовского (койнихинское межстадиальное потепление) и начале ермаковского (межстадиальное потепление) времени [Зыкин и др., 2008].

Первая волна массовых угольных пожаров прошла по западной окраине Кузнецкой котловины в конце раннего эоплейстоцена и/или в позднем эоплейстоцене, когда здесь преобладали засушливые степи [Форонова, 2001]. Время повторных возгораний (0.1—0.3 млн лет) на этой территории охватывает три теплых периода: ширтинское, койнихинское и казанцевское время. Однако максимальная вероятность повторных возгораний угля приходится на теплый и сухой период (около 0.1 млн лет назад), отвечающий второй половине казанцевского межледниковья (см. рис. 10).

Для нижней предгорной ступени, вовлеченной в неотектоническую активизацию позднее, пока удалось реконструировать только нижний рубеж палеовозгораний — не древнее 0.6 млн лет. Климати-

ческие предпосылки возникновения угольных пожаров в этом временном интервале существовали в конце тильтимского и казанцевского, в койнихинское и начале ермаковского времени (см. рис. 10).

Возраст палеовозгораний центральной части Кузбасса (Ерунаковская площадь) пока определен с большой ошибкой. Этому интервалу соответствуют три теплых периода — казанцевское и каргинское время и начало ермаковского периода (см. рис. 10). Поскольку засушливый климат реконструирован только для казанцевского межледниковья, можно предположить, что палеопожары в центре Кузбасса происходили именно в это время и были синхронны с повторными возгораниями в Центральной тектонической зоне.

ВЫВОДЫ

1. На западной окраине Кузбасса палеопожары возникали на мощных крутопадающих пластах мягких витрено-клареновых углей. Поля высокотемпературных горельников приурочены к сводам слабонарушенных антиклиналей, характеризующихся повышенной метаносностью. Их воспламенение от внешнего источника зажигания представляется более вероятным, нежели самовозгорание. В центре Кузбасса разрозненные очаги пожаров возникали на пластах самовозгорающихся углей в ходе проработки современной гидросети. Горельники здесь слабо эродированы и преимущественно сложены породами начальной степени обжига.

2. На основании $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -возрастов горельников реконструированы временные рубежи высотной дифференциации рельефа и проработки гидросети на западе и в центре Кузнецкой впадины. Первая волна массовых возгораний прошла здесь в эоплейстоцене (1.3—0.9 млн лет). За верхний возрастной рубеж начала высотной дифференциации рельефа этого района может быть принята наиболее древняя $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датировка паралавы — 1.7 ± 0.3 млн лет. Времена повторных возгораний на западной окраине (0.2 ± 0.1 млн лет) и в центре бассейна (0.13—0.02 млн лет) близки. Эти пожары с высокой вероятностью произошли в казанцевское межледниковье, когда закладывалась современная гидросеть.

4. Для плейстоценового времени установлена связь эпох палеовозгораний углей с климатическими обстановками на территории Южной Сибири. Показано, что в Кузбассе природные палеопожары возникали в степных ландшафтах в сухом и теплом климате. Построена схема, отображающая соотношение эпох массовых возгораний углей и палеоклиматических обстановок в Кузнецкой котловине.

5. На материале пирометаморфических объектов Кузбасса впервые доказана корректность использования разновозрастных паралав и высокотемпературных клинкеров как принципиально нового источника информации при неотектонических и палеоклиматических реконструкциях.

Авторы выражают искреннюю признательность академику РАН В.В. Ревердатто (ИГМ СО РАН) и члену-корреспонденту РАН Г.И. Грицко (ИНГГ СО РАН) за конструктивные предложения по улучшению рукописи. Мы также благодарим сотрудников ОАО «Запсибгеология» г. Новокузнецк; д.г.-м.н. И.С. Новикова (ИГМ СО РАН), главного геолога ОАО «Кузбассгипрошахт» В.Г. Наставко, И.И. Сычева, к.г.-м.н. [В.И. Лельчука], Е.В. Кудинова, Н.А. Кирильцеву за помощь в организации полевых работ, участие в сборе и анализе первичной геологической информации. Ценную помощь в обсуждении результатов оказали к.г.-м.н. И.В. Фофонова, д.г.-м.н. В.Н. Шарапов, д.г.-м.н. М.М. Буслов (ИГМ СО РАН), к.г.-м.н. Е.В. Деев (ИНГГ СО РАН). Всем им авторы глубоко признательны.

Работа осуществлена при поддержке РФФИ (грант 12-05-31037_мол_а и 12-05-33028_мол_а_вед).

ЛИТЕРАТУРА

Архипов С.А., Волкова В.С. Геологическая история, ландшафты и климаты плейстоцена Западной Сибири. Новосибирск, ОИГГМ СО РАН, 1994, 106 с.

Бабин Г.А. Геологическая карта Кемеровской области. М-б 1:500000. ФГУГП «Запсибгеолсъемка», 2007.

Геология СССР. Том XIV. Западная Сибирь (Алтайский край, Кемерово, Новосибирская, Омская, Томская области). Часть 1. Геологическое описание / Ред. В.И. Яворский. М., Госгеолтехиздат, 1967, 647 с.

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

Зыкин В.С., Зыкина В.С., Орлова Л.А. Изменение природной среды и климата Западной Сибири в позднем кайнозое // Глобальные и региональные изменения климата и природной среды позднего кайнозоя в Сибири. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2008, с. 175—245.

Карасевич А.М., Хрюкин В.Т., Зимаков Б.М., Матвиенко Н.Г., Золотых С.С., Натура В.Г., Попова Т.С. Кузнецкий бассейн — крупнейшая сырьевая база промышленной добычи метана из угольных пластов. М., Изд-во Академии горных наук, 2001, 64 с.

Кудинов Е.В. Геолого-тектоническое строение и газоносность угленосных отложений Верхнебалахонской подсерии Прокопьевско-Киселевского сегмента Присалаирской зоны Кузбасса // Вестник ТГУ, 2007, № 301, с. 196—200.

- Кухаренко Т.А.** Химия и генезис ископаемых углей. М., Госгортехиздат, 1960, 328 с.
- Линденау Н.И., Маевская В.М., Вахрушева Е.С.** Каталог углей, склонных к самовозгоранию. М., Недра, 1982, 416 с.
- Луппов М.А.** Регистрационная карта месторождения горелых пород Кузнецкого бассейна. М-б 1:600 000. Нерудная экспедиция, Прокопьевско-Киселевская партия. Новокузнецк, ЗСГУ, 1964, 1965.
- Манукян П.А.** Подземные пожары в угольных шахтах. М., Углетехиздат, 1947, 111 с.
- Маревич Н.В.** Самовозгорание угля мощных пластов Прокопьевского месторождения Кузбасса. М., Углетехиздат, 1955, 136 с.
- Новиков И.С., Сокол Э.В., Травин А.В., Новикова С.А.** Пирометаморфические индикаторы кайнозойских орогенных движений: минералогические и геохронологические аспекты на примере зоны перехода от Салаира к Кузбассу // Геология и геофизика, 2008, т. 49 (6), с. 503—526.
- Новиков И.С., Черкас О.В., Мамедов Г.М., Симонов Ю.Г., Симонова Т.Ю., Наставко В.Г.** Этапы активации и тектоническая делимость Кузнецкого угольного бассейна (Южная Сибирь) // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (3), с. 424—437.
- Перепелов А.Б., Цыпукова С.С., Демонтерова Е.И., Павлова Л.А., Травин А.В., Бат-Улзий Д.** Первые минералого-геохимические и изотопно-геохронологические данные по неогеновому щелочно-базальтовому вулканизму плато Хэвэн Залу Урийн Сарьдаг (Северная Монголия) // ДАН, 2010, т. 434, № 2, с. 232—237.
- Пирогенный** метаморфизм / Э.В. Сокол, Н.В. Максимова, Е.Н. Нигматулина, В.В. Шарыгин, В.М. Калугин // Ред. Г.Г. Лепезин. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2005, 284 с.
- Угольная база** России. Том II. Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири (Кузнецкий, Горловский, Западно-Сибирский бассейны; месторождения Алтайского края и Республики Алтай) / Ред. А.З. Юзицкий. М., ООО «Геоинформцентр», 2003, 604 с.
- Усов М.А.** Тектоника Кузбасса // Проблемы советской геологии, 1935, т. V, № 2, с. 113—134.
- Форонова И.В.** Четвертичные млекопитающие юго-востока Западной Сибири. Кузнецкая котловина. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2001, 243 с.
- Фотьева Г.С.** Обзорная геологическая карта Ленинского и Ерунаковского районов. М-б 1:25000. Северо-Кузбасская геолого-разведочная экспедиция, Беловская геолого-разведочная партия, ЗСГО, 1984.
- Юзвицкий А.З.** Геолого-промышленная карта Кузнецкого бассейна. М-б 1:100000. Новосибирск, СНИИГГиМС, 1998.
- Юзвицкий А.З.** Геолого-промышленная карта Кузнецкого бассейна. М-б 1:100000: Объяснительная записка. Новосибирск, СНИИГГиМС, 2000, 128 с.
- Яворский В.И.** Географическое положение Кузнецкого бассейна и общие сведения о нем // Очерки по геологии Кузнецкого и Донецкого бассейнов. Л., 1970, с. 55—93.
- Яворский В.И., Радугина Л.В.** Каменноугольные пожары в Кузнецком бассейне и связанные с ними явления // Горный журнал, 1932, № 10, с. 55—59.
- Coal and peat fires: a global perspective. Volume 1: Coal geology and combustion / Ed. G.B. Stracher, A. Prakash, E.V. Sokol.** Amsterdam, Elsevier, 2010, 357 p.
- 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.
- 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.** Pyrometamorphism. Germany, Springer, 2011, 377 p.
- Grapes R., Korzhova S., Sokol E., Seryotkin Y.** Paragenesis of unusual Fe-cordierite (sekaninaite)-bearing paralava and clinker from the Kuznetsk coal basin, Siberia, Russia // Contr. Miner. Petrol., 2011, v. 162, p. 253—273.
- Heffern E.L., Reiners P.W., Naeser C.W., Coates D.A.** Geochronology of clinker and implications for evolution of the Powder River Basin landscape, Wyoming and Montana // Geol. Soc. Amer. Rev. Eng. Geol., 2007, p. 155—175.
- International Chronostratigraphic Chart,** International Commission of Stratigraphy, August, 2012.
- Karlstrom K.E., Crow R.S., Peters L., McIntosh W., Raucci J., Crossey L.J., Umhoefer P., Dunbar N.** $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and field studies of Quaternary basalts in Grand Canyon and model for carving Grand Canyon: quantifying the interaction of river incision and normal faulting across the western edge of the Colorado Plateau // Geol. Soc. Amer. Bull., 2007, v. 119, № 11—12, p. 1283—1312.