

DOI: [https://doi.org/10.17353/2070-5379/46\\_2015](https://doi.org/10.17353/2070-5379/46_2015)

УДК 551.734/.735:553.98(481-922.1)

**Верба М.Л.**

Федеральное государственное унитарное научно-производственное предприятие по морским геологоразведочным работам «Севморгео» (ФГУНПП «Севморгео»), Санкт-Петербург, Россия, [verba@sevmorgeo.com](mailto:verba@sevmorgeo.com)

## **ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИЗВЕРЖЕННЫХ И ОСАДОЧНЫХ ПОРОД АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН В СВЕТЕ ОЦЕНКИ ПЕРСПЕКТИВ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ**

*Получение в каменноугольных отложениях на берегах бухты Петунья в верховьях Билле-фьорда на о. Западный Шпицберген скважинных притоков газа и лёгкой нефти в количествах, представляющих практический интерес, явилось весомым аргументом в пользу перспективности этих и подстилающих их девонских отложений в нефтегазоносном отношении. Буровые скважины вместе с результатами наземных исследований показали, что метаморфические породы серии атомфьелла, развитые в зоне Биллефьордского разлома, долгое время считавшиеся архейско-раннепротерозойскими образованиями, представляют собой среднепалеозойские интрузии габбро, тепловое воздействие которых на вмещающие верхнедевонские и нижнекаменноугольные породы вызвало в них ускоренное созревание органического вещества и интенсивную генерацию легкой нефти, выявленной в них буровыми скважинами.*

***Ключевые слова:** осадочные отложения, девон, карбон, интрузия габбро метаморфизм, органическое вещество, генерация нефти, Западный Шпицберген.*

### **Введение**

Получение в скважинах на берегах бухты Петунья в верховьях Билле-фьорда притоков газа и лёгкой нефти в количествах, представляющих практический интерес [Верба, 2011], явилось продолжением успешных работ на других российских участках Шпицбергена [Верба, 1989], которые в совокупности с более поздними показали перспективность каменноугольных и мезозойских отложений архипелага на углеводородное сырьё. В ряде публикаций нами были рассмотрены проявления углеводородов (УВ) в осадочном чехле архипелага [Верба, 2007а] и привлечено внимание к выявленным, но забытым залежам нефти в районе Билле-фьорда [Верба 2007б; Верба, 2007в]. Отдельно были рассмотрены коллекторские свойства палеозойских и мезозойских пород, в которых обнаружены признаки нефти и газа [Верба, 2013]. Вместе с тем, в вопросе о перспективности каменноугольных отложений, в которых в процессе бурения колонковых скважин на берегах бухты Петунья были выявлены наиболее значительные притоки легкой нефти, оставалась неясность, связанная с ролью Баллиолбреенского горста, прослеживаемого В. Харландом с коллегами от бухты Мимер до западного побережья Ауст-фьорда [Harland et al., 1974; Harland, 1997].

Согласно их представлениям, получившим благодаря авторитету кембриджских

специалистов широкое распространение, платформенный режим в регионе установился в карбоне после проявления свальбардской фазы складчатости, наследующей черты каледонского тектогенеза. В такой интерпретации геологического строения региона, каменноугольным отложениям отводилась роль базальной толщи осадочного чехла, не представляющей интереса в нефтегазоносном отношении, а подстилающие их девонские породы, также содержащие проявления нефти, были отнесены к бесперспективному орогенному комплексу каледонского фундамента. В свете этих взглядов получение из каменноугольных отложений фонтанных дебитов легкой нефти, притом с небольшой глубины, выглядело случайностью, не заслуживающей практического интереса.

Вместе с тем, в последнее время стало ясно, что геологическая концепция кембриджской школы приходит в противоречие с новыми данными. Первым на это указал еще в 1969 г. Б.П. Бархатов, отметив отсутствие на архипелаге проявлений каледонской складчатости [Бархатов, 1959]. Позднее его аргументы были усилены М.Г. Равичем [Равич, 1976] и С.И. Турченко [Турченко, 1987]. Затем А. Элли указал на согласное залегание каменноугольных и девонских отложений, относящихся к платформенному чехлу, и, соответственно, на отсутствие признаков свальбардской складчатости [Hjelle, 1993.]. Наконец, нами были обобщены данные о незначительной роли свальбардского несогласия [Верба, 1984] и показано, что обсуждаемая узкая, не более 50 м в ширину, протяженная структура, принятая В. Харландом за горст с амплитудой не менее 5 км, представляет собой серию кулисообразно расположенных, наклонных даек среднекаменноугольного возраста [Верба, 2005]. Было установлено также, что на горячих контактах интрузии с кварцевыми песчаниками нижнего карбона и хемогенно-терригенными отложениями среднего карбона образуются комплекс метаморфитов, среди которых присутствуют игнимбриты [Верба, Верба, 1997] а также гнейсовидные, амфиболитовые и гранитоидные породы [Верба, Верба, 2002].

Обнаружение залежей УВ в колонковых скважинах, пройденных по берегам бухты Петунья, отчетливо обнажило противоречивость имеющейся информации о геологическом строении этого участка Шпицбергена. С одной стороны, региональные построения, основанные на концепции В. Харланда и его коллег, указывают на отсутствие перспектив этого района (как и архипелага в целом). С другой стороны, в окрестностях рудника Пирамида в результате проходки большого числа горных выработок и бурения углепоисковых скважин, число которых исчисляется многими десятками, в девонских и каменноугольных породах выявлено множество проявлений УВ.

Дополнительному обоснованию отсутствия докембрийских пород в районе Пирамиды и обсуждению в свете новых геологических и сейсмических данных перспективности в

нефтегазоносном отношении девонских и каменноугольных отложений района, прилегающего к российскому руднику Пирамида, посвящено данное сообщение. Его актуальность определяется продолжающимся в наши дни распространением подвергнутых сомнению построений кембриджских геологов и новыми попытками их обоснования [Сироткин, Евдокимов, 2011] и иницируется перспективами возобновления хозяйственной деятельности на российском руднике Пирамида. Излагаемые ниже новые факты позволяют значительно расширить прогнозные оценки этого участка не только в нефтегазоносном, но и в угленосном отношении.

### Исходные данные

В основе проведенного анализа лежат результаты многолетних полевых наблюдений автора, увязанные с имеющимися данными по окрестностям рудника Пирамида и региональными построениями и стратиграфическими схемами [Johannssen, Steel, 1992; Пчелина, 1986, 1994; Ливщиц, 1966; 1973]. Маршрутными пересечениями были изучены естественные обнажения по долинам рр. Мимер, Хуген, Биргер-Джонсон, Эбба и склонам гор Пирамида, Сентинел, Одель, Триунген, Триколор, Ловехогден, Вордиекаммен, где каменноугольные и девонские отложения находятся в соприкосновении с комплексом метаморфических пород, объединяемых в толщу атомфьелла, которая согласно В.Харланду имеет архей-раннепротерозойский возраст и слагает структуру горста, названного им Баллиобреенским. Кроме того были исследованы стенки вентиляционного штрека 365 рудника Пирамида и керновый материал скважин, вскрывших контакт пород карбона и интрузивных пород у южного подножия г. Пирамида, в долине р. Рогнар и на восточном берегу бухты Петунья. В анализ были вовлечены результаты среднемасштабной аэромагнитной съёмки, выполненной ПМГРЭ совместно с норвежскими специалистами [Skilbrei, 1993]. Структурные построения, созданные на базе полевых наблюдений и обобщения данных по руднику Пирамида, были согласованы с сейсмическими материалами, которые были получены в Билле-фьорде российскими организациями: к югу от бухты Петунья они представлены профилями МОВ-ОГТ, отработанными в 1991 г. В.И. Хрисанфовым (ПМГРЭ), на восточном берегу бухты находятся два коротких профиля МОВ, в опытном порядке выполненных в 1993 г. ВНИИ Геофизика, а центральные части акваторий бухт Петунья, Мимер и Адольфа пересечены профилями МОВ-МПВ с трехкомпонентными донными станциями, отработанными в 1999 г. В.И. Хрисанфовым и В.Ю. Балыковым (ГНПП Севморгео). Материалы этих работ частично освещены И.М. Тихоновой [Сакулина и др., 2003].

В процессе обработки сейсмических материалов в петрофизической лаборатории ВИРГа под руководством И.А. Курилович были выполнены петрофизические исследования

на образцах керна колонковых скважин, опробованных автором. Эти исследования, охватившие все основные литологические разности каменноугольного разреза, включали определения скорости прохождения акустических колебаний в сухих, водонасыщенных и охлажденных до минусовых температур образцах.

В тектоническом аспекте увязка результатов разномасштабных исследований отражена на структурной карте, показывающей залегание подошвы каменноугольных отложений (рис. 1). Итоги выполненной увязки стратиграфических данных приведены в табл. 1.

При определении роли выявленных интрузивных пород на генерационный потенциал керогена каменноугольных и девонских пород и общую оценку перспектив нефтегазоносности района бухты Петунья и прилегающей территории были привлечены результаты углепетрографического изучения образцов угля, подвергнутого термальному воздействию интрузии. Определения выполнялись Н.К. Евдокимовой по методике, изложенной ранее [Евдокимова, 1986], и включали использование в качестве эталона алмаз с  $R^{\circ} = 5,35$  (увеличение 450,). Определения радиологического возраста интрузивных образований были произведены калий-аргоновым методом в лаборатории ВСЕГЕИ аналитиком Л.В. Щиголовой под руководством Ю.Д. Пушкарева. Они не подтвердили принадлежности магматических тел к докембрию [Верба, 1996].

### **Результаты исследований**

Материалы проведенных исследований показали, что строение осадочного разреза рассматриваемого участка Шпицбергена и соотношение слагающих его толщ девонского и каменноугольного возраста существенно меняется, причем с удалением в широтном направлении от зоны разлома и связанной с ним интрузии, а также с погружением интрузии в меридиональном направлении соотношение этих двух толщ упрощается. В особенности эта черта присуща залеганию каменноугольных пород. Ниже будут приведены данные, характеризующие соотношения этих толщ на трех участках Биллефьордского разлома, где девонские и каменноугольные отложения находятся в непосредственном контакте с метаморфическими породами, выделяемыми в серию *атомфьелла*.

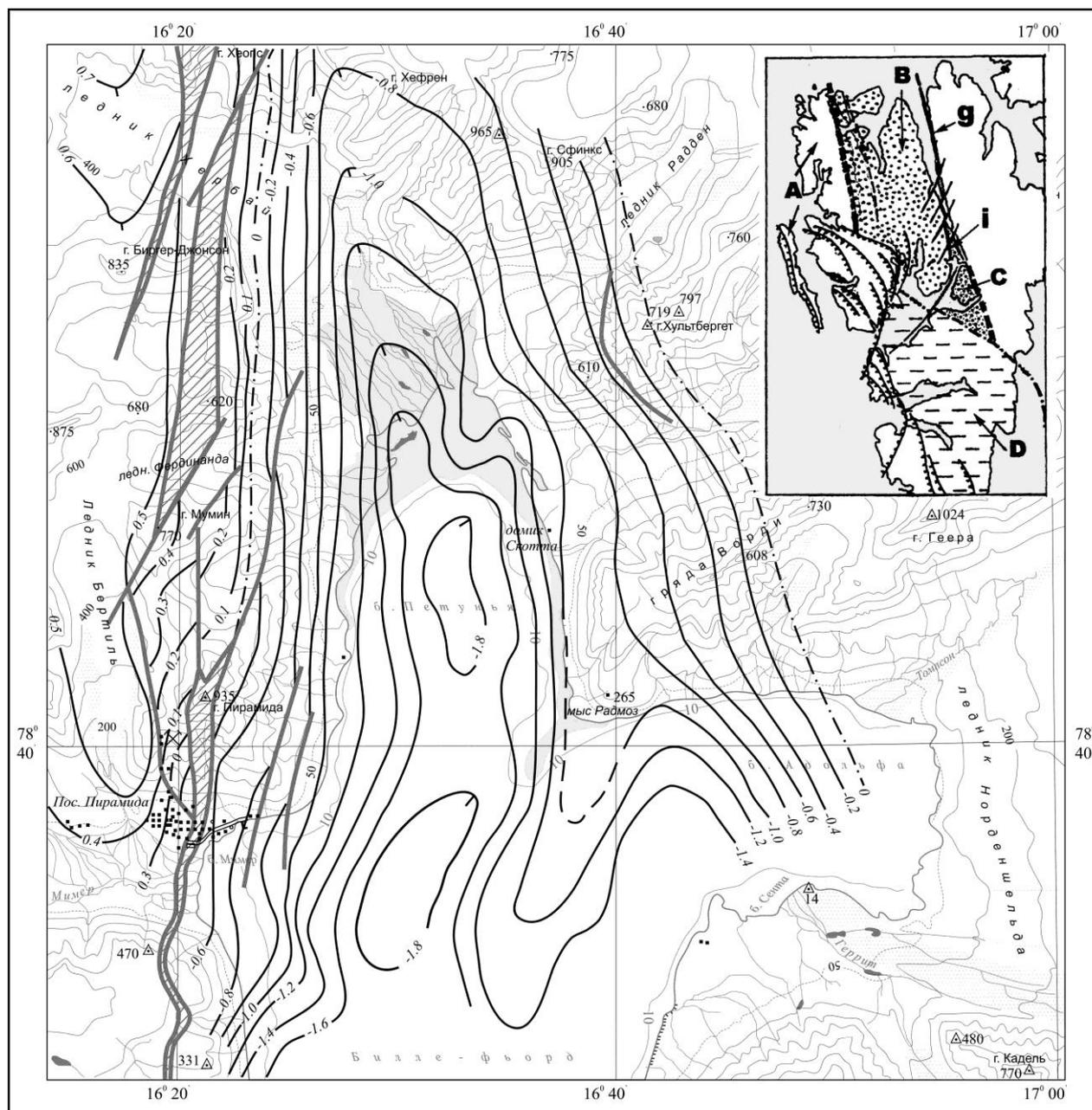
### **Западный блок Биллефьордского разлома**

В этой части рассматриваемой территории, расположенной к западу от Пирамиды, каменноугольные отложения залегают непосредственно на девонских и образуют с ними единую осадочную последовательность.

Таблица 1

## Стратиграфическое расчленение отложений девона и карбона в зоне Биллефьордского разлома

Возраст		Свита (толща)	Мощность
Касимовский и гжельский ярусы верхнего карбона (290–303 Ma)		<i>Cadiellfjellet</i> (верхи нижних «вордиекаменских» известняков)	200
		<i>Black crag</i> (средняя часть разреза нижних «вордиекаменских» известняков)	30
		<i>Minkinfjellet</i> (низы нижних «вордиекаменских» известняков и верхи гипсоносной толщи)	300-400
Московский ярус среднего карбона (303–311 Ma)		<i>Tricolorfjellet</i> и ее фациальный аналог <i>Odelfjellet</i> (гипсоносная толща)	400
Башкирский ярус среднего карбона (311–323 Ma)		<i>Ebbaelva</i> (пестроцветная толща и верхи надугольной)	200-350
Серпуховский ярус нижнего карбона (323–333 Ma)		<i>Hulteberget</i> (надугольная толща и верхи верхней угольной)	150
		<i>Sporehøgda</i> (междуугольная толща и низы верхней угольной)	до 80
Визейский ярус нижнего карбона (333–350 Ma)		<i>Høelbreen</i> (нижняя угольная толща)	90-170
Турнейский ярус нижнего карбона (350 – 355 Ma)		<i>Triungen</i> (подугольная толща)	до 100
Фаменский ярус верхнего девона и нижний отдел карбона (~355–367 Ma)	Серия <i>Мимердален</i> 600–850 м	<i>Плантаклѣфта</i>	100
Франский ярус верхнего девона (367–377 Ma)		<i>Плантарюгген</i>	100
Живетский и эйфельский ярусы среднего девона (377–386 Ma)		<i>Фискеклѣфта</i>	130
		<i>Эстериагаузен</i>	100
	Серия <i>Вейде-бей</i> , 600 м	<i>Таге-нильсон</i>	600
	Серия <i>Грей-хук</i> 1300-1400 м	<i>Форкаладен</i>	630
<i>Тавлефьеллет</i>		300	
<i>Скамдален</i>		150	
Эмский ярус нижнего девона (386–390 Ma)	Серия <i>Вуд-бей</i> 2600–2900 м	<i>Вердален</i>	100
Зигенский ярус нижнего девона (390–396 Ma)		<i>Стьердален</i>	400
		<i>Кальтифьеллет</i>	600–900
		<i>Кап-кьелдсен</i>	1500
Жединский ярус нижнего девона), пржидольский и предположительно лудловский ярусы верхнего силура (396–~412 Ma)	Серия <i>Ред-бей</i> 2400–2550 м	<i>Бен-невис</i>	900
		<i>Френкельриджсен</i>	600–750
		<i>Андребреен</i>	1400
		<i>Ривератоппен</i>	до 700
	Серия <i>Сиктафьеллет</i> , 750 м	<i>Альбертбреен</i>	до 3050
		<i>Лильеборгфьеллет</i>	до 140



**Рис. 1. Структурная карта северной части Биллефьордского трога по подошве каменноугольных отложений и принципиальная тектоническая схема о. Зап. Шпицберген (на врезке)**

*A – Западно-Шпицбергенская складчатая область; B - девонский грабен; C - Биллефьордский трог; D - Западно-Шпицбергенский прогиб; i – Биллефьордский разлом; g – продолжение Биллефьордского разлома по аэромагнитным данным. Зубчатые линии – надвиги. Тонкой косой штриховкой показаны участки Биллефьордского разлома, где каменноугольные отложения залегают на метаморфических породах (серия атомфелла).*

*Девонские отложения* на Земле Диксон слагают непрерывный разрез, в котором выделены все подразделения международной шкалы (см. табл. 1). Разрезу нижнего отдела присуще преобладание песчаных разностей, частое присутствие конгломератов, пестрая, преимущественная красно-бурая окраска и обилие косослоистых текстур и внутриформационных перерывов, указывающих на принадлежность к дельтовым формациям

[Геология осадочного чехла..., 1980]. Отложения нижнего отдела, на который приходится около 70% всего объёма девонских отложений, в рассматриваемом районе не вскрыты. Присутствие их на глубине сомнений не вызывает, но мощность, оцениваемая ориентировочно, по геофизическим данным составляет величину порядка 3 км.

Среднедевонские отложения представлены аргиллитами, алевролитами и мелкозернистыми песчаниками, содержащими тонкие прослои углистых пород, и редкими известняками. Несмотря на изменчивость вещественного состава по простиранию и выпадение из разреза отдельных пачек, признаков несогласного залегания в разрезе не отмечается. Им присуща грубая косая слоистость дельтового типа, благодаря которой наклон плоскостей напластования достигает 29-32°. Мощность, возможно, достигает 1,7...1,9 км.

Большая часть разреза верхнего отдела сложена переслаиванием песчаников, алевролитов и аргиллитов, вверху с прослоями гравелитов и конгломератов общей мощностью около 200 м.

Согласно построениям Ю.П. Булова и Д.В. Семейского [Геология Свальбарда, 1976; Krasil'shikov, 1996] формирование всего девонского разреза происходило в условиях мелководного опресненного бассейна, который по заключению Л.Г. Мурашова не ограничивался территорией современного развития девонских отложений, а охватывал весь Нью-Фрисланд. К похожим выводам независимо пришли М.Л. Верба [Верба, 1996] и А.Н. Евдокимов [Дараган-Суцов и др., 1998].

Общая мощность оценивается величиной порядка 8 км [Лившиц, 1973], но это по меньшей мере вдвое превышает истинную величину, поскольку не учитывает присущее девонской толще клиноформное строение.

Общей для всех девонских тонкозернистых пород чертой является низкая стадия дегидратации глинистых минералов и катагенетической зрелости органического вещества (ОВ), которая в верхнедевонских породах не превышает стадии МК<sub>2</sub> ( $R^{\circ}_{\max} = 0,73$ , скв. 68, глубина 701 м [Пчелина, 1994]) и только вблизи разлома Баллиолбреен заметно повышается, отражая термальное воздействие интрузии, приуроченной к этому разлому [Верба, 2005].

Эти данные важны в том отношении, что, во-первых, не допускают принадлежности девонской толще к комплексам фундамента, на чем настаивают геологи [Harland et al., 1974; Красильщиков, 1974; Hjelle; 1993; Ohta, 1992], а во-вторых, дают основание утверждать, что более высокие значения катагенеза ОВ, наблюдаемые на Пирамиде в вышележащих отложениях нижнего карбона, обусловлены не региональным фактором, а локальным.

**Каменноугольные** отложения без стратиграфического перерыва перекрывают верхнедевонскую свиту *плантаклѣфта*, а видимость несогласного залегания, местами хорошо заметного в естественных обнажениях, создает грубая косая слоистость дельтового

типа, присущая девонским образованиям. Ложное впечатление несогласия усугубляют мегалитические отторженцы крепких «*триунгенских*» конгломератов, сместившиеся вниз по мягким девонским аргиллитам, порождая картину каменного хаоса и побуждая геологов двукратно завысить мощность нижнекарбонных конгломератов [Harland et al., 1974]. Впрочем, А. Елли характеризует соотношение каменноугольных и девонских толщ на Земле Диксон как согласное [Hjelle; 1993]. Субгоризонтальное залегание карбона, показанное на структурной карте (рис. 1), хорошо коррелируется с этим выводом. Э. Юхансен и Р. Стил установили, что в региональном плане они, как и подстилающие, образуют систему клиноформ, погружающихся в южном и юго-восточном направлениях [Johannssen, Steel, 1992], и, таким образом, наследуют общую композицию девонской толщи. Сходные соображения приводили и другие геологи [Турченко, 1987; Дараган-Суцов и др., 1998]. Важно подчеркнуть, что «триунгенские» конгломераты, которые иногда рассматриваются как базальный комплекс осадочного чехла, имеют весьма локальное распространение и служат индикатором местных особенностей палеорельефа.

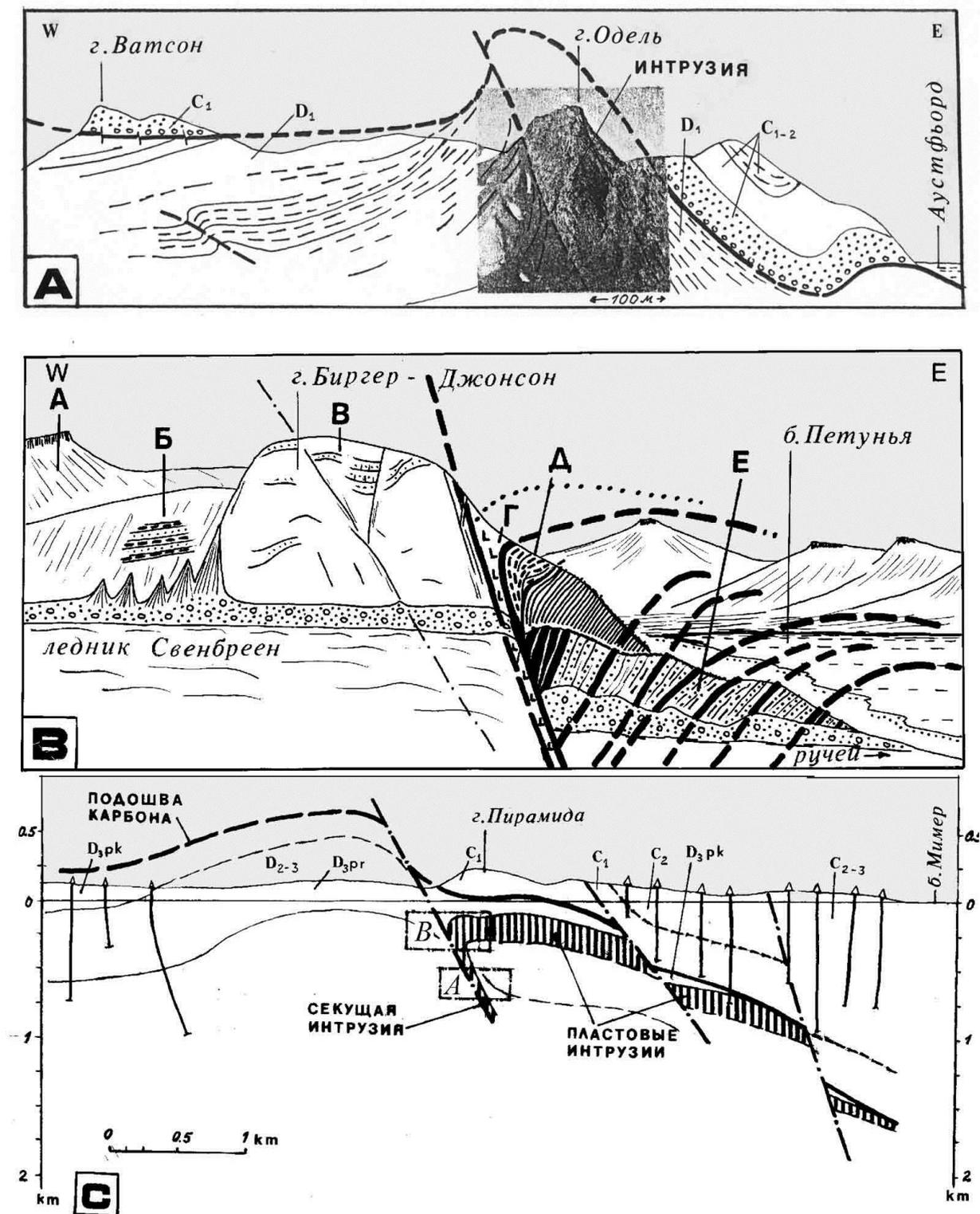
Уровень катагенетической зрелости ОВ в каменноугольных отложениях месторождения Пирамида, как правило, выше, чем в девонских отложениях, но редко выходит за пределы марки ГЖ ( $R^{\circ}_{\max} = 0,85 \dots 1,0$  [Геология осадочного чехла..., 1986]), и, как и в девонских породах, только в непосредственной близости от Биллефьордского разлома повышается до 1,2.

Приведенные данные показывают, что нет оснований противопоставлять эти толщи и относить одну из них к фундаменту, а другую – к осадочному чехлу. По всем признакам обе они относятся к недислоцированным образованиям, формируют единый седиментационный комплекс и разделяются слабо выраженным внутриформационным размывом.

Принципиально важно, что с приближением к зоне Биллефьордского разлома, который, как справедливо замечает и В. Харланд, является сложной и длительно развивавшейся регмагеной структурой, взаимоотношения рассмотренных выше толщ начинают усложняться. К этому можно прибавить, что зона этого разлома является неоднородной по простиранию и расчленяется на ряд кулисообразных отрезков, три из которых отражены на приведенной структурной карте (см. рис. 1, косая штриховка).

#### **Южный отрезок Биллефьордского разлома (рудник Пирамида)**

*Девонский* разрез, детально изученный Т.М. Пчелиной [Пчелина, 1986; 1994], по керну колонковых скважин, представлен отложениями верхнего и, частично, среднего отделов и сложен теми же терригенными формациями, что и к западу от рудника, но отличаются от него повышенным и неравномерным метаморфизмом (рис. 2, нижний разрез).



**Рис. 2. Разрезы через зону Биллефьордского разлома, инъецированного серией секущих и пластовых магматических тел**

*A* – разрез по южному склону горы Одель. В рис. вмонтировано фото В. Харланда [Harland, Cutbill, Friend et al., 1974]. *B* – натурная зарисовка северного борта долины ручья Биргер-Джонсон. *C* – разрез по нижнему течению р. Миммер. На этом разрезе выделены два участка (*A* и *B*), строение которых сопоставляется соответственно с вышележащими разрезами *A* и *B* (по [Верба, Верба, 2002]).

Большое количество разрывных нарушений сильно затрудняет их корреляцию даже в близрасположенных скважинах. Характерно, однако, что несмотря на признаки дислоцированности, преимущественно регмагенной, в кровле девонского разреза сохраняются все подразделения верхнего отдела, включая маломощную свиту *плантаклѣфта*, что указывает на отсутствие существенного перерыва в осадконакоплении на рубеже девона и карбона. Показательно, что отложения этой свиты вскрыты в скважинах непосредственно под каменноугольными отложениями не только к западу от главного разлома этой зоны, но и к востоку от него. Это служит веским аргументом в пользу того, что этот разлом в конце девона еще не проявлял своей активности. Вместе с тем, присутствие в составе грубообломочной фракции верхнедевонских отложений большого количества обломков вулканогенных пород свидетельствует об относительной близости этого участка девонского грабена к центрам вулканической деятельности.

**Каменноугольные** отложения представлены на руднике Пирамида всеми тремя отделами. Основание толщи сложено терригенными угленосными отложениями мощностью 250 м, среди которых преобладают грубозернистые песчаники, кварцевого состава. В толще содержатся мощные пачки алевролитов и аргиллитов, встречаются сравнительно маломощные прослои гравелитов и конгломератов. Для нижней части разреза характерны прослои углей, достигающие мощности 3 м. Стадия метаморфизма углей на месторождении Пирамида в большинстве случаев не выходит за пределы марки ГЖ ( $R^{\circ}_{\max} = 0,85...1,0$  [Евдокимова и др., 1986]).

Вышележащие отложения залегают на угленосной толще без видимого несогласия и отличаются резкой фациальной изменчивостью. В их разрезе преобладают песчано-глинистые образования, представленные песчаниками красного, вишневого, коричневого цветов и белыми песчаниками, среди которых присутствуют пачки алевролитов и аргиллитов, прослои конгломератов и редкие прослои гипса. Стратиграфическая последовательность состоит из повторяющихся не крупных (до 40 м по мощности) секвенций, прослеживаемых, несмотря на латеральную изменчивость, на значительном расстоянии и образующих закономерную систему клиноформ.

В разрезе различают отложения свиты *эббадален*, включающей пачки *хультбергет*, *эббаэльва*, *оделлфьеллет* и *триколорфьеллет*, и самостоятельной пачки *минкинфьеллет* (таблица). Две нижних представлены переслаиванием песчаников, алевролитов и глинистых сланцев, содержащим в верхней части прослои карбонатов и эвапоритов. Верхние свиты представлены гипсами и ангидритами, чередующимися с известняками, доломитами, реже, с песчаниками, аргиллитами и конгломератами. Венчают разрез карбонатных пород. Этот комплекс общей мощностью около 700 м является основным осадочным выполнением

Биллефьордского трога и хорошо изучен [Johannssen, Steel, 1992].

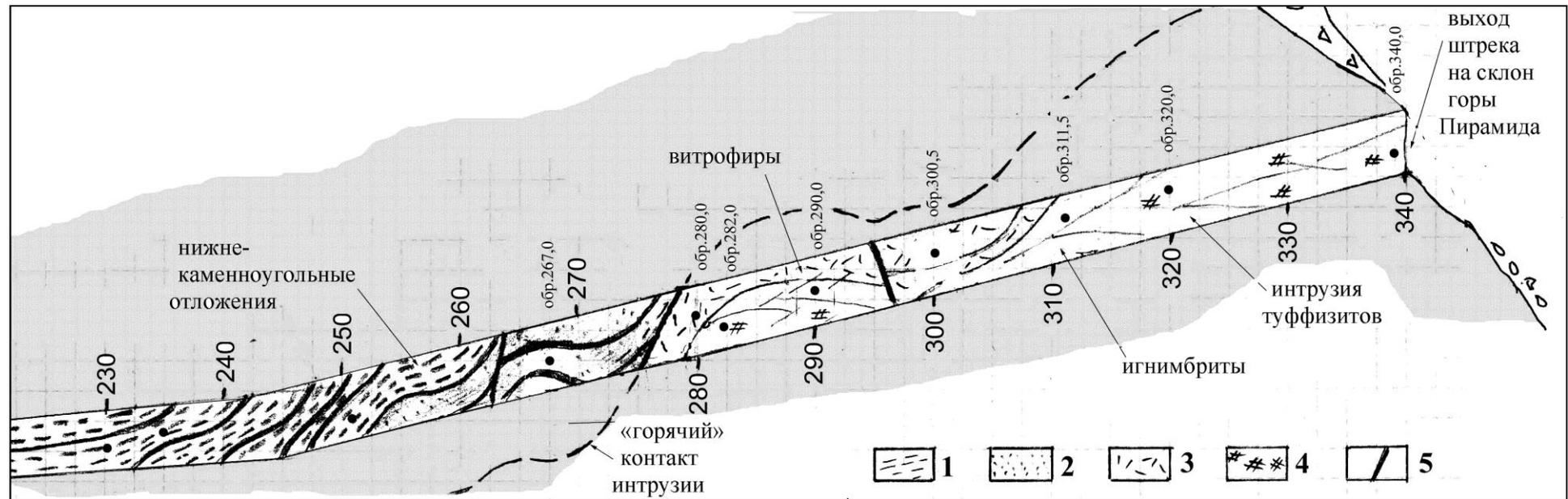
Характерной чертой строения рассматриваемого участка является присутствие магматических и метаморфических образований, приуроченных в большинстве к разрезу нижнего карбона. Наблюдения в выработках рудника показывают, что каменноугольные отложения контактируют с ними различными горизонтами, причем на контакте повсеместно отмечался переходный слой сильно измененных гибридных пород мощностью до 30...40 м. Постоянное присутствие этого слоя в основании карбона при его очевидном отличии от девонских формаций побудило первых геологов рудника условно датировать его силуром. Последующие исследователи отнесли его вместе с залегающими ниже магматическими породами к серии атомфьелла и датировали поздним археем – ранним протерозоем [Лившиц, 1966; Красильщиков, 1974; Ohta, 1992; Harland; 1997].

Эти образования, не представляющие интереса с позиций угленосности, бурением освещены слабо, но этот пробел восполняется наблюдениями в вентиляционном штреке 365 рудника [Верба, Верба, 1997] и довольно полным разрезом скв. 102 на ЮВ склоне горы Пирамида.

### **Вентиляционный штрек 365 рудника Пирамида**

Штрек 365 (рис. 3) находится в самой южной части рудника и выходит на поверхность на склоне горы, обращенном к поселку Пирамида. Он проходит до пикета 230 в спокойно воздымающихся породах нижней угленосной толщи (свита *хульбреен*), после чего можно заметить переход к сильно нарушенному залеганию с общим падением к северу.

На расстоянии 40 м по штреку углы наклона пород возрастают от 10-15° до 45-50°, залегание пород осложняется рядом складок с размахом крыльев в первые метры, одновременно растёт степень трещиноватости песчаников и наблюдается постепенный их переход в сливную, кварцитовидную породу. На пикете 278 в стенке штрека виден круто падающий под углом 65–70° в СЗ направлении контакт осадочных пород с магматическим телом, сложенным туффизитами. Непосредственно у контакта интрузивного тела залегают углистые хорошо сортированные алевролиты, практически нацело состоящие из кварцевых зерен. До 30-35% объема составляет черное углистое вещество, неравномерно распределенное по породе и содержащее множество мелких кристаллов пирита (до 5%). Порода содержит обломки кислых плагиоклазов (5...7%) кварцитовидных пород (5...7%) и мусковита (до 3%). Непосредственно на контакте магматическое тело сложено лавовой брекчией и брекчиевидными фельзитовой лавой с переходами в туфолавы игнимбритового типа. В стекле в виде кристаллокластической примеси (кварц и единичные зерна ортоклаза) и реже в виде обломков фельзитов присутствует туфовый материал, распределенный крайне неравномерно (10...25%).



**Рис. 3.** Контакт нижнекаменноугольных терригенных пород и интрузивных пирокластитов, вскрытый штореком 365 рудника Пирамида  
 1 – аргиллиты; 2 – алеволиты; 3 – витрофиры; 4 – игнимбриты; 5 – сбросы.

Стекло обнаруживает признаки флюидальной текстуры. По трещинам развивается новообразованный кальцит, который местами составляет до 5-10% объема породы, избирательно замещая туфовые обломки. Прослеживание этих пород по стенке штрека показало, что они слагают самую верхнюю часть интрузивного тела.

Ниже по разрезу количество туфового материала сокращается, и напротив возрастает степень кальцитизации, вместе с кальцитом появляются гидроокислы железа, обнаруживаются крупные пустые поры выщелачивания. Количество новообразованного кальцита в породе местами достигает 60...65%.

В 30 м от контакта на пк. 311,5 магматическое тело слагает типичный витрофир с характерной флюидальной текстурой и постоянной примесью туфового материала (до 20...25%), переходящего в игнимбрит. Для всех разновидностей пород характерна почти полная фельзитизация вулканического стекла. Количество новообразованного кальцита варьирует от 20% до 60%, нередко заметна структура «шахматной доски».

На выходе штрека на поверхность (пк. 340) в низу видимого разреза заметны полосы реликтового углистого вещества, появляются прослой осадочных пород и примесь равномерно распределенного алевритового материала, количество которого достигает 5...7%. Все эти признаки указывают на близость второго контакта с осадочной толщей, вмещающей это магматическое тело.

Таким образом, мощность вскрытого магматического тела можно оценить в 20–25 м. Условия его образования, учитывая специфический состав и, в частности, интенсивность гидротермальной переработки, сопоставляются с подземной эксплозией. Вопрос о наличии у этого интрузивного тела подводящего канала остается неясным, но отчасти его проясняют наблюдения на других отрезках Биллефьордского разлома (см. рис. 2). Можно допустить, в частности, что этот подводящий канал был вскрыт колонковой скважиной 102, пройденной на юго-восточном склоне горы Пирамида. Как и штрек 365, она располагается на линии простираения этого разлома, поэтому вскрытые ею на отметке -270 м полнокристаллические кайнотипные амфиболиты безусловно относятся к тому же магматическому комплексу, что и наблюдавшиеся в штреке. В пользу этого говорят магнитометрические данные, указывающие на наличие на этом участке крупной, изометричной в плане положительной аномалии интенсивностью более 200 нТл, которая к северу от горы Пирамида переходит в узкий линейный максимум, прослеживаемый вдоль разлома вплоть до северной оконечности Ауст-фьорда [Skilbrei, 1993]. Наличие этой аномалии свидетельствует о приуроченности к разлому магматических пород с высокой намагниченностью, а её форма может рассматриваться как признак эруптивного центра, с деятельностью которой связывается формирование всего магматического комплекса и появление игнимбритовой «палящей

тучи». Активность этого мощного вулканического аппарата, судя по появлению вулканогенного материала в осадках, началась со второй половины фаменского века (около 365 Ma), и продолжалась, судя по горячему контакту, наблюдавшемуся в штреке, весь турнейский век (350 Ma), длившись примерно 15...20 млн. лет.

### **Центральный отрезок Биллефьордского разлома (ручей Биргер-Джонсон)**

Разрез ручья Биргер-Джонсон характеризует следующую кулису Биллефьордской интрузии (см. рис. 1). Эрозионным срезом здесь вскрыты более глубокие горизонты, чем в рассмотренном выше случае (см. рис. 2, средний профиль [Верба, Верба, 2002]).

На расстоянии первые сотни метров от линии разлома (интервалы А и Б на рис. 2-В), разрез девонских и каменноугольных толщ представлен полого наклонными с падением к юго-востоку под углом  $5\div 8^\circ$ , слабо метаморфизованными песчано-глинистыми отложениями, разрез которых в целом аналогичен описанному выше и слагающему Землю Диксон (табл. 1). По мере приближения к разлому в узкой долине ручья условия залегания и вещественный состав этих отложений заметно изменяется. В полосе шириной около 100–150 м, прилегающей с запада к разлому, они резко деформированы, причем залегание их меняется довольно незакономерно (интервал В на рис. 3-В).

В 100 м к западу от разлома, угленосные песчаники нижнего карбона свиты *Sporehøgda*, которые слагают основание склона выше долинного ледника, приобретают наклон до  $30^\circ$  в западных румбах и охристую окраску, обязанную гидроокислам железа. На плоскостях напластования появляются чешуйки мусковита (до 10...15%), реже биотита и хлорита, кристаллы пирита, зерна пиритизированного магнетита, нацело сосюритизированного плагиоклаза, циркона, турмалина. Структура песчаников переходит в мозаичную с микрозернистыми агрегатами новообразованного кварца вместо цемента, и только в прослоях с большим содержанием углистого материала (до 10...15%) сохраняются участки с пленочным цементом. Видно, что в процессе метаморфизма в углистых песчаниках сохранялась структура, характерная для песчаников, а в безугольных разностях порода приобретала облик типичных кварцитов. Содержащиеся в песчаниках маломощные пропластки угля обнаруживают видимые следы неоднородного термального воздействия.

Отражательная способность витринита  $R_o$  в одном из них по определению Н.К. Евдокимовой колеблется от 0,75 до 1,10, достигая в единичных замерах стадии Ж ( $R_{\max}^o = 1,2$ ), что свойственно углям с термальным типом метаморфизма. Всего было выполнено 104 определения, из которых одна треть пришлась на интервал 0,75-0,82, а половина - на интервал 0,90...0,98. В непосредственной близости от этого места, в угленосной толще горы Красной, Б.Н.Климовым отмечались «горелики», которые служат признаком обжига толщи, вмещавшей прослой угля.

Ближе к интрузии, в 60 м от неё, песчаники сохраняют лишь слабо выраженную слоистость и приобретают огнейсованный, кварцитовидный облик. Залегание становится запрокинутым, с падением на восток под углом  $75^{\circ}\dots 80^{\circ}$ . В стенке обнажения видны реликты осадочной макротекстуры в виде пластично изогнутых слоев, а вблизи контакта порода совсем утрачивает ориентированные седиментогенные текстуры и превращается в массивный роговик грязно-красного цвета с ровным раковистым изломом. Под микроскопом эта порода определена как катаклазированный лейкократовый гнейс.

Еще ближе к интрузии на подошве песчаниковой пачки заметен толстый налет темно-бурого цвета, характерный для зон закалки. Обильную осыпь дает рыхлый, осветленный, почти белый, «обожженный» песчаник, цемент которого почти отсутствует. Под микроскопом эти песчаники выглядят как плохо сортированная, средне-крупнозернистая порода, около 40% которой составляют обломки микрокварцитов и кварцитов. Структура породы бесцементная, типа мозаичной, зубчатые сочленения зерен не наблюдаются, порода непрочная, несцементированная, обломки часто отделены друг от друга зияющими трещинами.

На расстоянии первого десятка метров от контакта с дайкой, в зоне ее лежачего экзаконтакта преобладает однородная, сильно перемятая, кливажированная мелкозернистая гибридная порода типа серого роговика, почти не имеющая, кроме реликтов слоистости, макроскопических признаков осадочного происхождения. Она на 60% состоит из серицит-хлоритовой массы, развившейся по роговой обманке и биотиту. Порода содержит сфен и апатит - каждого по 3...5%, рудного до 10%.

Секущая дайка (интервал Г на рис. 2-В) сложена массивным зеленовато-черным огнейсованным крупнозернистым амфиболитом, состоящим в основном из роговой обманки, нередко замещенной биотитом, андезина (до 10%), мелкокристаллического ксеноморфного кварца (до 5%) и примеси апатита и магнетита. Структура габбровая и гипидиоморфно-зернистая. Первоначально интрузивная порода представляла собой кварцевое габбро. В стенке обнажения, размытой по плоскостям гнейсоватости, видны следы пластического течения материала в горизонтальном направлении. В этом же направлении ориентированы зеркала скольжения, заметные на плоскостях отдельности. Мощность интрузивного тела не превышает 10...15 м. Общий наклон пород характеризуется западными румбами, однако углы наклона меняются на небольших расстояниях (первых метрах) от  $45^{\circ}$  до вертикального, а простирание колеблется от меридионального до ССВ  $25^{\circ}$ .

К восточному, висячему зальбанду интрузии прилегает вертикально залегающее линзообразное тело невыдержанной мощности (от 10 до 20 м), сложенное бронзит- и серицит-кварцитовыми сланцами с тонкоплитчатой, почти чешуйчатой отдельностью

(интервал Д на рис. 2-В). Порода имеет отчетливое слоистое строение и представляет собой чередование преобладающих по мощности и частоте встречаемости прослоев метаосадочных пород различного состава (в большинстве своем это алевролиты и аргиллиты), среди которых различаются тонкие и тончайшие волосовидные пластовые интрузии. Мощности отдельных слоев метаосадочных пород в среднем составляют 0,6...4,0 м, а интрузивных прожилков - от первых миллиметров до 25 см. Иногда в строении прослоев метаосадочных пород можно различить реликты первичных седиментогенных текстур в виде тонкой горизонтальной и волнистой слоистости, а прожилки микроинтрузий местами образуют линзовидные раздувы и расширения, иногда сложенные почти чистым кварцевым материалом, но чаще состоящие из сростков кварца со светлой слюдой, пиритом, единичными кристаллами галенита и молибденита. Кварцитовидные песчаники содержат частые красные пегматоидные прожилки.

Далее к востоку дно долины слагает слоистая толща, которая состоит довольно мощных (3...10 м) пачек различных метаосадочных образований пронизанных многочисленными относительно тонкими (1...1,5 м) пластовыми телами метаморфизованных интрузивных пород (интервал Е на рис. 2-В). Самая мощная из таких пластовых интрузий сложена гранитизированным среднезернистым амфиболитом, первоначальный состав которого близок к типовому: 65% роговой обманки, в небольшой степени хлоритизированной и образовавшейся, скорей всего, по пироксену, до 10% кварца, 20% андезина, в основном, превращенного впоследствии в олигоклаз, и 5% магнетита. Кроме того, порода содержит мелкие кристаллы апатита (в количестве, менее 1%) а также единичные зерна эпидота и крупные кристаллы граната. Порода рассечена тонкими послойными инъекциями выплавленного кварц-полевошпатового материала.

В отличие от них тонкие пластовые тела, мощностью до 20 см, представлены породами более сложного состава, в которых первичный магматический материал распознается с трудом. Под микроскопом эти гибридные породы выглядят как двуслюдяные плагиогнейсы или огнейсованные плагиограниты, содержащие около 20% олигоклаза, приблизительно 25% слюды (мусковита и, реже, биотита), 5% ортоклаза в виде довольно редких, но более крупных зерен, 7...8% магнетита часто в сростках со слюдой, и редкие зерна апатита. Характерно присутствие крупных, прекрасно ограненных кристаллов турмалина (до 2%). Состав совсем тонких пластовых и линзовидных микроинтрузий мощностью 2-4 см отличает вторичная карбонатизация. В структуре пластовых интрузий различаются текстурные неоднородности, имеющие вид округлых, похожих на хлебные караваи, ксенолитов, сложенных метаосадочными породами. В некоторых из них встречен сидерит с удельным весом 3,44 г/см<sup>3</sup>.

Вмещающие породы представлены различно окрашенными филлитами, среди которых можно различить метаморфизованные пестроцветные аргиллиты, свойственные разрезу свит *ebbaelva* и *tricolorfjellet* среднего карбона. Углы их наклона меняются закономерно - вблизи разлома породы залегают вертикально, на удалении первых десятком метров от контакта наклон не превышает 30...40°, а с приближением к берегу фьорда падение постепенно уменьшается до субгоризонтального залегания. Одновременно наблюдается снижение степени метаморфизма осадочных пород.

Таким образом, рассмотренный разрез дает основание утверждать, что контакт осадочных пород с секущим магматическим телом являет собой пример ясно выраженного градационного нарастания метаморфизма, обнаруживает многочисленные следы интенсивного термального воздействия и, что наиболее существенно - показывает отчетливые свидетельства послонного проникновения горячего магматического материала непосредственно в толщу вмещающих пород как в лежащем, так и в висячем блоках.

Аналогичный характер взаимоотношения интрузивных тел с вмещающими породами имеет место на ручье Фердинанд. Радиологический возраст кайнотипного амфиболита, отобранного на одном из этих обнажений, составил по биотиту  $372 \pm 18$  млн. лет, а по микроклину –  $390 \pm 10$  млн. лет. Эти данные при всей их неточности не противоречат наблюдаемым соотношениям магматических и осадочных пород и позволяют, ориентируясь на минимально возможное значение возраста - около 350 млн. лет, ограничить интервал времени, когда эти породы пришли в соприкосновение, серединой, или даже концом турнейского века.

Итак, возможность применения к наблюдаемым разрезам модели холодного тектонического контакта докембрийских пород с каменноугольными с последующим воздействием на те и другие палеозойских гидротермальных процессов, [Harland et al., 1974] не нашла подтверждения наблюдаемыми фактами. М.Г. Равич также поставил под сомнение проявление наложенного метаморфизма на порода серии *гекла-хук* на северо-западе Шпицбергена [Равич, 1976].

Далее к северу исследуемая интрузия наиболее полно обнажена на восточном склоне горы Сентинелл [Harland et al., 1974]. В верхний профиль на рис. 2 вмонтирован его фотоснимок этого автора, который по его мысли должен был иллюстрировать наличие здесь горста докембрийских пород.

### **Северный отрезок Биллефьордского разлома (горы Одель и Сентинел)**

На склонах гор Одель и Сентинел интрузия представлена относительно простым секущим телом, падающим на восток под углом 65°. С западным, лежащим зальбандом интрузии контактирует девонская песчано-глинистая толща, условно отнесенная к свите

*кальцифьеллет*, а с восточным, висячим - пестрая по составу ниже – среднекаменноугольная. Обе толщи вблизи контактов сильно метаморфизованы, кремнены и местами превращены в монолитный роговик. Часто можно видеть следы послойного внедрения, придающие слоистой метаосадочной породе облик рассланцованного, гнейсовидного гранитоида. Наблюдения за условиями залегания девонских пород на южном склоне горы Ватсон, т. е. на значительном удалении от дайки (до 500 м, см. рис. 3-А), показывают, что её внедрение вызвало во вмещающих породах тангенциальные напряжения надвигового типа.

Дайка сложена черными кайнотипными амфиболитами, по составу аналогичными вскрытым скв. 102 на руднике Пирамида. Мощность дайки вместе с экзаконтактами здесь не превышает 70 м, а к северу от г. Одель она еще более сокращается. Эрозионный срез оставил здесь на дневной поверхности лишь «корни» подводящего канала, а весь веер пластовых тел и сопутствующих приконтактных пород гибридного состава, который был доступен для наблюдения в ручье Биргер-Джонсон, здесь либо не формировался, либо – что более вероятно - полностью размыт, послужив источником кварца для триунгенских конгломератов.

Кроме того, при таком предположении трактовка зоны разлома как подводящего канала приобретает системную завершенность: на юге наблюдались самые верхние зоны интрузивного комплекса, в средней части было видно, как секущее тело сочленяется с серией пластовых, а на севере доступен для изучения подводящий канал интрузивного механизма. Впрочем, наряду с вертикальной зональностью последнего, в распределении наблюдаемых фрагментов магматического комплекса определенную роль могла играть и его латеральная неоднородность. К этому косвенно приводят наблюдения за другой полосой интрузивных тел, которая прослеживается почти параллельно первой к востоку от неё на расстоянии десятка километров (см. рис. 1).

### **Восточный борт Биллефьордского прогиба**

На восточном блоке Биллефьордского разлома соотношение интрузивных пород и толщи каменноугольных осадочных отложений может быть исследовано в полосе, прослеживаемой от верховьев долины Рогнар в ЮЮВ направлении до берегов бухты Адольфа (см. рис. 1).

Стратиграфическая последовательность в разрезе карбона по данным исследователей [Лившиц, 1973; Геология Шпицбергена, 1983; Пчелина, 1994] состоит в этом районе из стратотипических свит *хульбреген* и *эббадален* и пачки *минкинфьеллет* (см. табл. 1). Отличие этих разрезов ранне- и среднекаменноугольных отложений, вскрытых скважинами на восточном берегу бухты Петунья, от рассмотренных выше заключается, главным образом, в

наличии обильной примеси вулканогенного материала. Количество обломков раскристаллизованного кислого вулканического стекла в песчаниках и глинистых алевролитах красноцветной пачки *хультбергет*, вскрытых скважинами, достигает 35% всего объема обломочного материала. Неокатанная остроугольная форма обломков и отсутствие их сортировки указывает на наличие активных вулканов в непосредственной близости от места захоронения обломков. В поле развития эббадаленских отложений у мыса Радмоз Б.Н. Климов обнаружил нептунические дайки мощностью до 0,5 м, указывающие на сейсмическую активность этого участка.

Вниз по разрезу скважин наблюдается интенсивное окремнение, а в некоторых из них вскрыты и сами интрузивные тела (в скв. 118 на берегу б. Петунья и в скв. 124 на ручье Рогнар). В естественных обнажениях интрузивные породы наиболее доступны для наблюдений на южном и северном склонах гор Вордиекаммен, на северном и южном бортах долины Эбба и в долине ручья Рогнар. Опорным разрезом можно считать второй из них, западный конец которого замыкается на скв. 118 (см. рис. 1).

Прослеживая в этом разрезе по простирацию отложения нижнего–среднего карбона (рис. 4, нижний профиль), можно заметить, что первые признаки приконтактовых изменений становятся заметны на расстоянии 1 км по горизонтали от контакта с магматическими породами (пк. 171 на рис. 4). При наклоне пород на ЮЗ  $220^{\circ} \perp 15^{\circ}$  это соответствует мощности примерно 250 м. Обнажающиеся около старой шведской штольни (пк. 181) песчаники нижнего карбона (свиты *høelbreen*, см. табл.) сильно окремнены и имеют кварцитовидный облик, а под микроскопом обнаруживают полное отсутствие цемента. Характерны минеральные новообразования в виде цеолита, а также появление зерен сфена, турмалина и циркона.

Далее к востоку породы еще более уплотняются и на расстоянии 150 м от интрузии (40 м по мощности) песчаники превращаются в сливные сахаровидные кварциты (пк. 190 на рис. 4).

Сочленение зерен мозаичное за счет нарастания новообразованного кварца в виде регенерационных каемок. Зерна кварца слабо деформированы. вследствие чего заметно волнистое погасание, и сильно пелитизированы (заметны твердые и газожидкостные включения). С приближением к интрузии на расстояние 10...15 м в породе появляются структуры послойного внедрения магматического материала, сначала тонкие до волосовидных, а с приближением к основному подводющему магматическому каналу утолщающиеся. Наличие этих микроинтрузий в осадочных отложениях у западного зальбанда дайки, притом в обнажениях по обе стороны долины р. Эбба, нацело исключают версию «холодного» тектонического контакта этих пород.

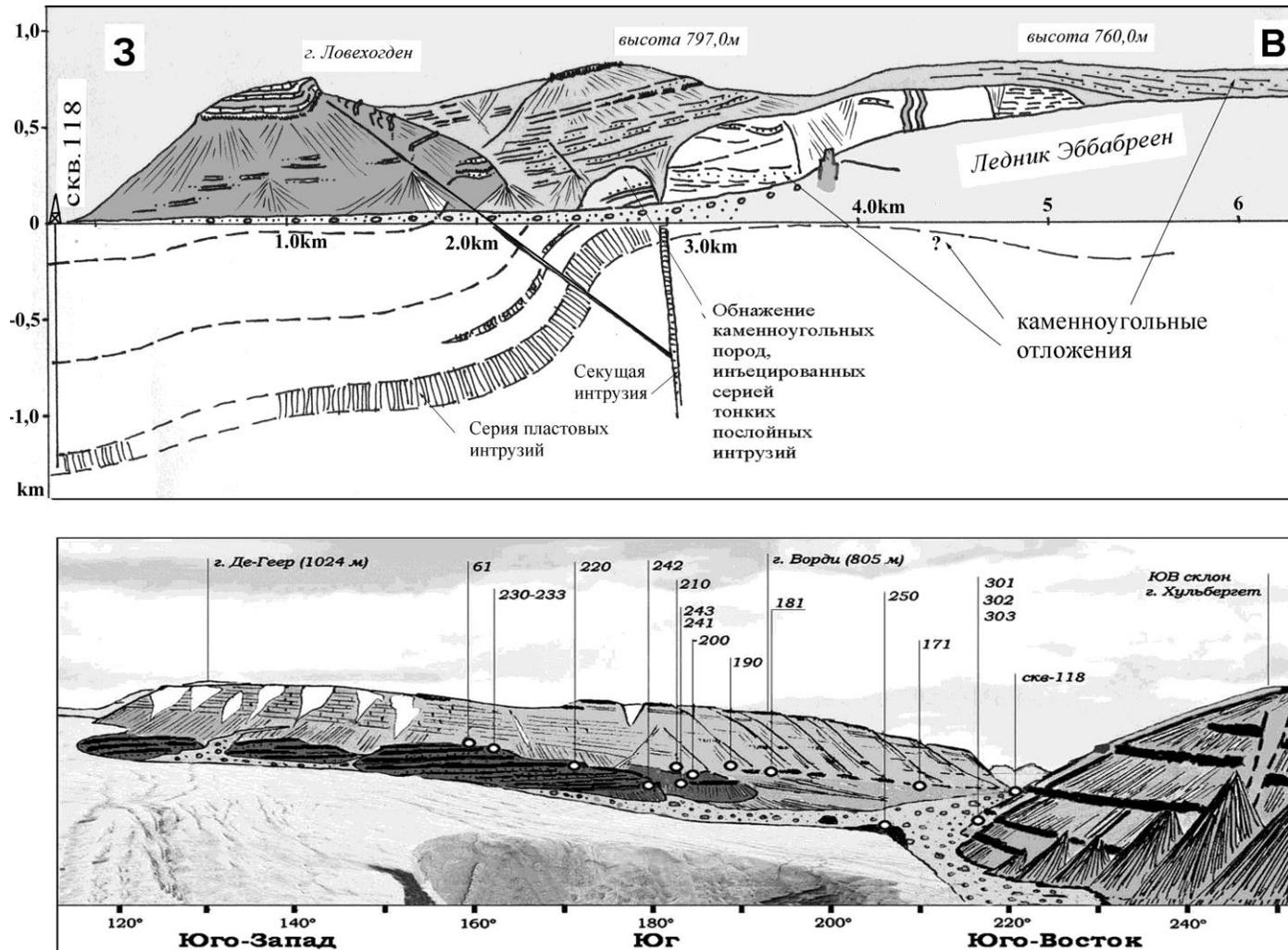


Рис. 4. Схематические разрезы через Рогнарскую интрузию амфиболитизированного габбро в долине р. Эбба  
Наверху- вид северного склона долины, внизу – южного.

В шлифах эти микроинтрузии представлены сильно измененным мелкокристаллическим амфиболитом с гранолепидобластовой структурой, состоящим из неизмененного, местами слабо хлоритизированного биотита (50%), эпидота (30%), кварца (10...15%), полностью сосюритизированного плагиоклаза (5...10%), рудных и апатита, и рассланцованным до эпидот-биотитового сланца. Вмещающие их кварцито-песчаники тоже сильно изменены и рассланцованы (до гнейса с лепидогранобластовой структурой).

Состав: кварц – 60%; сосюритизированный плагиоклаз (олигоклаз) - 20%; вторичные биотит, иногда хлоритизированный - 10% и эпидот (до 5%), в примесях – апатит, циркон, цоизит, магнетит. Заметны реликты метаморфизованной органики.

Аналогичный комплекс метаморфических пород присутствует также в долине р. Рогнар. Кровля одного из пластовых тел, внедрившихся в пачку угленосных песчаников нижнего карбона, была вскрыта на глубине 338 м в колонковой скв. 124. Отобранный в 21 м выше по стволу этой скважины образец угля был исследован Н.К. Евдокимовой, установившей в нем отчетливые следы контактового метаморфизма. Уголь по ее определению состоит из *витринита* (55%), *лейптинита* (29%) и *инертинита* (*фюзинит* +  $\frac{2}{3}$  *семифюзенита* - 16%), переслаивание которых создает полосчатую структуру, и относится к липоидо- фюзинито-гелититовому типу. Отражательная способность витринита  $R^{\circ}$  колеблется от 0,7 до 1,0 и при массовых замерах (64 определения) образует два максимума. Первый из них, на который пришлась половина замеров, наблюдается в узком интервале 0,75-0,8 ( $R^{\circ}_{cp} = 0,77$ ) и отражает региональный уровень катагенеза под воздействием низкоградиентного теплового поля. Второй максимум - размытый с большей дисперсией между 0,83 и 1,0 ( $R^{\circ}_{cp} = 0,92$ ) - вызван высокоградиентным тепловым полем, созданным местным источником тепла. Этот пример убедительно показывает, что тепловое влияние интрузии охватывает всю её экзаконтактовую зону, вызывая в неё не только ускоренное созревание ОВ, но и усиленную генерацию УВ. Результатом этой генерации выступают описанные ранее залежи легкой нефти, вскрытые бурением на берегах бухты Петунья [Верба, 2007; 2011].

На другой стороне гряды Вордиекаммен, обращенной к бухте Адольфа, наблюдается сходная картина. На расстоянии 200–300 м от контакта с интрузией породы останвятся похожи на слюдисто-кварцевые сланцы из-за обилия вторичного мусковита, образующего полосовидные скопления, в которых его количество доходит до 15%. Стадия метаморфизма соответствует низкотемпературной амфиболитовой. В 20–25 м от интрузии кварцитовидные песчаники приобретают плитчатую отдельность и пологую гофрировку, а в шлифах становится заметна гнейсовидная полосчатость и крустификационные прорастания зерен. Местами кварциты переходят в тонкокристаллические роговики. Порода в таких местах

сильно трещиновата с густотой трещин до 50 на 1 м и рассечена многочисленными прожилками, которые заполнены тонким кварц-полевошпатовым агрегатом.

Интрузивные образования, как и на ручье Биргер-Джонсон слагают тела двух морфологических типов – секущие субвертикальные дайки и полого-наклонные пластовые интрузии. Толщина первых обычно не превышает 10...15 м, а мощность вторых остается неизвестной, поскольку на поверхность выходят лишь фрагменты их верхних экзаконтактов. Самая крупная дайка, являющаяся, по всей видимости, главным подводящим каналом большинства силлов, имеет вертикальное падение и простирание СЗ 310°. Она прослеживается по склону на высоту 120...140 м, а выше этого уровня каменноугольные породы залегают почти ненарушенно. На этой высоте напор поднимающейся по разлому магмы видимо сравнялся с геостатическим давлением и её подъём сменился движением в горизонтальном направлении, обеспечив формирование пластовых тел.

На всем протяжении от долины Рогнар до ледника Норденшельдбреен дайку слагают слабо измененные биотитовые амфиболиты кайнотипного облика, состоящие на  $\frac{2}{3}$  из роговой обманки и на  $\frac{1}{3}$  из кварца и плагиоклаза (олигоклаз – андезин -20%). Присутствует биотит (5%) и эпидот (3–5%). Амфибол и биотит иногда довольно сильно хлоритизированы, а плагиоклаз частично сосюритизирован. Встречаются зерна эпидота, развивающегося по амфиболу, а также магнетит, апатит, сфен, цоизит. Структура средне- и крупнокристаллическая, гипидиоморфная, близкая к габбровой, со слабой полосчатостью, выраженной неравномерным распределением биотита. Местами порода рассланцована, рассечена жилками, выполненными кварцем и хлоритом, по которым развивается кальцит. Порода несет следы контактового метаморфизма (диафтореза или регрессивного метаморфизма). В породе заметны флюидалные текстуры, ориентированные как и на ручье Биргер-Джонсон в горизонтальной плоскости параллельно простиранию интрузивного тела.

В скальных обрывах по правому борту долины восточнее дайки встречен еще ряд пластично изогнутых субвертикальных даек, сложенных гибридными породами, среди которых выделяются гранат-биотитовые ортогнейсы (рис. 4, верхний профиль, интервал 4 – 5 км). Их вмещают белые неравномерно-зернистые мрамора, развившиеся по среднекаменноугольным сильно известковистым разностям песчаников. Под микроскопом видно, что терригенную часть мраморов помимо кварца составляют обломки слабо раскристаллизованного вулканического стекла, весьма характерного для низов свиты *эббаэльва* среднего карбона. Вторичные минералы представлены турмалином, сфеном, рудными, мусковитом, более редкими пластинками коричневого титанистого биотита и мелкими чешуйками слюды типа флогопита. Также эпигенетичными представляются таблички плагиоклаза, частью сосюритизированного, частью пелитизированного. В

мраморах хорошо видна первичная слоистость, показывающая пологое падение плоскостей напластования на восток  $85^{\circ} \pm 15^{\circ}$ . Далее к востоку степень метаморфических преобразований заметно снижается, и в каменноугольных породах, обнажающихся на выходе к ледниковому щиту и залегающих почти ненарушенно, становится отчетливо видна первичная субгоризонтальная слоистость (рис. 4, верхний профиль, интервал 5-6 км).

Аналогичные амфиболсодержащие гнейсы, чередующиеся с биотитовыми плагиогнейсами и кварцитами и содержащие линзы мраморов, описаны в 35 км к северу от разреза Эббадален и выделены в свиты *эскоабреен* и *смутсбреен*, отнесенные к нижней части серии *атомфьелла*, датированной археем [Сироткин, Евдокимов, 2011]. Наличие очевидного сходства вещественного состава и условий залегания этих образований с описанными выше у ледников Эббабреен и Рогнарбреен, возраст которых однозначно датируется карбоном, заставляет пересмотреть обоснованность докембрийского возраста серии *атомфьелла*.

### Разрез бухты Петунья

В сейсмических материалах, полученных по профилю, пересекающему акваторию Билле-фьорда в широтном направлении от устья р. Мимер на западе до северо-восточного кута бухты Адольфа (рис. 5) видно, что мощное пластовое интрузивное тело, выходящее на дневную поверхность у северо-западного края ледника Норденшельдбреен, полого погружается в западном направлении и на траверзе мыса Радмоз залегает на глубине около 800 м, после чего, утоняясь и погружаясь до глубин 1,2–1,4 км, прослеживается почти до западного берега б. Петунья. Максимальная мощность этого силла может быть оценена по сейсмическим данным в 400 м, но сюда, видимо, входят и экзаконтактовые зоны, которые в акустическом отношении неотличимы от собственно интрузии.

По данным магнитометрического профилирования глубины залегания магнитоактивных пород в разрезе под дном бухты составляют 1,2–1,5 км, что с учетом ошибок измерения можно считать близким к приведенному значению.

Ключевым моментом приведенных сейсмических данных выступает тот факт, что ниже интрузии до глубины 4–5 км в волновой картине ясно видны многочисленные оси синфазности, которые с достаточной долей уверенности можно сопоставлять с геологическими границами. Имеющиеся сведения о разрезе пород, развитых в районе Пирамиды, позволяет с уверенностью их датировать девоном. Аналогичный вывод вытекает из сейсмических материалов Дж. Скилбрея, на которых также видна пластовая интрузия вблизи границы девон – карбон, ниже которой установлено присутствие мощной, видимо, терригенной толщи [Skilbrei, 1992].

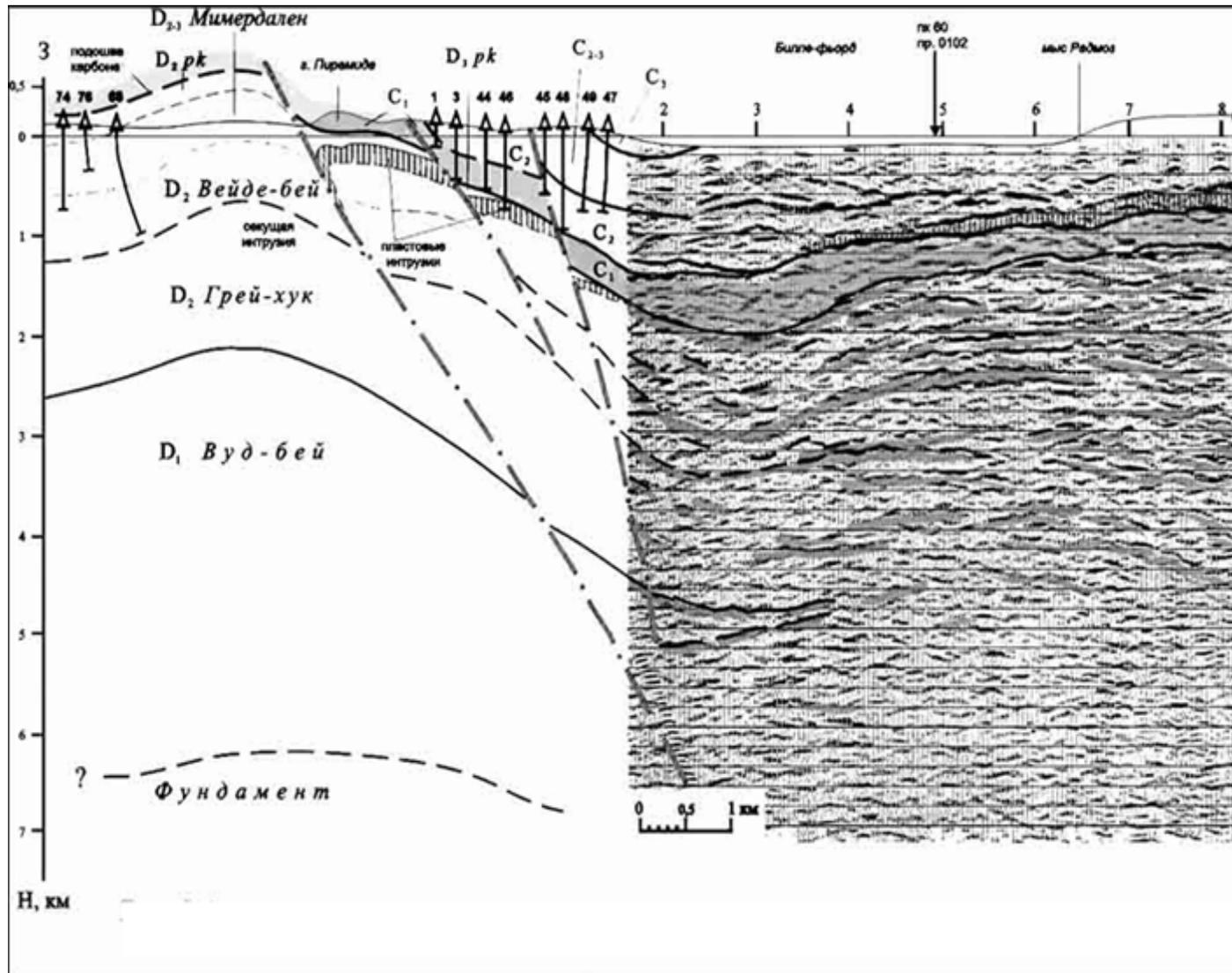


Рис. 5. Сейсмогеологический разрез Биллефьордского прогиба от устья р. Мимер до ледника Норденшельда, составленный по данным колонкового бурения и сейсморазведки МОВ (профиль 0101, обработанный ГНПП Севморгео в 2001 г.) (по Сакулиной и др., 2002 с уточнениями)

Важно подчеркнуть, что это профиль располагается к востоку от Биллефьордского разлома, который, как считается, служит восточным ограничением Девонского прогиба (Андре-Диксонского авлакогена).

Присутствие на глубине более 2...2,5 км осадочной толщи можно видеть и на коротких профилях МОВ, отработанных здесь в опытным порядке сотрудниками ВНИИГеофизика на восточном берегу бухты Петунья (устное сообщение Б.Н. Климова). Таким образом, как отечественные, так и норвежские геофизики зафиксировали к востоку от Билле-фьорда мощную осадочную толщу. Толща датируется девонским – каменноугольным возрастом и рассматривается как естественное продолжение разреза Девонского прогиба, не осложненное грабеном, предполагавшимся В. Харландом.

### Заключение

Приведенные результаты исследований позволяют сделать определенные выводы о причинах повышенной битуминозности верхнедевонских отложений, наличии в них множества газопроявлений и обнаружения в каменноугольных отложениях ряда залежей легкой нефти. Внедрение в этот комплекс терригенных пород, обогащенных органическим веществом, двух мощных интрузий габбро, давших начало серии пластовых интрузий вызвало интенсивный прогрев осадочных толщ и катализирование в ней процессов нефтидогенеза. На всех изученных участках Биллефьордского и Ронгарского разломов были исследованы магматические и метаморфические породы, выделявшиеся ранее в докембрийскую серию *атомфьелла*, и показано, что они находятся в горячем контакте с вмещающими породами каменноугольного и девонского возраста. Масштабы термального воздействия двух субпараллельных систем кулисообразных интрузивных тел оказываются достаточными для того, чтобы его признаки распространились на все восточную периферию Андре-Диксонского авлакогена. В пределах обеих полос интрузий визуально наблюдалось сочленение субвертикальных подводящих каналов со слабо наклонными пластовыми телами, которые с удалением от подводящего канала рассеиваются в слоистом разрезе вмещающих пород по схеме «конского хвоста» и повсеместно сопровождаются следами послонной инъекции и продуктами приконаткового метаморфизма, которые иллюстрируют механизм теплового и химического воздействия на осадочную породу и содержащееся в ней ОВ. Одновременно эти интрузии габбро, внедряясь в кварцевые песчаники, генерируют на контактах с ними массу гибридных пород сложного состава, вплоть до гранитоидов, предоставляя возможность с хрестоматийной отчетливостью проследить все стадии контактовых изменений. Выявление специфической вулканоплутонической (игнимбритовой) фации позволяет пересмотреть отрицательные прогнозы обнаружения в данном районе алмазов в коренном залегании, а присутствие девонских пород к востоку от

Биллефьордского разлома позволяет прогнозировать их в погребенном виде к востоку от Земли Бюнсва и допустить, что метаморфические толщи Нью-Фрисланда, как и Биллефьордской полосы интрузий, являются не протерозойскими, а палеозойскими образованиями. Сходство проявлений основного магматизма в Биллефьордском трого Шпицбергена с синхронными интрузиями основного состава, известными на Новой Земле и в Тимано-Печорской провинции позволяет предполагать наличие генетической связи между ними и отнести к единому магматическому циклу.

Главное практическое следствие заключается в том, что девонские и каменноугольные отложения, составляющие значительную часть осадочного чехла к востоку от Биллефьордского разлома, рассматриваются как потенциальные источники миграционно-способных УВ. Тепловое воздействие интрузий на ОВ, насыщающее эти отложения, согласно представлением Н.Б. Вассоевича должно катализировать процессы нефтидогенеза. В качестве результатов этих процессов рассматриваются залежи лёгкой нефти, обнаруженные бурением в каменноугольных отложениях по берегам бухты Петунья. Повышенная битуминозность верхнедевонских отложений, отмеченная в долине Мимер, выступает другим наглядным свидетельством усиленной генерации УВ в породах, вмещающих Биллефьордскую интрузию.

Другой практический вывод касается возможности встретить под пластовыми интрузиями продолжение угленосного разреза нижнего карбона, причем с углями более высоких марок, чем вдали от интрузии.

*Автор благодарен В.Д. Трифоненкову, А.Э. Вертелю и Б.Н. Климову за содействие при проведении полевых работ, И. Ута (Y. Ohta) за критические замечания, И.А. Андреевой, Ю.Л. Вербе, Л.А. Гаскельберг, Н.К. Евдокимовой, Н.А. Сироткину и Н.В. Устинову за советы и помощь в изучении проявлений метаморфизма в шифах, а Ю.Н. Григоренко за ценные редакционные замечания.*

### Литература

*Бархатов Б.П.* Основные этапы тектонического развития архипелага Шпицберген // Вестник ЛГУ. - 1969. - №6. - Вып. 1.

*Верба М.Л.* Структура Шпицбергенского шельфа по геофизическим данным // В кн.: Нефтегазоносность Мирового океана. - Л.: ПГО Севморгеология, 1984. - С. 22-34.

*Верба М.Л.* Приток нефти из палеогеновых отложений Шпицбергена // В кн.: Геологическое строение перспективных акваторий Мирового океана. - Л.: ПГО Севморгеология, 1989. - С. 55-65.

*Верба М.Л.* Среднепалеозойские рифтогенные структуры Баренцевской плиты // В кн.: Поиски, разведка и добыча нефти и газа в Тимано-Печорском бассейне и Баренцевом море: доклады II Международной конференции, ВНИГРИ, (24-28 июня 1996 г.). - СПб., ВНИГРИ, 1996. - С. 89-96.

*Верба М.Л., Верба Ю.Л.* Интрузивные пирокластиты Шпицбергена // В кн.: Гранитоидные вулcano-плутонические ассоциации: тез. докл. Всеросс. совещания, (Сыктывкар, Республика Коми, 21–23 мая 1997 г.). - Сыктывкар: Ин-т геологии Коми НЦ УрО РАН, 1997. - С. 25–26.

*Верба М.Л., Верба Ю.Л.* Метаморфиты Биллефьордской зоны разломов на Шпицбергене – горст докембрийских пород, или палеозойская интрузия? // В кн.: Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона, вып. 4. - СПб.: ВНИИОкеангеология, 2002. - С. 178–198.

*Верба М.Л.* Контактный метаморфизм каменноугольных отложений в зоне Биллефьордского разлома // Разведка и охрана недр. – 2005. - № 1. - С. 26 – 35.

*Верба М.Л.* Проявления природных углеводородов в осадочном чехле Шпицбергена // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2007. - Т.2. - <http://www.ngtp.ru/rub/6/018.pdf>

*Верба М.Л.* Забытые залежи нефти в палеогеновых и каменноугольных отложениях о. Зап. Шпицберген. В кн.: Сборник материалов 7-го Международного форума Топливо-энергетический комплекс России. (г. Санкт-Петербург, 10-12 апреля 2007 г.). - СПб., 2007. - С. 40-41.

*Верба М.Л.* Нефть на Шпицбергене: история исследований // Арктика и Антарктика. - 2007. - Вып 5 (39). - С. 25–41.

*Верба М.Л.* Геологические и геохимические предпосылки перспектив нефтеносности среднепалеозойских отложений Андре-Диксонского авлакогена (Шпицберген) // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2012. - Т.7. - №2. - [http://www.ngtp.ru/rub/1/31\\_2012.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/1/31_2012.pdf)

*Верба М.Л.* Коллекторные свойства пород осадочного чехла архипелага Шпицберген // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2013. - Т.8. - №1. - [http://www.ngtp.ru/rub/4/5\\_2013.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/4/5_2013.pdf). DOI: [https://doi.org/10.17353/2070-5379/5\\_2013](https://doi.org/10.17353/2070-5379/5_2013)

*Гавриленко, Б.В., Митрофанов Ф.П.* Структурная позиция и возраст древнейших образований архипелага Шпицберген // В кн.: Комплексные исследования природы Шпицбергена. - Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2002. - С. 64–69.

Геология осадочного чехла архипелага Свальбард // Под ред. Д.В. Семейского. - Л., НИИГА, 1980. - 140 с.

Геология осадочного чехла архипелага Шпицберген // Под ред. А.А. Красильщикова и

М.Н. Мирзаева. - Л.: ПГО Севморгеология, 1986. - 144 с.

Геология Свальбарда // Под ред. В.Н. Соколова. - Л.: НИИГА, 1976. - 140 с.

Геология Шпицбергена // Сборник научных трудов (под ред. А.А. Красильщикова и В.А. Басова). - Л.: ПГО Севморгеология, 1983. - 178 с.

*Дараган-Суцов Ю.И., Евдокимов А.Н., Милославский М.Ю., Сироткин А.Н.* Новые данные о взаимоотношении девонских и докембрийских толщ на северо-западе Шпицбергена // Докл. РАН. - 1998. - Т.361. - № 1. - С. 85–88.

*Евдокимова Н.К., Вороховская А.М., Бирюков А.С.* Строение и состав нижнекарбоновой угленосной формации острова Западный Шпицберген // В кн.: Геол. осад. чехла арх. Шпицберген. ПГО Севморгеология. - Л., 1986. - С. 20-33.

*Красильщиков А.А.* Стратиграфия и палеотектоника докембрия - раннего палеозоя Шпицбергена // Труды НИИГА. - 1973. - Т.172. - 120 с.

*Лившиц Ю.Я.* Новые данные о геологическом строении района горы Пирамида (Западный Шпицберген) // Ученые записки НИИГА. Региональная геология. - 1966. - Вып. 9. - С. 36-56.

*Лившиц Ю.Я.* Палеогеновые отложения и платформенная структура Шпицбергена. - Л.: Недра, 1973. - 160 с.

*Пчелина Т.М. Богач С.И., Гаврилов Б.П.* Новые данные по литостратиграфии девонских отложений района Мимердален // В кн.: Геология осадочного чехла архипелага Шпицберген. - Л.: ПГО Севморгеология, 1986. - С. 5–19.

*Пчелина Т.М.* Нефтеносность девонских отложений района Мимердален (архипелаг Шпицберген) // В кн.: Геологическое строение и нефтегазоносность Арктических морей России. - СПб.: ВНИИОкеангеология, 1994. - С. 39 – 47.

*Равич М.Г.* Существует ли гранитно-метаморфический комплекс нижнепротерозойского возраста на северо-западе Шпицбергена? // В кн.: Геология Свальбарда. - Л.: НИИГА, 1976. - с. 32-55.

*Сакулина, Т.С., Рослов Ю.В., Иванова Н.М.* Глубинные сейсмические исследования в Баренцевом и Карском морях // Физика Земли. - 2003. - № 6. - С. 5-20.

*Сироткин А.Н., Евдокимов А.Н.* Эндогенные режимы и эволюция регионального метаморфизма складчатых комплексов фундамента архипелага Шпицберген (на примере полуострова Нью-Фрисланд). - СПб.: ВНИИОкеангеология, 2011. - 270 с.

*Турченко С.И.* Докаледонский этап тектонического развития складчатого основания архипелага Шпицберген как фундамента древней платформы // В кн.: Геол. и перспективы рудоносности фундамента древних платформ. - Л.: Наука, 1987. - С. 222 – 231.

*Harland, W.B, J.L. Cutbill, P.F. Friend, D.J. Gobbett, D.W. Holliday, P.I. Maton, J.R. Parker*

& R.W. Wallis, 1974. The Billefjorden Fault Zone, Spitsbergen – long history of a major tectonic lineament.- Norsk Polarinstitut, Skrifter Nr. 161, Oslo. 68 p.

*Harland, W.B.* The Geology of Svalbard. – Geol.Soc. Memoir No 17, London, 1997, 454 p.

*Hjelle, A.* Geology of Svalbard. – Polarhåndbok No. 7. Oslo, 1993. 154 p.

*Johannssen, E.P. & R.J. Steel.* Mid-Carboniferous extension and rift-infill sequences in the Billefjorden Trough, Svalbard // Norsk Geologisk Tidsskrift, 1992, Vol. 72. pp. 35-48.

*Krasil'shchikov* (edit). Soviet Geological Research in Svalbard (1962 – 1992). Extended abstracts of unpublished reports. – Oslo: Norsk Polarinstitut, Middelelser Nr 139, 1996, 103p.

*Ohta, Y.* Recent understanding of the Svalbard basement in the light of new radiometric age determinations. – Norsk Geologisk Tidsskrift, vol. 72, Oslo, 1992, pp. 1 – 5.

*Skilbrei, J.R.*, Interpretation of Geophysical Data from the Northwestern Barents Sea and Spitsbergen (doctor ingeniøravhandling). – Norges Tekniske Høgskole, Trondheim, 1993.

*Verba, M.L., L.A. Daragan-Sushchova and A.D. Pavlenkin.* Riftogenic Structures of the western Arctic shelf investigated by refraction surveys//International Geology Review, 1992, 34, No 8, pp. 753 - 764.

**Verba M.L.**

Federal State Unitary Research and Production Enterprise for Marine Exploration "Sevmorgeo" (FGUNPP "Sevmorgeo"), St. Petersburg, Russia, [verba@sevmorgeo.com](mailto:verba@sevmorgeo.com)

**INTERACTION OF IGNEOUS AND SEDIMENTARY ROCKS OF ARCHIPELAGO OF SVALBARD IN THE LIGHT OF THE PETROLEUM POTENTIAL EVALUATION**

*Inflow of gas and light oil in important quantities in the coal deposits on the Petunia bay banks in the upper reaches of Bill fjord on Western Svalbard Island, was a powerful argument in favor of oil and gas prospects of these and underlying Devonian sediments. Drill holes together with the results of ground-based studies have shown that metamorphic rocks of Atomfella series developed in the area of Bill fjord fault, which considered to be Archean-Early Proterozoic formations for a long time, are in fact Middle Paleozoic intrusions of gabbro, the thermal effect of which on the surrounding Upper Devonian and Lower Carboniferous rocks caused the accelerated maturation of the organic matter and intensive generation of light oil, revealed by boreholes.*

**Keywords:** *sediments, Devonian, Carboniferous, gabbro, intrusion, metamorphism, organic matter, generation of oil, Western Svalbard Island.*

**References**

Barkhatov B.P. *Osnovnye etapy tektonicheskogo razvitiya arkipelaga Shpitsbergen* [The main stages of tectonic development of the Spitsbergen archipelago]. Vestnik LGU, 1969, no. 6, vol. 1.

Daragan-Sushchov Yu.I., Evdokimov A.N., Miloslavskiy M.Yu., Sirotkin A.N. *Novye dannye o vzaimootnoshenii devonskikh i dokembriyskikh tolshch na severo-zapade Shpitsbergena* [New data on the relationship between the Devonian and Precambrian strata in northwestern Spitsbergen]. Dokl. RAN, 1998, vol. 361, no. 1, p. 85–88.

Evdokimova N.K., Vorokhovskaya A.M., Biryukov A.S. *Stroenie i sostav nizhnekarbonovoy uglenosnoy formatsii ostrova Zapadnyy Shpitsbergen* [The structure and composition of Lower Carboniferous coal-bearing formation island Spitsbergen]. Geol. osad. chekhla arkh. Shpitsbergen. PGO Sevmorgeologiya. L., 1986, p. 20-33.

Gavrilenko, B.V., Mitrofanov F.P. *Strukturnaya pozitsiya i vozrast drevneyshikh obrazovaniy arkipelaga Shpitsbergen* [Structural position and age of the oldest formations of the Spitsbergen archipelago]. Kompleksnye issledovaniya prirody Shpitsbergena. Apatity: Izd-vo KNC RAN, 200, p. 64–69.

*Geologiya osadochnogo chekhla arkipelaga Shpitsbergen* [Geology of the sedimentary cover of the Spitsbergen archipelago]. Editors A.A. Krasil'shchikova and M.N. Mirzaev. Leningrad: PGO Sevmorgeologiya, 1986, 144 p.

*Geologiya osadochnogo chekhla arkipelaga Sval'bard* [Geology of the sedimentary cover of Svalbard]. Editor D.V. Semevsky. Leningrad, NIIGA, 1980, 140 p.

*Geologiya Shpitsbergena* [Geology of Spitsbergen]. Sbornik nauchnykh trudov (pod red. A.A. Krasil'shchikova i V.A. Basova). Leningrad, PGO Sevmorgeologiya, 1983, 178 p.

*Geologiya Sval'barda* [Geology of Svalbard]. Editor V.N. Sokolov. Leningrad: NIIGA, 1976, 140 p.

Harland, W.B., J.L. Cutbill, P.F. Friend, D.J. Gobbett, D.W. Holliday, P.I. Maton, J.R. Parker & R.W. Wallis, 1974. The Billefjorden Fault Zone, Spitsbergen – long history of a major tectonic lineament.- Norsk Polarinstitut, Skrifter Nr. 161, Oslo. 68 p.

Harland, W.B. The Geology of Svalbard. – Geol.Soc. Memoir No 17, London, 1997, 454 p.

Hjelle, A. Geology of Svalbard. Polarhåndbok No. 7. Oslo, 1993.154 p.

Johannssen, E.P. & R.J. Steel. Mid-Carboniferous extension and rift-infill sequences in the Billefjorden Trough, Svalbard. Norsk Geologisk Tidsskrift, 1992, Vol. 72. pp. 35-48.

Krasil'shchikov (edit). Soviet Geological Research in Svalbard (1962 – 1992). Extended abstracts of unpublished reports. Oslo: Norsk Polarinstitut, Middelelser Nr 139, 1996, 103 p.

Krasil'shchikov A.A. *Stratigrafiya i paleotektonika dokembriya - rannego paleozoya Shpitsbergena* [Stratigraphy and paleotektonika Precambrian - Early Paleozoic Spitsbergen] Trudy NIIGA, vol. 172, Leningrad: Nedra, 1973, 120 p.

Livshits Yu.Ya. *Novye dannye o geologicheskoy stroenii rayona gory Piramida (Zapadnyy Shpitsbergen)* [New data on the geological structure of the area Pyramid Mountain (West Spitsbergen)]. Uchenye zapiski NIIGA, Regional'naya geologiya, 1966, vol. 9. Leningrad, p. 36-56.

Livshits Yu.Ya. *Paleogenovye otlozheniya i platformennaya struktura Shpitsbergena* [Paleogene deposits and platform structure of Spitsbergen]. Leningrad: Nedra, 1973, 160 p.

Ohta, Y. Recent understanding of the Svalbard basement in the light of new radiometric age determinations. Norsk Geologisk Tidsskrift, vol. 72, Oslo, 1992, pp. 1 – 5.

Pchelina T.M., Bogach S.I., Gavrillov B.P. *Novye dannye po litostratigrafii devonskikh otlozheniy rayona Mimerdalen* [New data on lithostratigraphy of Devonian Mimerdalen area]. Geologiya osadochnogo chekhla arhipelaga Shpitsbergen. PGO Sevmorgeologiya. L.: 1986, p. 5–19.

Pchelina T.M. *Neftenosnost' devonskikh otlozheniy rayona Mimerdalen (arhipelag Shpitsbergen)* [Oil-bearing Devonian area Mimerdalen (Svalbard)]. Geologicheskoe stroenie i neftegazonosnost' Arkticheskikh morey Rossii. St. Petersburg: VNIIOkeangeologiya, 1994, p. 39 – 47.

Ravich M.G. *Sushchestvuet li granitno-metamorficheskiy kompleks nizhneproterozoyского vozrasta na severo-zapade Shpitsbergena?* [Is there a granite-metamorphic complex of Lower Proterozoic age to the north-west of Spitsbergen?]. Geologiya Sval'barda. Leningrad, NIIGA, 1976, p. 32-55.

Sakulina, T.S., Roslov Yu.V., Ivanova N.M. *Glubinnye seismicheskie issledovaniya v Barentsevom i Karskom moryakh* [Deep seismic surveys in the Barents and Kara Seas]. Fizika Zemli, 2003, no. 6, p. 5-20.

Sirotkin A.N., Evdokimov A.N. *Endogennyye rezhimy i evolyutsiya regional'nogo metamorfizma skladchatykh kompleksov fundamenta arhipelaga Shpitsbergen (na primere poluostrova Nyu-Frisland)* [Endogenous regimes and the evolution of regional metamorphism folded complexes of the foundation of the archipelago of Svalbard (by the example of the peninsula Ny-Friesland)]. St. Petersburg: VNIIOkeangeologiya, 2011, 270 p.

Skilbrei, J.R., Interpretation of Geophysical Data from the Northwestern Barents Sea and Spitsbergen (doctor ingenioravhandling). Norges Tekniske Høgskole, Trondheim, 1993.

Turchenko S.I. *Dokaledonskiy etap tektonicheskogo razvitiya skladchatogo osnovaniya arhipelaga Shpitsbergen kak fundamenta drevney platformy* [Pre-Caledonian stage of tectonic development of the folded basement of the Spitsbergen archipelago as the foundation of an ancient platform]. Geol. i perspektivy rudonosnosti fundamenta drevnikh platform, 1987, Leningrad, Nauka, p. 222–231.

Verba M.L. *Geologicheskie i geokhimicheskie predposylki perspektiv neftenosnosti srednepaleozoy'skikh otlozheniy Andre-Dikson'skogo avlakogena (Shpitsbergen)* [Middle Paleozoic deposits of Andre-Dickson aulacogen (Spitsbergen) - geological and geochemical background for petroleum potential prospects]. Neftegazovaya Geologiya. Teoriya I Praktika, 2012, vol. 7, no. 2, available at: [http://www.ngtp.ru/rub/1/31\\_2012.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/1/31_2012.pdf)

Verba M.L. *Kollektornyye svoystva porod osadochnogo chekhla arhipelaga Shpitsbergen* [Sedimentary cover reservoir of Svalbard archipelago]. Neftegazovaya Geologiya. Teoriya I Praktika, 2013, vol. 8, no. 1, available at: [http://www.ngtp.ru/rub/4/5\\_2013.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/4/5_2013.pdf). DOI: [https://doi.org/10.17353/2070-5379/5\\_2013](https://doi.org/10.17353/2070-5379/5_2013)

Verba M.L. *Kontaktovyy metamorfizm kamennougol'nykh otlozheniy v zone Billef'ordskogo razloma* [Contact metamorphism of coal deposits in the area of the Billeford fault]. Razvedka i okhrana nedr, no. 1, 2005, p. 26–35.

Verba M.L. *Neft' na Shpitsbergene: istoriya issledovaniy* [Oil of Svalbard: history of research]. Arktika i Antarktika, 2007, vol. 5 (39), p. 25–41.

Verba M.L. *Pritok nefti iz paleogenovykh otlozheniy Shpitsbergena* [The influx of oil from

the Paleogene deposits of Spitsbergen]. Geologicheskoe stroenie perspektivnykh akvatoriy Mirovogo okeana. Leningrad: PGO Sevmorgeologiya, 1989, p. 55–65.

Verba M.L. *Proyavleniya prirodnykh uglevodorodov v osadochnom chekhle Shchpitsbergena* [Manifestations of natural hydrocarbons in the sedimentary cover of Svalbard]. Neftegazovaya Geologiya. Teoriya I Praktika, 2007, vol. 2, available at: <http://www.ngtp.ru/rub/6/018.pdf>

Verba M.L. *Srednepaleozoyskie riftogennye struktury Barentsevskoy plity* [Middle Paleozoic rift structure of Barents plate]. oiski, razvedka i dobycha nefti i gaza v Timano-Pechorskom bassejne i Barentsevom more: doklady II Mezhdunarodnoy konferentsii, VNIGRI, (24-28 iyunya 1996). St. Petersburg, VNIGRI, 1996, p. 89-96.

Verba M.L. *Struktura Shpitsbergenskogo shel'fa po geofizicheskim dannym* [Spitsbergen shelf structure by geophysical data]. Neftegazonosnost' Mirovogo okeana Leningrad, PGO Sevmorgeologiya, 1984, p. 22-34.

Verba M.L. *Zabytye zalezhi nefti v paleogenovykh i kamennougol'nykh otlozheniyakh o. Zap. Shpitsbergen* [Forgotten deposits in the Paleogene of Carboniferous deposits on Western Svalbard]. Sbornik materialov 7-go Mezhdunarodnogo foruma Toplivno-energeticheskiiy kompleks Rossii. Sankt-Petersburg (10-12 aprelya 2007 g.). St. Petersburg., 2007, p. 40-41.

Verba M.L., Verba Yu.L. *Intruzivnye piroklastity Shpitsbergena* [Intrusive piroklastity of Svalbard]. Granitoidnye vulkano-plutonicheskie assotsiatsii (Tez. dokl. Vseross. soveshchaniya, Syktyvkar, Respublika Komi, 21–23 May 1997). Syktyvkar: In-t geologii Komi NC UrO RAN, 1997, p. 25–26.

Verba M.L., Verba Yu.L. *Metamorfity Billef'ordskoy zony razlomov na Shpitsbergene – gorst dokembriyskikh porod, ili paleozoyskaya intruziya?* [Metamorphites of Billeford fault zones in Svalbard - a handful of rocks of Precambrian, or Paleozoic intrusion?]. Geologo-geofizicheskie kharakteristiki litosfery Arkticheskogo regiona, vol. 4. St. Petersburg: VNIIOkeangeologiya, 2002, p. 178 – 198.

Verba, M.L., L.A. Daragan-Sushchova and A.D. Pavlenkin. Riftogenic Structures of the western Arctic shelf investigated by refraction surveys. International Geology Review, 1992, 34, No 8, pp. 753 - 764.

© Верба М.Л., 2015