

2. Михайлов А.Е. Структурная геология и геологическое картирование. — М.: Недра, 1973. — 432 с.
3. Яновский В.М., Менакер Г.И., Скорняков Л.Н. и др. Автоматизированная обработка на ЭВМ данных площадных геохимических съемок в Читинском геологическом управлении // В кн.: Геохимические карты и их использование при поисках рудных месторождений. — Хабаровск: Изд. НТО «Горное», 1979, — ч. I. — С. 109–111.
4. Харбух Дж., Бонэм Картер Г. Моделирование на ЭВМ в геологии. — М.: Мир, 1974. — 319 с.
5. Дэвис Дж. С. Статистический анализ данных в геологии. — М.: Недра, 1990. — Кн. 2. — 427 с.

© Яновский В.М., Бахтарова Е.П., Нагорная Е.А., 2001

УДК 551.243: 553.94

ПРИВАЛОВ В.А. (ДонНТУ), САКСЕНХОФЕР Р. (Леобенский университет, Австрия), ЖИКАЛЯК Н.В., ПИСКОВОЙ М.А., (Донецк ГРГП), ПАНОВА Е.А. (УкрНИИМИ)

ТЕПЛОВЫЕ ПОТОКИ В ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИСТОРИИ ДОНБАССА: РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

С целью реконструкции факторов, контролировавших динамику процессов углефикации в Донбассе, использованы методы численного моделирования древних тепловых потоков на основе измерений отражательной способности витринита в анилифах из проб угля, отобранных из керна 23 скважин. Тепловой поток во время максимального погружения изменялся в пределах от 40 мВт/м² до 75 мВт/м². Выделены два «эпицентра» аномально высоких тепловых потоков (125–200 мВт/м²), коррелируемых с пфальцской фазой герцинского тектонического цикла (граница перми и триаса).

Вопросы о причинах и механизмах процессов метаморфизма углей Донбасса неоднократно рассматривались в геологической литературе [1–4] и по-прежнему являются актуальными как для решения прикладных задач, связанных с определением качественных характеристик угля и выбросоопасности, так и для изучения истории геологического развития этого крупнейшего угольного бассейна. В настоящей работе мы использовали методы численного моделирования древних тепловых потоков с целью реконструкции факторов, контролировавших динамику процессов углефикации в Донбассе. Кроме того, определение параметров палеогеотермических условий представляет интерес для выяснения ряда аспектов геологической эволюции бассейна и сопредельных территорий, включая расчетные оценки мощностей эродированных отложений и временных интервалов генерации метановых залежей, а также способствует лучшему пониманию процессов формирования гидротермально-метасоматических изменений горных пород и рудной минерализации.

Анализ карты метаморфизма углей Донецкого бассейна [3] позволяет рассматривать площадное распространение зон различной степени углефикации и соответствующих им областей постдиагенетических изменений осадочной толщи как результат последовательного наложения следующих событий (1*)→(2*)→(3*)→(4*). Среди них: (1*) региональный метаморфизм угленосных отложений, степень которого для определенных стратиграфических интервалов обусловлена соотношением максимальной глубины их погружения в доинверсионный период и латеральными вариациями тепловых потоков на этот момент; (2*) дифференцированный подъем

(инверсия) территории Донбасса и последовавшие за этим формирование складок и эрозионные процессы, благодаря которым угленосные отложения, прежде залегавшие на глубоких горизонтах, оказались на дневной поверхности. Такой ход событий находит подтверждение в распределении зон метаморфизма углей, которые повторяют очертания основных структурных форм района исследований, однако несколько упрощает реальную картину. В частности, в центральном районе Донбасса в районе Главной антиклинали поверхности изометаморфизма залегают гораздо положе, чем горные породы на крыльях складки [1]. Практически это означает, что в ядре антиклинали степень метаморфизма ниже, чем на ее крыльях и, в особенности, по отношению к наиболее погруженным частям соседних Южной и Северной синклиналей. Следовательно, речь идет о новом кон- или постинверсионном «термальном событии» (3*) и связанном с ним повышенными тепловыми потоками, воздействии которых вызвало проявление дополнительного метаморфизма. На заключительном этапе (4*) по разрывным нарушениям произошли смещения со значительной сдвиговой компонентой смещения, которые разобщили и сместили поверхности изометаморфизма. Таким образом, временные рамки события (3*) теоретически могут быть очерчены в промежутке между уральской фазой герцинского тектонического цикла (граница ранней — поздней перми) и, по всей вероятности, ларамийской фазой альпийского тектонического цикла (граница мела — палеогена).

Как известно [1,5], в пределах этого интервала времени в Донбассе произошло три этапа магматической активности, с которыми возможно связывать эффект «термального события» (3*). На границе ранней и поздней перми после восходящих движений территории исследований [2] в пределах секторов локального растяжения [6] (юго-западная периферия Донецко-Кадиевского поперечного глубинного разлома в месте сочленения последнего с зоной Мариупольско-Курского линейamenta; система грабенообразных депрессий, разделяющих Новотроицкую горст-антиклиналь, Стыльский и Еланчикский горсты на южной окраине Донбасса) накануне или синхронно со складчатостью [4] происходит внедрение интрузивных тел Южно-Донбасского интрузивного комплекса [5]. Щелочная базальтовая магма этого комплекса генерировалась, дифференцировалась и контаминировалась коровым веществом в условиях сжатия в промежуточном очаге [5], откуда инъекционно внедрялась на верхние горизонты в контур относительно небольших по площади секторов локального растяжения. Процессы внедрения и застывания магмы, были, по-видимому, кратковременными и не сопровождались увеличением региональных тепловых потоков, о чем свидетельствует отчетливо локальные, однако высокоградиентные ореолы контактового (магматермического) метаморфизма углей в Южно-Донбасском районе [7].

На границе перми и триаса (пфальцская фаза герцинского тектонического цикла) в Донбассе происходит перестройка тектонического режима. В ССВ-ЮЮЗ направлении (поперечно простиранию основных донецких складок) вектор сжатия сменяется растяжением [8], возникают условия для правосдвиговой активизации принципиальной дислокационной зоны (ПДЗ) в пределах центрального комплекса глубинных разрывов [6] с перегруппировкой секторов локального растяжения. Вдоль ПДЗ на уровне кристаллического фундамента начинают «открываться окна» в пределах разномасштабных, однако в целом обширных по площади, бассейнов присдвигового растяжения (пулл-апартов) [6,8]. Здесь возрастают тепловые потоки, а еще на более глубоких горизонтах в обстановке локализованного растяжения возникают очаги частичного плавления вещества континентальной литосферы, магматические дериваты которых в виде изверженных покровов и субвулканических послыных залежей андезит-трахиандезитового комплекса достигают приповерхностных горизонтов. Невысокое

содержание MgO в изверженных породах этого комплекса (1,22–5,0% [5]), по всей вероятности, свидетельствует об относительно пониженной степени частичного плавления вещества или давлениях глубинных магм согласно критериям, изложенным в работах [9,10]. Эти обстоятельства затрудняли дифференцированное по скоростям продвижение магм к дневной поверхности, однако, могли способствовать формированию обширных скрытых в палеозойских отложениях интрузий, которые прекратили по мере застывания и потери пластичности восходящие движения, но продолжали воздействовать на вмещающие породы повышенными тепловыми потоками. В частности, над выделенными минимумами магнитного поля, отражающими объемы гидротермально-метасоматической проработки на участках распространения такого рода интрузий, в Амвросиевском и Чистяково-Снежнянском районах задокументированы обширные области березитизации и аргиллизации [11].

На границе средней и поздней юры, вследствие трансрегиональной реорганизации полей напряжений, возникших как отклик на процессы рифтовой пульсации в Северной Атлантике и Арктике и обособления коровых блоков в рифтовой системе Тетиса [12], в Донбассе опять возникают тектонические условия, сходные с теми, которые существовали во время пфальцской фазы [8]. Однако, судя по концентрации MgO в выдержанных по простирацию (15–30°) дайках Миуского комплекса лампрофиров (9,77–14,0% [5]), высокопластичная магма под большим давлением инжектировалась в предварительно возникшие трещины растяжения с относительно быстрой разгрузкой гидротерм и стабилизацией локальных тепловых потоков в пределах пучка возникших даек. О таком ходе событий геотермической истории свидетельствуют: а) четкие, с развитием характерной окалины, контакты даек с вмещающими отложениями; б) полное отсутствие интрузивных аппаратов центрального типа; в) приуроченность контрастных и наиболее протяженных первичных ореолов аномалий ртути к дайкам и соосным им зонам трещиноватости; г) относительно слабые признаки гидротермальной деятельности в виде убогой сети прожилков кальцита и горного хрусталя, маломощных зон аргиллизации и тонкодисперсной сыпи сульфидов по трещинам.

Таким образом, наиболее реальным временным промежутком, отвечающим «термальному событию» (3*), мог явиться интервал проявления пфальцской тектонической фазы (граница перми и триаса).

В качестве исходных данных для моделирования использовались результаты измерений наиболее чувствительного к изменению степени метаморфизма параметра — отражательной способности витринита (R_o , %). Измерения выполнялись в аншлифах, изготовленных из проб угля, отобранных из керна 23 скважин, расположенных, главным образом, в Красноармейском, Донецко-Макеевском и Чистяково-Снежнянском районах Донбасса (рис. 1). Критериями для отбора скважин для моделирования являлись: а) представительность и протяженность интервала опробования (более 750 м); б) значения отражающей способности ниже 6,0%. Данные измерений представлялись графически в координатном поле: R_o (отражательная способность) — ось абсцисс; H (глубина отбора пробы) — ось ординат. Дополнительно при моделировании использовалась следующая информация — данные о мощности и литологическом составе свит по каждой скважине, а также физические параметры (например, константы теплопроводности и теплоемкости для различных литологических типов пород), данные замеров температур горных пород по скважинам и расчетные значения современных тепловых потоков на различных гипсометрических уровнях. Процедура численного моделирования состояла в подборе к эмпирическому распределению точек в координатном поле $\{R_o; H\}$ наилучшего математического приближения в виде линии, геометрия которой зависит от сочетания различных зна-

чений тепловых потоков и мощности эродированных отложений. Дополнительная калибровка расчетной кривой $Ro(H)$ выполнялась с учетом данных изменения современных температур горных пород (T , °C) по разрезу скважины. В процессе моделирования расчетной кривой $Ro(H)$ использовался стандартный кинетический алгоритм EASY %Ro [13], а при значениях Ro больше 4,69 — его расширенная версия [14]. Данные о мощности стратиграфических подразделений и их литологическом составе использовались для реконструкции кривых погружения по скважинам с учетом алгоритма декомпрессии осадков. Для построения численных моделей изменения температур горных пород для различных стратиграфических интервалов с течением времени использовалось программное обеспечение PDI-1D™ и PetroMod 6.0 (IES, Jülich). Результаты моделирования (кривые погружения и история тепловых потоков) уточнялись с учетом исходных данных Ro и T .

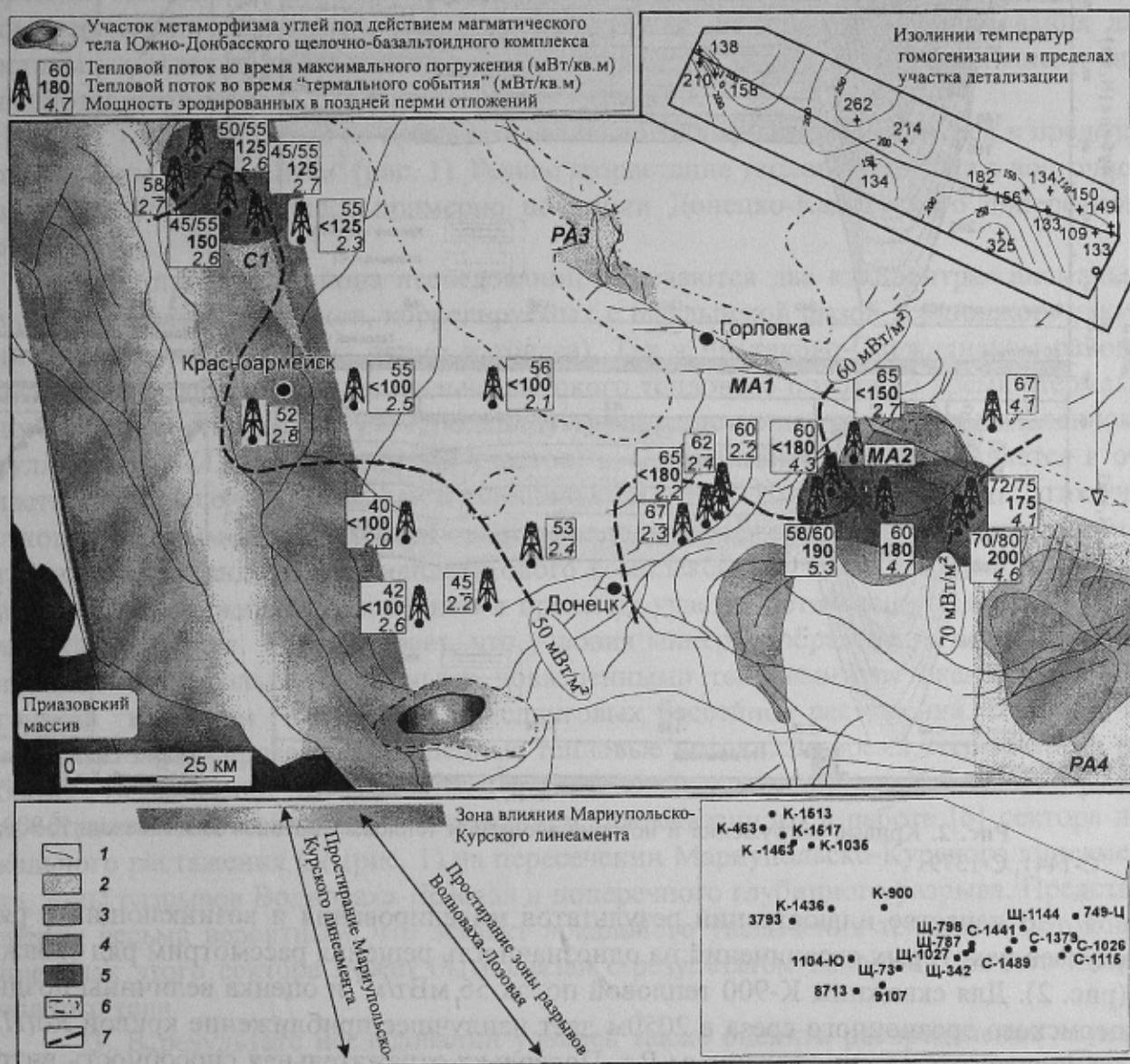


Рис. 1. Результаты моделирования тепловых потоков на территории Донецкого бассейна: 1 — разрывные нарушения; 2 — контур секторов локального растяжения по данным работ [6,8]; 3 — отрицательные аномалии магнитного поля, предположительно отвечающие по данным работы [11] областям гидротермально-метасоматической проработки на участках глубинных интрузивных тел; 4 — контуры предполагаемых скрытых интрузивных тел; 5 — контуры областей с аномально высокими тепловыми потоками во время «термального события»; 6 — область распространения пермских отложений; 7 — контуры тепловых потоков на момент максимального погружения

НАУКОВО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА
ДОНДТУ

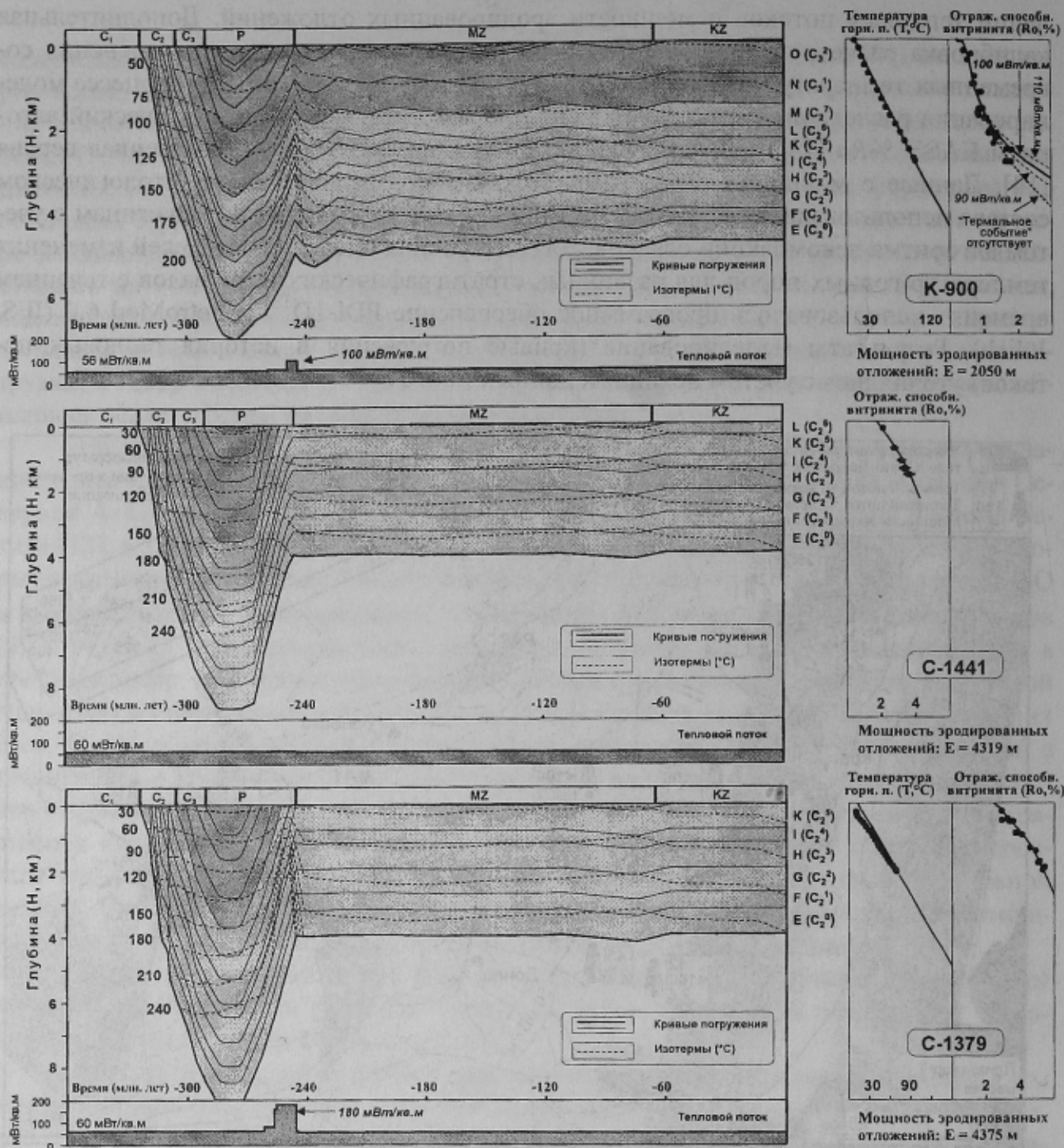


Рис. 2. Кривые погружения и история эволюции тепловых потоков для скважин К-900, С-1441, С-1379

В качестве иллюстрации результатов моделирования и возникающих в ряде случаев некоторых ограничений на однозначность решения рассмотрим ряд скважин (рис. 2). Для скважины К-900 тепловой поток 56 мВт/м^2 и оценка величины позднепермского эрозионного среза в 2050 м дает наилучшее приближение кривой $Ro(H)$ к эмпирическим точечным данным Ro . Поскольку отражательная способность витринита контролируется главным образом максимальными температурами, полученное значение теплового потока строго действительно только для интервала погружения отложений карбона на наиболее глубокие за всю историю развития структуры горизонты, что соответствует раннепермскому времени, поскольку уже на границе ранней-поздней перми бассейн испытал инверсию геотектонического режима [2, 5, 6]. Тепловые потоки в мезозойское время не могут быть определены точно. Тем не ме-

нее, представляется возможным определить верхнее предельное значение потока, коррелируемое с моментом «термального события». В частности, распределение точек Ro для скважины К-900 хорошо согласуется с моделируемыми значениями тепловых потоков на границе перми и триаса $100, 90 \text{ мВт/м}^2$ или даже полным отсутствием «термального события», однако модель теплового потока 110 мВт/м^2 дает полностью неприемлемый результат. Для скважины С-1441 распределение точек Ro достаточно хорошо описывается тепловым потоком на момент максимального погружения 60 мВт/м^2 и мощностью эродированных отложений более чем $4,3 \text{ км}$. В расположенной восточнее скважине С-1379 примерно при сопоставимых со скважиной С-1441 значениях теплового потока на стадии максимального погружения и мощности эродированных отложений, при подборе кривой $Ro(H)$ следует допустить существование аномально-высокого теплового потока (180 мВт/м^2) до или после времени максимального погружения. На рис. 2 показан вариант возрастной трактовки «термального события», рассмотренный выше. Результаты моделирования для остальных скважин района исследований приведены на рис. 3. Их обобщение и анализ позволяют вскрыть следующие закономерности.

1. Тепловой поток во время максимального погружения изменялся в пределах от 40 мВт/м^2 до 75 мВт/м^2 (рис. 1). Резкое возрастание теплового потока в восточном направлении наблюдалось примерно по линии Донецко-Кадиевского поперечного разрыва [6].

2. В пределах района исследований намечаются два «эпицентра» аномально высоких тепловых потоков, коррелируемых с пфальцской фазой герцинского тектонического цикла (граница перми и триаса). Так в Чистяково-Снежнянском районе, область распространения аномально высокого теплового потока во время «термального события» (на уровне $175\text{--}200 \text{ мВт/м}^2$) пространственно тяготеет к выявленному пулл-апарту МА2 (Михайловский участок) и, по-видимому, распространяется в область наибольшего по площади пулл-апарта РА4 [6,8]. Именно в пределах этих участков по данным геофизических съемок предполагается существование скрытых интрузивных тел андезит-трахиандезитового комплекса. Изучение температур гомогенизации газовой-жидких включений в пределах участка детализации в зоне Главной антиклинали (рис. 1) показывает, что условия минералообразования могли контролироваться не только локальными повышенными тепловыми потоками, но и разгрузкой гидротерм в пределах присдвиговых бассейнов растяжения. Второй участок, где зафиксированы повышенные тепловые потоки во время «термального события» (в диапазоне $125\text{--}150 \text{ мВт/м}^2$), расположен к северу от г. Красноармейска и пространственно совпадает с положением предсказанного в работе [6] сектора локального растяжения С1 (рис. 1) на пересечении Мариупольско-Курского линейamenta, зоны разрывов Волноваха-Лозовая и поперечного глубинного разрыва. Представляется весьма вероятным, что эффект локального увеличения тепловых потоков в пределах этого сектора может быть связан с результатом влияния скрытого интрузивного тела.

3. В результате исследований удалось также оценить распределение мощности эродированных в результате инверсионных процессов (на границе ранней и поздней перми) отложений (рис. 1). Характерной особенностью этого распределения является наличие экстремумов мощности эродированных палеозойских отложений в центральной части бассейна, что демонстрирует тенденцию формирования складчатости уже на инверсионной стадии. В этом плане, наши результаты подтверждают модель изменения амплитуды инверсии (на границе ранней и поздней перми) на площади Донецкого бассейна, предложенной Ю.Н. Нагорным и В.Н. Нагорным [2], и

позволяют с большим скепсисом рассматривать построения «амплитуды раннепермского подъема» в работе [15], где образование удлиненного свода в районе Приазовского массива увлекло Донбасс в асимметричный подъем без формирования складок и надвигов в конце палеозоя.

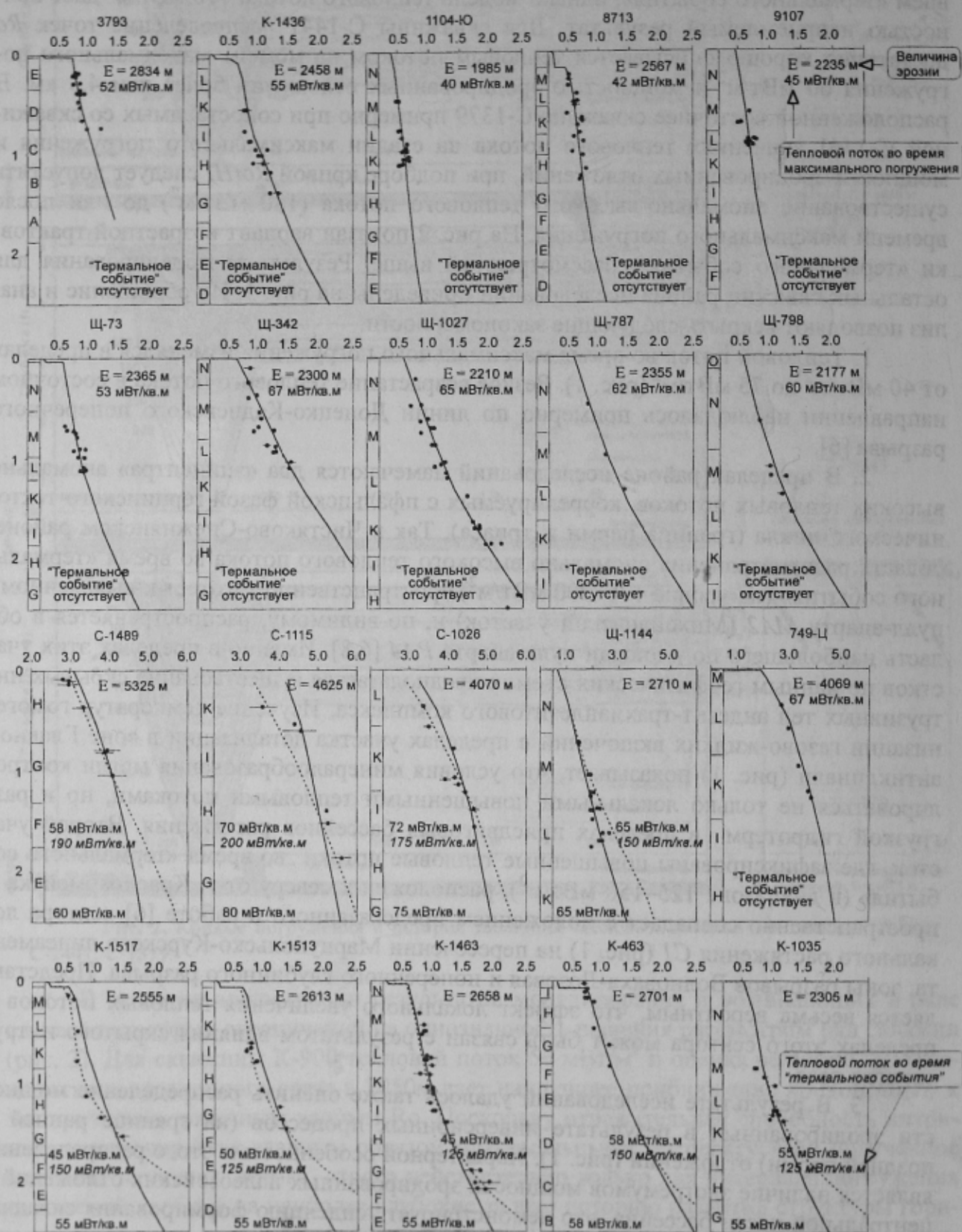


Рис. 3. Результаты моделирования тепловых потоков и мощности эродированных отложений по скважинам

4. Результаты исследований показывают, что метан в угленосной толще Донбасса генерировался не только во время максимального прединверсионного погружения, но и на более поздних этапах, что позволяет по-новому взглянуть на вопросы его сохранности и потенциальные возможности обнаружения крупных месторождений.

Библиографический список.

1. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. — М.: Госгеолтехиздат, 1963. — Т.1. — 1201с.
2. Нагорный Ю.Н., Нагорный В.Н. Особенности геологического развития Донецкого бассейна // Геотектоника, 1976. — №1. — С. 74–86.
3. Левенштейн М.Л., Спирина О.И., Носова К.Б., Дедов В.С. Карта метаморфизма углей Донецкого бассейна. — М.: Мингео СССР, 1991. — 10 л.
4. Гордиенко В.В., Усенко О.В. Геосинклинальный процесс на примере герцинской геосинклинали Донбасса // Геоф. журн, 2000. — № 5. — С.33–38.
5. Лазаренко Е.К., Панов Б.С., Груба В.И. Минералогия Донецкого бассейна. — Киев: Наук. думка, 1975. — Ч.1. — 254 с.
6. Привалов В.А. Вращение блоков и сценарий тектонической эволюции Донецкого бассейна // Геология і геохімія горючих копалин, 1998. — №4. — С. 142–158.
7. Жерновая Г.Г. Магматермический метаморфизм углей Южного Донбасса. — Киев: Препринт ИГН АН Украины, 1989. — 46 с.
8. Привалов В.А., Панова Е.А., Азаров Н.Я. Тектонические фазы в Донецком бассейне: пространственно-временная локализация и характер проявления // Геология і геохімія горючих копалин, 1998. — №4. — С. 11–18.
9. Jaques A.L., Green D.H. Anhydrous melting of peridotite at 0–15 kb pressure and the genesis of tholeiitic basalts // Contrib. Mineral. Petrol. — 1980. — V73. — P. 287–310.
10. Falloon T.J., Green D.H., Hatton C.J., Harris K.L. Anhydrous partial melting of a fertile and depleted peridotite from 2 to 30 kb and application to basalt petrogenesis // J. Petrol. — 1988. — V29. — P. 1257–1282.
11. Глубинное строение, эволюция флюидно-магматических систем и перспективы эндогенной золотоносности юго-восточной части Украинского Донбасса / Под ред. В.А. Шумлянського. — Киев: Изд. ИФИ Укр. науч. асоц., 1996. — 74 с.
12. Ziegler P.A. Evolution of the Arctic — North Atlantic and the Western Tethys // Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem. — 1988. — V43. — 198 p.
13. Sweeney J.J., Burnham A.K. Evaluation of a simple model of vitrinite reflectance based on chemical kinetics // Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bulletin. — 1990. — V73. — P. 1559–1570.
14. Everlien G. High-temperature programmed pyrolysis of Paleozoic source rocks from Northern Germany and adjacent areas and its thermodynamic constraints // Org. Geochem. — 1996. — V24. — P. 985–998.
15. Стомба С.Н., Стифенсон Р.А. Сравнительный анализ строения и истории формирования юго-восточной части Днепровско-Донецкой впадины и Донецкого складчатого сооружения // Геоф. журн., 2000. — № 4. — С.37–61.

© Привалов В.А., Саксенхофер Р., Жикаляк Н.В., Писковой М.А., Панова Е.А., 2001

УДК 550.372 (478.9)

АНЦИФЕРОВ А.В., БЕЛЯВСКИЙ В.В., НИКОЛАЕВ Ю.И., НОВГОРОДЦЕВА Л.А., СЕТАЯ Л.Д. (УкрНИМИ)

ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ДОНБАССА И ПРИАЗОВЬЯ

Было проведено комплексное геофизическое исследование металлогенических зон и провинций, где формировались рудные поля и месторождения золота. Построенные объемные геоэлектрические модели золоторудных месторождений При-