СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ГЕНЕРАЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ В ВОСТОЧНОЙ И ЗАПАДНОЙ ЧАСТЯХ МОРЯ МОУСОНА (АНТАРКТИКА) ПО ЗНАЧЕНИЯМ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ВИТРИНИТА

© 2020 г. Ю. И. Галушкин^{а, *}, Г. Л. Лейченков^{b, **}, Е. П. Дубинин^{а, ***}

^а Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Музей Землеведения Ленинские Горы, 1, Москва, 19991 Россия ^bФГУП "ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга" Английский просп., 1, Санкт-Петербург, 190121 Россия *e-mail: yu_gal@mail.ru **e-mail: german_l@mail.ru **e-mail: german_l@mail.ru ***e-mail: edubinin-08@rambler.ru Поступила в редакцию 09.07.2018 г. После доработки 13.08.2018 г. Принята к публикации 16.08.2018 г.

Проведена численная оценка степени созревания органического вещества и генерации углеводородов породами формаций Бремер 1–6 в истории погружения осадочного бассейна моря Моусона на пассивной окраине Восточной Антарктиды. Процедура численного моделирования бассейнов осуществлялась для 15-ти площадей, расположенных вдоль двух профилей 5903 и 5909 в восточной и западной частях моря Моусона. Расчеты позволили установить корреляционную связь выхода различных углеводородных фракций со значениями отражательной способности витринита в предполагаемых материнских породах бассейна. С помощью этих корреляций было проведено сравнение генерационных характеристик пород формаций Бремер восточной и западной частей моря Моусона. Оно показало, что породы формаций Бремер 1–4 в восточной части бассейна в основном газогенерирующие, тогда как в западной части бассейна они могут генерировать тяжелую и легкую нефть. В то же время моделирование позволяет предположить, что породы наименее погруженных формаций Бремер (формации Бремер 5 и 6) генерируют в основном тяжелую нефть в западной части бассейна моря Моусона и легкую нефть в его восточной части.

Ключевые слова: Антарктика, море Моусона, пассивная окраина, моделирование бассейнов, генерация углеводородов, отражательная способность витринита **DOI:** 10.31857/S0016752520010057

01. 10.31837/3001073232001003

введение

Термическая история осадочного бассейна моря Моусона была рассмотрена в недавней работе (Галушкин и др., 2018а) на примере девяти площадей вдоль профиля 5909, пересекающего пассивную окраину Восточной Антарктиды в море Моусона (рис. 1). В другой статье (Галушкин и др., 2018б) было показано, как различия в истории погружения двух сопряженных окраин (Австралийской и Антарктической) отражаются на историях генерации углеводородов (УВ) предполагаемыми материнскими породами обеих окраин. Сравнение проводилось на примере двух площадей с приблизительно одинаковой мощностью осадочного чехла: площади в районе скважины 19-2012 в суб-бассейне Бремер на австралийской окраине и в районе псевдоскважины 2 на профиле 5909 в бассейне моря Моусона на сопряженной площади окраины Антарктиды (Галушкин и др., 2018б). В связи с тем, что на рифтовой и ранней пострифтовой стадиях (до 65 млн лет; Leitchenkov et al., 2007) бассейн Бремер и бассейн моря Моусона развивались в сходных палеогеографических обстановках, мы рассматриваем отложения соответствующего возраста в бассейне Моусона в качестве аналогов хорошо изученных формаций Бремер 1-Бремер 6 (Bradshaw, 2005). Моделирование показало, что породы формаций Бремер 1 и 2 (~160-140 млн лет) в суб-бассейне Бремер в основном газогенерирующие, но в бассейне моря Моусона их аналоги могут быть нефтегенерирующими. В то же время породы формаций Бремера 4 и 5 (~132-110 млн лет) согласно моделированию, генерируют незначительное количество УВ в районе скважины 19-2012 суб-бассейна Бремер и заметное количество тяжелой и легкой нефти в



Рис. 1. Положение сейсмических профилей 5909 и 5903 на невулканической пассивной окраине Антарктиды в районе моря Моусона.

одновозрастных комплексах на сопряженной антарктической окраине моря Моусона.

Целью данной работы является сравнение характеристик генерации УВ в Восточной и Западной частях бассейна моря Моусона. Мы используем численные реконструкции истории погружения, изменения температуры и зрелости осадочных пород, рассмотренные в (Галушкин и др., 2018а), для оценки генерации различных фракций УВ породами формаций Бремер 1-6 на 15-ти площадях вдоль профилей 5903 и 5909, пересекающих пассивную окраину Восточной Антарктиды в восточной и западной частях моря Моусона (рис. 1). Система ГАЛО моделирования бассейнов применялась к осадочным разрезам на площадях девяти псевдоскважин на профиле 5909 и шести на профиле 5903. Положение псевдоскважин показано на рис. 2а, б. Эти рисунки показывают положение

ГЕОХИМИЯ том 65 № 1 2020

изотерм и изолиний отражательной способности витринита (% Ro) в современных осадочных разрезах бассейна вдоль профилей 5909 (2а) и 5903 (2б), вычисленное в нашей модели развития бассейна моря Моусона (Галушкин и др., 2018а). Как следует из рис. 2, осадочный покров восточной части моря Моусона на 2-3 км мощнее покрова в западной части моря. Соответственно, максимальные температуры осадочных пород в западной части моря Моусона составляют около 160°С и сами породы по уровню зрелости органического вещества (ОВ) не выходят за пределы "окна генерации нефти" (0.50 ≤ Ro ≤ 1.30%). В восточной же части моря максимальные температуры осадочных пород достигают 250°С и зрелость их ОВ превосходит 3% по Ro. Тем самым, породы аналогичные формациям Бремер в восточной части осадочного бассейна моря Моусона (профиль 5903) являются перезрелыми и генерирующими газ, в то время



Рис. 2. Стратиграфия осадочных разрезов (по Leitchenkov et al., 2007; Галушкин и др., 2018) с основными горизонтами (сплошные линии, над которыми указан предполагаемый возраст в млн лет) и глубины изолиний температуры (штрих-пунктирные линии) и отражательной способности витринита (штриховые линии), рассчитанные для современных осадочных разрезов моря Моусона вдоль сейсмических профилей 5909 (а) и 5903 (б). Внизу указаны положение и номера псевдоскважин.

как в западной части моря (профиль 5909) те же породы являются нормально зрелыми и могут генерировать жидкие УВ. Ниже генерационные свойства пород формаций Бремер 1–6 будут рассмотрены подробнее.

ГЕНЕРАЦИЯ РАЗЛИЧНЫХ УВ ФРАКЦИЙ В ФОРМАЦИЯХ БРЕМЕР: ПРИНЦИПЫ РАСЧЕТА И КОРРЕЛЯЦИИ С ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ ВИТРИНИТА

После оценки температур горных пород и зрелости их ОВ рассмотрим генерационные характеристики предполагаемых материнских пород изучаемого района, к которым относят породы формаций Бремер 1–6 (Bradshaw, 2005). Следует отметить, что основная информация о породах формаций Бремер была получена при бурении в суб-бассейне Бремер и соседних с ним районах пассивной окраины Австралии. Аналогичных исследований на Антарктической окраине не проводилось. На основании геолого-геофизических исследований можно предполагать, что литология пород формаций Бремер 1-6 в бассейне моря Моусона близка к литологии пород в суббассейне Бремер, изученной при бурении скв. 19-2012 ((Bradshaw, 2005; MacPhail, Monteil, 2005; Goncharov et al., 2006; Лейченков и др., 2015).

В осадочном разрезе пассивной окраины югозапада Австралии выделяются шесть сейсмостратиграфических единиц Бремер 1–6 Мезозойского возраста. (Bradshaw, 2005). Формация Бремер-1 верхнеюрского возраста представлена в основном речными и озерными аргиллитами и песчаниками. Содержание ОВ в аргиллитах (Сорг) колеблется от 1.1 до 3.4% (Goncharov et al., 2006), что позволяет относить их к потенциальным материнским породам. Они содержат кероген угольного типа, за образец которого может быть принят стандартный кероген типа III с исходным потенциалом генерации УВ HI = 160 мг УВ/г C_{opr} . Осадочные породы формаций Бремер 2-4 формировались при накоплении речных и озерных песчаников и глин, продолжавшегося в течение всей пострифтовой стадии остывания литосферы в поздней юре и раннем мелу. Озерные аргиллиты в основании формации Бремер 2 рассматриваются и как потенциальные материнские породы и как покрышки, в то время как залегающие выше них русловые песчаники той же формации рассматриваются как потенциалные резервуары. Кероген в породах Бремер 2 может быть представлен смесью 50% стандартного керогена типа II с HI = = 377 мг УВ/г С_{орг} и 50% керогена типа III с исходным потенциалом HI = 160 мг УВ/г С_{орг}. Следовательно, исходный потенциал смеси предполагался равным 268.5 мг УВ/г Сорг и заметно превышал потенциал в породах формации Бремер 1. В современных породах формации Бремер 3 берриас-валанжинского возраста содержание ОВ варьирует от 1.5 до 3.4% в аргиллитах и от 0.7 до 2.0% в карбонатных алевролитах. Доля песчаников в нижних горизонтах формации Бремер 3 заметно ниже, чем в верхних и по этой причине нижние горизонты формации рассматриваются как потенциальные материнские породы, а верхние как потенциальный резервуар (Bradshaw, 2005). Породы нижних горизонтов формации Бремер 3 содержат ОВ с той же смесью керогенов, что и породы формации Бремер 2 и тем самым для них характерен угольный тип керогена III с исходным потенциалом HI = 160 мг УВ/г С_{орг}. Формация Бремер 4 формировалась в течение валанжинаапта в условиях преимущественно морского и в меньшей степени озерного осадконакопления. Содержание ОВ в породах варьирует в широких пределах от 0.34 до 22.62% (MacPhail, Monteil, 2005). Кероген в породах формации Бремер 4 может быть представлен смесью 60% стандартного керогена типа II с HI = 377 мг УВ/г C_{opr} и 40% керогена типа III с HI = 160 мг УВ/г C_{opr} (Bradshaw, 2005; Goncharov et al., 2006). Тогда исходный потенциал генерации УВ этой смеси керогенов, равный 290 мг УВ/г С $_{\rm opr}$, будет выше, чем в породах формаций Бремер 1-3. Отложение пород формации Бремер 5 отвечало начальной фазе морской седиментации при остывании литосферы суббассейна Бремер в позднем апте-туроне. В породах формации доминируют аргиллиты и алевролиты с небольшими включениями известняков и песчаников. Значения Сорг в аргиллитах меняются в пределах от 0.36 до 3.4% (MacPhail, Monteil, 2005). Морской кероген типа II с HI = 611 мг УВ/г C_{opr} преобладает в породах этой формации (Bradshaw, 2005). Породы последней из рассматриваемых формаций, формации Бремер 6, откладывались в условиях морского осадконакопления и представлены преимущественно известняковыми аргиллитами и алевролитами с низким содержанием OB ($C_{opr} = 0.41 - 0.85\%$). Кероген типа II с относительно бедным исходным потенциалом генерации УВ HI = 377 мг УВ/г С_{орг} характерен для пород этой формации.

Обзор, представленный выше, предполагает, что кероген в породах формаций Бремер 1–6 может быть представлен различным сочетанием угольного керогена типа III с HI = 160 мг УВ/г С_{орг} и керогенов типа II с HI = 377 мг УВ/г С_{орг} и 611 мг УВ/г С_{орг}. Ниже, в своих расчетах генерации различных фракций УВ породами формаций Бремер мы воспользовались кинетическими спектрами стандартных типов керогена в 4-ех фракционной модели крекинга (тяжелая нефть, легкая нефть, газ и кокс), разработанных в Парижском институте нефти и широко применяющихся в известном пакете мо-



Рис. 3. Генерация различных фракций УВ (а, в) вместе с изменениями температуры и отражательной способности витринита (б, г) в истории погружения пород основания формации Бремер 1 (а, б) и кровли Бремер 2 (в, г) в районе псевдоскважины 2 на профиле 5909. Значения отражательной способности витринита (%Ro) рассчитывались с использованием кинетического спектра созревания витринита в модели EASY-Ro из работы (Sweeney, Burnham, 1990).

делирования бассейнов MATOIL. Мы провели вычисления для четырех представительных осадочных разрезов моря Movcoна (в районе псевдоскважин 1 и 2 на профиле 5909 и псевдоскважин 1 и 3 на профиле 5903) для всех формаций Бремер 1-6. Рис. 3 иллюстрирует результаты таких вычислений на примере осадочного разреза псевдоскважины 2 на профиле 5909. Наши вычисления озватывали широкую область значений Ro%, что дало возможность получить корреляционные кривые зависимости выхода разных фракций УВ от степени созревания ОВ породы (значений Ro%). Вычисления для всех четырех осадочных разрезов и всех шести формаций Бремер с разными историями погружения и изменения температуры дало с точностью не менее 5% одно-

значные кривые, связывающие генерацию разных фракций УВ с вычисленными значениями отражательной способности витринита Ro% (рис. 4–7). Отметим при этом, что корреляционные кривые, представленные на рис. 4-7, связывающие выход УВ со значениями Ro%, получены в предположении, что генерированные УВ не могли мигрировать в горизонты с более низкими температурами и оставались при Р-Т условиях, типичных для рассматриваемых предполагаемых материнских пород. Заметим также, что кривые на рис. 4, 7 и 8 получены для стандартных типов керогена и могут использоваться в дальнейшем для оценки генерации УВ с произвольной смесью этих типов керогена. Наши исследования показали наличие указанных корреляций в осадочных

ГЕОХИМИЯ том 65 № 1 2020



Рис. 4. Корреляция генерации нефтяных и газовых фракций УВ со значениями отражательной способности витринита ((Ro) для керогена угольного типа III с исходным потенциалом генерации УВ HI = 160 мг УВ/г С_{орг} (типичен для пород формации Бремер 1 и верхних горизонтов формации Бремер 3).



Рис. 5. То же, что на рис. 4 для смеси 50% керогена типа II и 50% керогена типа III с суммарным исходным потенциалом $HI = 268.5 \text{ мг УB/r } C_{opr}$ (смесь типична для пород формации Бремер 2).

породах бассейна моря Моусона. Однако, требуются дополнительные исследования, чтобы подтвердить справедливость этих корреляций в других осадочных бассейнах мира. Такие исследования безусловно будут иметь смысл, так как полученные корреляции заметно облегчают оценки генерации УВ предполагаемыми материнскими свитами бассейнов.

РЕАЛИЗАЦИЯ УГЛЕВОДОРОДНОГО ПОТЕНЦИАЛА В ЗАПАДНОЙ И ВОСТОЧНОЙ ЧАСТЯХ БАССЕЙНА МОРЯ МОУСОНА

В этом разделе корреляционные кривые, представленные на рис. 4–8, и рассчитанные уровни зрелости ОВ в современных породах формаций

ГЕОХИМИЯ том 65 № 1 2020

Бремер (рис. 2) используются для сравннения генерационных характеристик пород формаций Бремер в западной и восточной частях моря Моусона. Результаты расчетов представлены в таблице 1 на примерах четырех представительных площадей: бассейна, расположенных в районе псевдоскважин 0 и 1d профиля 5909 и 1a и 2 на профиле 5903. Таблица 1 дает информацию для пород в основании и кровле каждой из шести формаций Бремер. В ней представлены: возраст пород формаций (t), исходный потенциал генерации УВ (HI), состав керогена, степень зрелости ОВ пород в современном разрезе бассейна (рис. 2), и количество генерированных УВ (тяжелой и легкой нефти и газа). Последнее вычислялось при условии, что генерированные УВ не могли мигрировать в горизонты с более низкой температу-



Рис. 6. То же, что на рис. 4 для смеси 60% керогена типа II и 40% керогена типа III с суммарным исходным потенциалом HI = 290 мг УВ/г С_{орг} (смесь типична для пород формации Бремер 4).



Рис. 7. То же, что на рис. 4 для керогена типа II с исходным потенциалом HI = 611 мг УВ/г С_{орг} (типичен для пород формации Бремер 5).



Рис. 8. То же, что на рис. 4 для керогена типа II с исходным потенциалом HI = 377 мг УВ/г С_{орг} (типичен для пород формации Бремер 6).

	2000 0000 0000				
Компонент	Западная часть бассеина		Восточная часть оассеина		
	профиль 5909				
	номера псевдоскважин				
	0	1d	1a	2	
БРЕМЕР 1: t = 160–147 млн лет; HI = 160 мг УВ/г С _{орг} ; кероген III					
Ro%	1.035-0.970	1.63-1.36	2.88 - 2.45	3.75-3.33	
Компоненты	Генерация УВ (мг УВ/г С _{орг})				
Тяжелая нефть	13-17	0.03-0.30	0.0 - 0.0	0.0 - 0.0	
Легкая нефть	17-12	34-39	0.0 - 0.0	0.0 - 0.0	
Газ	13-11	52-34	102-94	115-107	
БРЕМЕР 2: t = 147–141 млн лет; HI = 268.5 мг УВ/г С _{орг} ; 0.5 кероген II (377) + 0.5 кероген III (160)					
Ro%	0.97-0.95	1.36-1.24	2.45-2.29	3.38-3.20	
Компоненты	Генерация УВ (мг УВ/г С _{орг})				
Тяжелая нефть	62-63	0.03-1.5	0.0 - 0.0	0.0 - 0.0	
Легкая нефть	45-48	90-93	0.0 - 0.0	0.0 - 0.0	
Газ	32-28	70–65	155-153	160-160	
ПОДОШВА БРЕМЕР 3: t = 141 млн лет; HI = 268.5 мг УВ/г С _{орг} ; 0.5 кероген II (377) + 0.5 кероген III (160)					
Ro%	0.95	1.24	2.29	3.2	
Компоненты	Генерация УВ (мг УВ/г С _{орг})				
Тяжелая нефть	67	1.5	0.0 - 0.0	0.0 - 0.0	
Легкая нефть	42	94	0.0 - 0.0	0.0 - 0.0	
Газ	27	65	150	160	
КРОВЛЯ БРЕМЕР 3: t = 160–133 млн лет; HI = 160 мг УВ/г C_{opr} ; кероген III					
Ro%	0.92	1.11	2.05	2.94	
Компоненты	Генерация УВ (мг УВ/г С _{орг})				
Тяжелая нефть	19	5	0.0	0.0	
Легкая нефть	8	26	1.5	0.0	
Газ	3	18	85	105	
БРЕМЕР 4: t = 133–115 млн лет; HI = 290 мг УВ/г С _{орг} ; 0.6 кероген II (377) + 0.4 кероген III (160)					
Ro%	0.92-0.83	1.11-0.86	2.05-1.61	2.94-2.36	
Компоненты	Генерация УВ (мг УВ/г Сорг)				
Тяжелая нефть	83-82	14-87	0.0-0.0	0.0-0.0	
Легкая нефть	37-17	94-23	2-76	0.0-0.0	
Газ	25-14	60-17	155-105	170 - 120	
БРЕМЕР 5: t = 115-89 млн лет; HI = 611 мг УВ/г Сорг; морской кероген II					
Ro%	0.83-0.63	0.86-0.68	1.61-1.36	2.36-1.71	
Компоненты		Генерация У	В (мг УВ/г С _{орг})		
Тяжелая нефть	210-20	230-60	0.0-0.0	0.0-0.0	
Легкая нефть	40-5	53-12	175-240	0.0-120	
Газ	27-4	35-5	225-175	>300-260	
БРЕМЕР 6: t = 89–65 млн лет: HI = 377 мг VB/г С · кероген II					
Ro%	0.63 - 0.48	0.68 - 0.54	1.36-0.97	171-133	
Компоненты	0.00 0.10	Генерация УВ (мг VВ/г С)			
Тяжелая нефть	15-1	37-3	0.0-115	0.0-0.0	
Легкая нефть	2.5-0.5	7–1.5	145-80	78–147	
Газ	1.5-0.0	2.5-0.3	105-53	155-105	
	1	1			

Таблица 1. Сравнение генерации УВ породами формаций Бремер в западной и восточной частях осадочного бассейна моря Моусона

Примечания. Данные для подошвы и кровли формации разделены знаком тире. Вычисления в табл. 1 сделаны в предположении, что генерированные УВ не могли мигрировать в горизонты с более низкой температурой и оставались при *P*-*T* условиях, характерных для рассматриваемой предполагаемой материнской формации.

ГЕОХИМИЯ том 65 № 1 2020

рой и оставались при *P-T* условиях рассматриваемой материнской формации.

Данные, приведенные в таблице 1 показают, что породы формаций Бремер 1—4 в восточной части бассейна (профиль 5903) являются в основном газогенерирующими, в то время как те же породы в западной части бассейна (профиль 5909) могут генерировать тяжелую и легкую нефть. В то же время породы формаций Бремер 5 и 6 генерируют в основном тяжелую нефть в западной части бассейна и легкую в его восточной части.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение системы моделирования бассейнов ГАЛО к осадочным разрезам 15-ти псевдоскважин на профилях 5909 и 5903 позволило получить распределение с глубиной температуры пород и зрелости их ОВ в современном осадочном разрезе моря Моусона (рис. 2). Численные реконструкции истории погружения, изменения температуры и зрелости ОВ шести предполагаемых материнских формаций Бремер 1-6 использовались для оценки генерации различных фракций УВ породами этих формаций на пассивной окраине Восточной Антарктиды в западной и восточной частях моря Моусона. Вычисления предполагают наличие почти однозначных корреляционных соотношений, связывающих генерацию разных фракций УВ со значениями отражательной способности витринита (%Ro). Не исключено, что полученные корреляции будут справедливыми и в других районах мира, но чтобы убедиться в этом, требуются дополнительные исследования. Наши исследования, показавшие справедливость таких корреляций в осадочном бассейне моря Моусона, были использованы для сравнения генерационных характеристик предполагаемых материнских пород формаций Бремер в восточной и западной частях моря Моусона. Сравнение показывает, что породы формаций Бремер 1–4 являются в основном газогенерирующими в восточной части бассейна и могут генерировать тяжелую и легкую нефть – в его менее глубокой западной части. В то же время лежащие выше породы формаций Бремер 5 и 6 могут генерировать в основном тяжелую нефть в западной части бассейна и легкую - в более глубокой восточной части.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного фонда (проект № 16-17-10139).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Галушкин Ю.И., Лейченков Г.Л., Гусева Ю.Б., Дубинин Е.П. (2018а). Амплитуда растяжения и термический режим литосферы невулканической пассивной окраины Антарктиды в районе моря Моусона. Физика Земли (1), 108-119.

Galushkin Yu.I., Leitchenkov G.L., Guseva Yu.B., Dubinin E.P. (2018a). The stretching amplitude and thermal regime of the lithosphere in the non-volcanic passive margin of Antarctica in the Mawson Sea region. *Izvestiya*, *Physics of the Solid Earth*, 54 (1), 79-90.

Галушкин Ю.И., Лейченков Г.Л., Дубинин Е.П. (2018б). Генерация углеводородов породами формации Бремер на сопряженных участках невулканических пассивных окраин Австралии и Антарктики. *Геохимия* (6), 559-571.

Galushkin Yu.I., Leichenkov G.L., Dubinin E.P. (2018b) Hydrocarbon generation by the rocks of the Bremer formation in adjacent areas of the non-volcanic passive margins of Australia and Antarctica. *Geochem. Int.* 56 (6), 554-565.

Лейченков Г.Л., Гусева Ю.Б., Гандюхин В.В., Иванов С.В. (2015). Строение земной коры и история геологического развития осадочных бассейнов индоокеанской акватории Антарктики. СПб. ВНИИОкеангеология. 200 с.

Bradshaw B.E. (ed.), (2005). Geology and petroleum potential of the Bremer sub-basin, offshore southwestern Australia. *Geoscience Australia*, Record 2005/21, 110 pp.

Goncharov A., Deighton I., Petkovic1 P., Tassell H. Mc-Laren S. (2006). Basement and crustal controls on hydrocarbons maturation: lessons from Bremer sub-basin for other frontier exploration areas. *Geoscience Australia*, GPO Box 378, Canberra ACT 2601, 1-43.

Leitchenkov G.L., Gandyukhin V.V., Guseva Y.B. Crustal structure and evolution of the Mawson Sea, western Wilkes Land margin, East Antarctica / In: Cooper A. K, Raymond C.R. et al. (eds.). Antarctica: A Keystone in a Changing World. Proc. 10th Int. Symp. on Antarctic Earth Science. USGS–U.S. National Academy. 2007.

MacPhail M.K., Monteil E. (2005). Results of palynostratigraphic analyses of dredge samples from the Denmark and Bremer sub-basins, western Bight Basin, southwest Western Australia (Appendix F). *In: Geological framework of the Bremer and Denmark sub-basins, southwest Australia* (Ed. Blevin J.E.), R/V Southern Surveyor Survey SS03/2004, Geoscience Australia Survey 265, post-survey report and GIS. Geoscience Australia Record 2005/05.

Sweeney J.J., Burnham A.K. (1990). Evolution of a simple model of vitrinite reflectance based on chemical kinetics: *AAPG Bull.* 74 (10), 1559-1570.