

DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/44_2022

УДК 550.384:551.735(481-922.1)

Иосифиди А.Г.

Санкт-Петербургский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук (СПбФ ИЗМИРАН), Санкт-Петербург, Россия, iosag@mail.ru

КАМЕННОУГОЛЬНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ ОСТРОВА ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН: ПАЛЕОМАГНИТНЫЕ ДАННЫЕ

Представлены результаты изучения образцов горных пород каменноугольного возраста, отобранных в 1985 г. на о. Западный Шпицберген на восточном побережье Речерчфьорда (Recherchfjorden). Получен палеомагнитный полюс по горным породам карбона (группа Гунсдален - Gypsdaalen Group), средний карбон-нижняя пермь). Проведено сравнение имеющихся палеомагнитных определений по о. Западный Шпицберген с данными по разновозрастным породам Русской платформы. Дана оценка взаимного положения о. Западный Шпицберген и Русской платформы в раннем девоне, среднем карбоне и ранней перми.

Ключевые слова: палеомагнетизм, каменноугольные отложения, палеомагнитный полюс, о. Западный Шпицберген, Русская платформа.

Введение

Обоснованность актуальных направлений геолого-поисковых работ в значительной степени определяется результатами комплексных геолого-геофизических исследований. Среди методов, составляющих этот комплекс, особое место занимает палеомагнитный метод, который позволяет получить количественные параметры тектонических движений, определивших строение земной коры и процессы её формирования. Реконструкция древних бассейнов седиментации палеомагнитным методом имеет значение как для расшифровки истории их формирования, так и для практики разведки полезных ископаемых. Одним из перспективных районов на поиски полезных ископаемых является Баренцево-Карский водный бассейн. С севера он ограничен архипелагом Шпицберген, Землей Франца Иосифа, Северной Землей, а с юга - Восточно-Европейской платформой (ВЕП) и входящими в нее Печорской и Сибирской плитами. В центре бассейна находится о. Новая Земля. Большое значение при образовании данного водного бассейна имела ВЕП. Генеральная черта палеогеографической эволюции ВЕП в течение фанерозоя - движение этой плиты в северном направлении от высоких широт южного полушария до современного ее положения, в целом в умеренных северных широтах. Это движение, согласно существующим моделям, осложняется возвратными движениями и поворотами, главные из которых обычно относят к разным эпохам палеозоя и раннего мезозоя. Согласно этим моделям наиболее характерным

временным интервалом возвратных движений и поворотов ВЕП является девонский - раннекаменноугольный. Таким образом, палеомагнитное изучение девонских и каменноугольных отложений из тектонических блоков, выходящих на поверхность в Баренцево-Карском водном бассейне, поможет уточнить историю развития этого бассейна, в том числе и его Баренцево-Печорского участка. Развитие в конце прошлого века аппаратной базы палеомагнитных исследований значительно расширило типы осадочных горных пород, пригодных для проведения палеомагнитных исследований. В тоже время это привело к ужесточению требований к единичным палеомагнитным определениям. Имеющиеся палеомагнитные данные по палеозойским (в том числе и по девонским) отложениям Баренцево-Печорского региона в большинстве своем не отвечают современным требованиям к их достоверности. Поэтому необходимо получение новых палеомагнитных определений, что позволит уточнить историю развития этого региона. В данной работе представляются результаты палеомагнитных исследований коллекции среднекаменноугольных осадочных отложений, отобранной в районе устья Речерчфьорда (Recherchfjorden), о. Западный Шпицберген.

Экспериментальные результаты

Объект исследования. О. Западный Шпицберген, восточный берег Речерчфьорда (Recherchfjorden) (рис. 1, обн. 3). Средние координаты отбора: $\varphi=77.4^{\circ}\text{N}$, $\lambda=14.5^{\circ}\text{E}$. Отбор произведен в двух точках:

1. На восточном берегу Речерчфьорда, в 1,5 км выше устья, в береговом обрыве обнажаются отложения среднего карбона. Породы представлены серовато-бурыми известняками, красными и бурыми, средне-крупнозернистыми песчаниками.

2. Вторая точка отбора находится в 1 км восточнее, на северном склоне горы Мария-Тереза, на высоте около 300 м. Здесь выходят на поверхность отложения среднего карбона, аналогичные отобраным в первой точке.

Из каждого обнажения отобрано по 9 ориентированных штуфов, в стратиграфической последовательности с шагом 1-3 м. Коллекция отобрана в 1985 г. (Е.Л. Гуревич, С.А. Писаревский). Первые исследования по данной коллекции проводил С.А. Писаревский, но результаты работы не опубликованы. В данной статье представлены палеомагнитные определения, полученные по оставшейся части коллекции.

Магнитные свойства. Значения скалярных магнитных характеристик: естественной остаточной намагниченности (J_n) и магнитной восприимчивости (K_m) для изученных пород изменяются в небольших пределах (табл. 1).

Средние значения J_n и K_m образцов достаточно высоки, что позволило проводить

измерения с хорошей точностью. Анализ кривых зависимостей магнитной восприимчивости от температуры и интерпретация их особенностей показали следующее. Во всех образцах (средне - крупнозернистые песчаники) по кривым нагрева и охлаждения отмечается высокий уровень помех в диапазоне 40-400°C. Выяснить причины этого эффекта автору не удалось. Тем не менее, в диапазоне 400-685°C четко выделяется основной магнитный минерал, носитель естественной остаточной намагниченности, гематит (рис. 2А, обр. 761). На части образцов проведены измерения анизотропии магнитной восприимчивости. Степень анизотропии невысокая и составляет первые проценты. Преобладает плоскостная анизотропия, что характерно для осадочных отложений (рис. 2Б-Д).

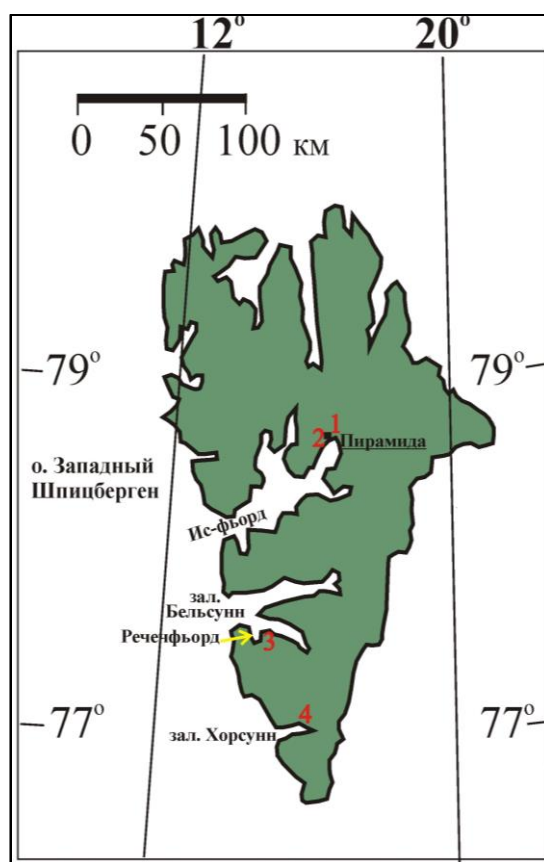


Рис. 1. Схема расположения изученных разрезов каменноугольных отложений о. Западный Шпицберген

Обнажения 1, 2 - группа Биллефиорден (Billfjorden Group), ранний-средний карбон [Watts, 1985; Иосифиди, Храмов, 2013]; обнажения 3, 4 - группа Гунсдален (Gynsdalen Group), средний карбон-нижняя пермь (по данным автора и [Michalski, Lewandowski, 2004]); номера обнажений показаны красными цифрами.

Таблица 1

Пределы изменения величин J_n и K_m изученных пород

Возраст пород	Число образцов	Диапазон изменения J_n , мА/м	Средне-геометрическое J_n , мА/м	Число образцов	Диапазон изменения K_m , 10^{-5} ед.СИ	Средне-геометрическое K_m , 10^{-5} ед. СИ
C ₁₋₂	20	0,3÷4,4	1,5	7	1,8÷6,0	4,2

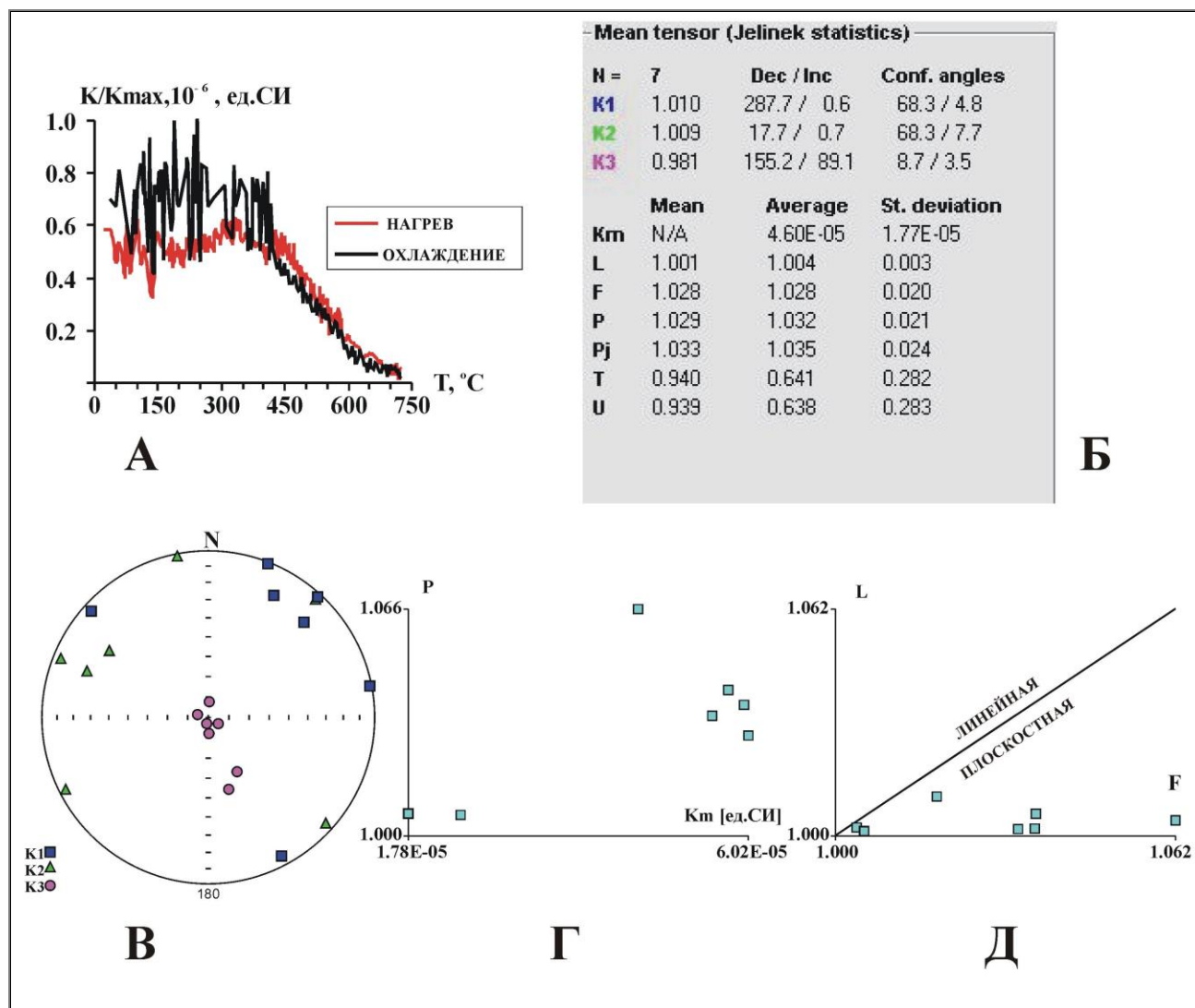


Рис. 2. Параметры анизотропии магнитной восприимчивости для осадочных пород карбона из разреза каменноугольных отложений Речерчфьорда

A - пример изменения магнитной восприимчивости при нагреве (красная линия) и охлаждении (синяя линия); *Б* - таблица параметров анизотропии магнитной восприимчивости; *В* - распределения направлений главных осей эллипсоида анизотропии магнитной восприимчивости в стратиграфической системе координат; *Г* - зависимость степени анизотропии ($P=K1/K3$) от величины магнитной восприимчивости; *Д* - зависимость параметра линейности ($L=K1/K2$) от степени сплюснутости ($F=K2/K3$). $K1$, $K2$, $K3$ - направления максимальной, промежуточной и минимальной осей эллипсоида анизотропии магнитной восприимчивости. Пустые (залитые) значки - проекции на верхнюю (нижнюю) полусферу. Для построения рисунка использована программа Anisoft 42 [Chadima, Jelinek, 2009].

Компонентный анализ. Выделение компонент естественной остаточной намагниченности проводилось методом ступенчатого температурного размагничивания в диапазоне температур 100-685°C. Современная компонента J_n хаотична, что связано с долгим хранением образцов в лаборатории. Характеристическая компонента естественной остаточной намагниченности выделяется в интервалах высоких температур (450, 600-685°C). Примеры температурного размагничивания J_n показаны на рис. 3 (образцы 759-3,761-2). Полученное распределение высокотемпературных компонент J_n представлено на рис. 3, а

статистические характеристики выделенной компоненты - в табл. 2. Все имеющиеся палеомагнитные определения по каменноугольным отложениям о. Западный Шпицберген (см. рис. 1, обн. 1, 2, 4), также приведены в табл. 2. Одни определения по каменноугольным отложениям о. Западный Шпицберген относятся к группе Гипсдален (Gypsdalen Group, средний карбон-нижняя пермь) (см. табл. 2, строки 5, 6), а по разрезам в районе п. Пирамида возраст пород соотносится с группой Биллефиорден (Billefjorden Group, ранний карбон) (см. табл. 2, строки 4, 7) [Стратиграфический словарь..., 1990].

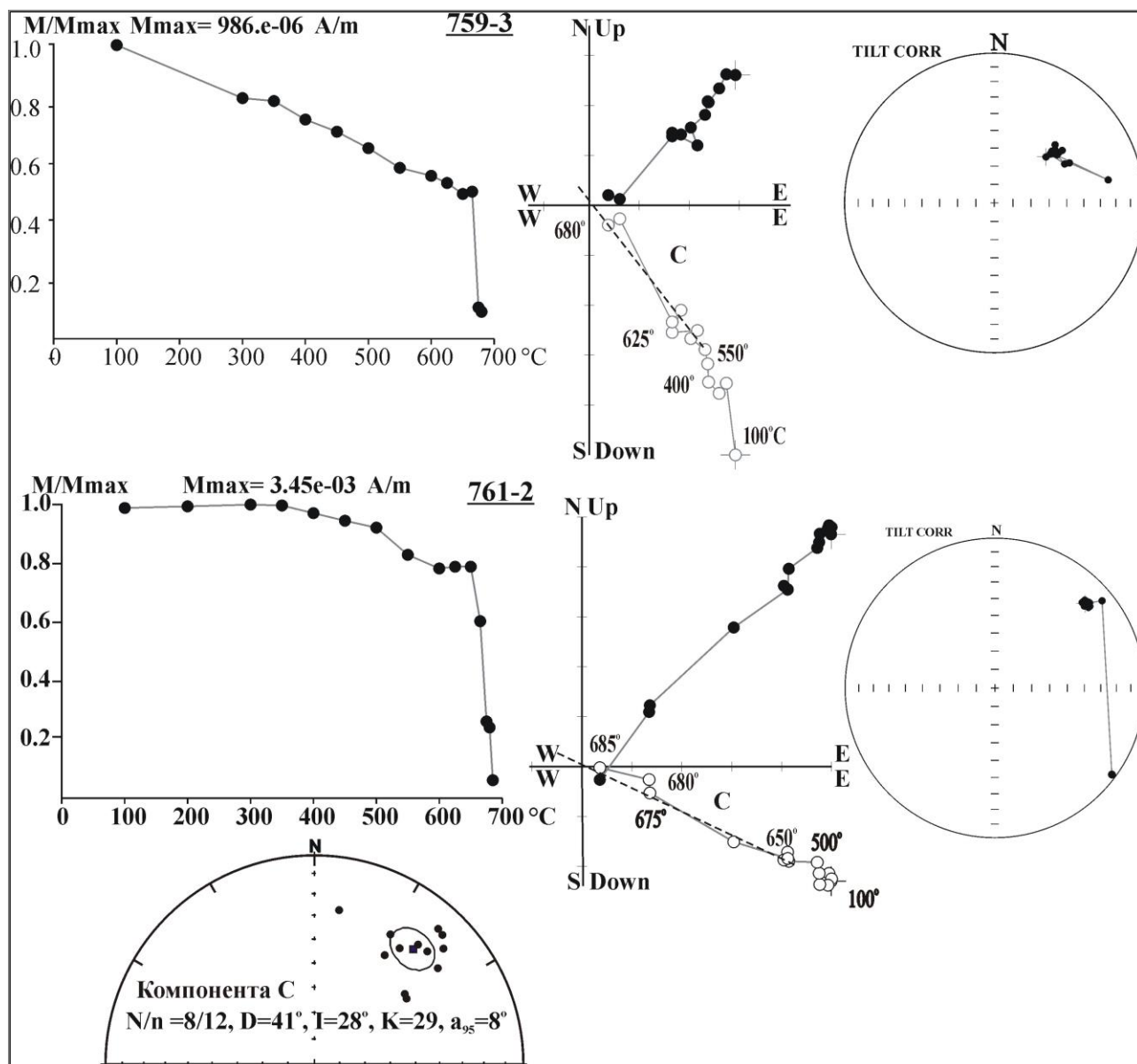


Рис. 3. Примеры ступенчатого терморазмагничивания естественной остаточной намагниченности образцов каменноугольного возраста

Вверху, слева направо: кривая изменения величины J_n , диаграмма Зейдверельда, стереограмма поведения направления J_n в ходе ступенчатого терморазмагничивания (образцы 759-3, 761-2). Внизу распределение направлений компоненты C, после проведения терморазмагничивания. Диаграммы Зейдверельда и стереопроекции приведены в стратиграфической системе координат (пустые (залитые) кружки - проекции векторов на верхнюю (нижнюю) полусферу). Для построения диаграмм Зейдверельда использована программа Remasoft 3.0 [Chadima, Hrounda, 2006].

Таблица 2

Палеомагнитные направления и полюсы для каменноугольных отложений Речерчфьорда, координаты отбора $\varphi=77.4^{\circ}\text{N}$, $\lambda=14.5^{\circ}\text{E}$.) и имеющих определений по о. Западный Шпицберген

№	Инт-лы выделения, комп. J_n ($^{\circ}\text{C}$)/возраст пород	с.к.	N/n	D°	I°	K	α_{95}°	$\Phi, ^{\circ}\text{N}$	$\Lambda, ^{\circ}\text{E}$	dp°	dm°	φ_m°	Тест/ литература
1	450, 600-685 $^{\circ}\text{C}$	g	8/12	46	-18	5	21						
2	C_{1-2}	s		41	28	29	8	24	151	5	9	15	$F+1.2\pm 0.2$
3	C_{1-2}	s		40	33	31	8	27	151	5	9	18	Syn110%, $F+$
4	$C_{1S-C_{2b}}$ (рис. 1, обн. 1)			46	27		12	22	147	7	12	14	[Watts, 1985] *
5	$C_{2b-C_{2m}}$ (рис. 1, обн. 4)			225	-28		6	23	148	3	6	15	[Michalski, Lewandowski, 2004]
6	$C_{1S-C_{2b}}$ (рис. 1, обн. 3)			41	28		8	24	151	5	9	15	д. п.
7	C_{1-2} (рис. 1, обн. 2)			27	27		7	24	167	4	8	14	[Iosifidi, Khramov, 2013]
8	C_{1-2} (среднее)		N=4	39	27		10	23	153	6	10	14	д. п.

Примечание: с.к. - система координат (g - географическая, s - стратиграфическая); N - число штурфов; n - число образцов; D° , I° - склонение и наклонение средних направлений компонент; K - кучность векторов; α_{95}° - радиус круга доверия при 95% вероятности для среднего направления; Φ° , Λ° - широта и долгота палеомагнитного полюса; dp° , dm° - полуоси овала доверия; φ_m° - палеомагнитная широта; $F+(-)$ - тест складки положителен (отрицателен) по [Watson, Enkin, 1993]; * - направление для N полярности. При обработке данных использован пакет программ [Enkin, 1994].

По всем имеющимся палеомагнитным определениям для каменноугольных отложений о. Западный Шпицберген подсчитано среднее значение палеомагнитного полюса (см. табл. 2, строка 8). Проведено сравнение полученной траектории кажущейся миграции палеомагнитного полюса по о. Западный Шпицберген с данными по Русской платформе ([Iosifidi, Khramov, 2013], с дополнениями из работ [Иосифиди, Михайлова, 2017; Иосифиди и др., 2018]). Пересчет данных по о. Западный Шпицберген в координаты Русской платформы осуществлялся путем поворота относительно полюсов Эйлера по методу четырех точек в программе GMAP [Torsvik et al., 1990; Torsvik, Smethurst, 1999]. Для полюсов от 325 млн. лет и моложе полюс Эйлера $\Phi_e = 4^{\circ}\text{N}$, $\Lambda_e = 288^{\circ}\text{E}$, поворот на 8° против часовой стрелки; для полюсов от 399 млн. лет и древнее, поворот относительно полюса Эйлера $\Phi_e = 84^{\circ}\text{N}$, $\Lambda_e = 6^{\circ}\text{E}$ на 23° против часовой стрелки. Результаты показаны в табл. 3 и на рис. 4.

Обсуждение результатов

Проведенный анализ естественной остаточной намагниченности каменноугольных отложений из разрезов восточного берега Речерчфьорда выявил двухкомпонентный состав J_n в изученных образцах. Гематит является основным минералом носителем естественной остаточной намагниченности пород. Низкотемпературная компонента J_n хаотична, что связано с долгим хранением коллекции. Высокотемпературная характеристическая

компонента С имеет положительные тесты складки и выпрямления складки (synfolding) [Watson, Enkin, 1993] (см. табл. 2). Измерение анизотропии магнитной восприимчивости показывает преобладание плоскостной анизотропии, а значения параметра анизотропии **P** лежат в пределах первых единиц, что характерно для осадочных отложений (см. рис. 2Б-Д). Положения палеомагнитных полюсов по компоненте С, выделенных при изучении отложений каменноугольного возраста о. Западный Шпицберген другими исследователями, показаны в табл. 2, 3 и на рис. 4. Возрастные оценки, сделанные стратиграфическим методом, лежат в пределах 359-270 млн. лет, ранний карбон-нижняя пермь [Стратиграфический словарь..., 1990; Стратиграфический кодекс..., 2006; Geologic Time Scale, 2012]. Значения палеомагнитных полюсов изменяются по широте незначительно (22-24°), а по долготе - значимо (147-167°). Среднее значение палеомагнитного полюса для имеющихся палеомагнитных данных по каменноугольным отложениям о. Западный Шпицберген: N=4, Ф=23°N, Л=153°E (см. табл. 2). Отсутствие палеомагнитных определений в интервале 360-315 млн. лет, как по Русской платформе, так и по о. Западный Шпицберген, не позволяет дать корректную оценку возраста среднего палеомагнитного полюса по каменноугольным отложениям о. Западный Шпицберген. Для сравнения имеющихся данных по Русской платформе и по о. Западный Шпицберген, методом сплайнов построены кажущиеся траектории миграции палеомагнитных полюсов для Русской платформы и о. Западный Шпицберген (см. рис. 4).

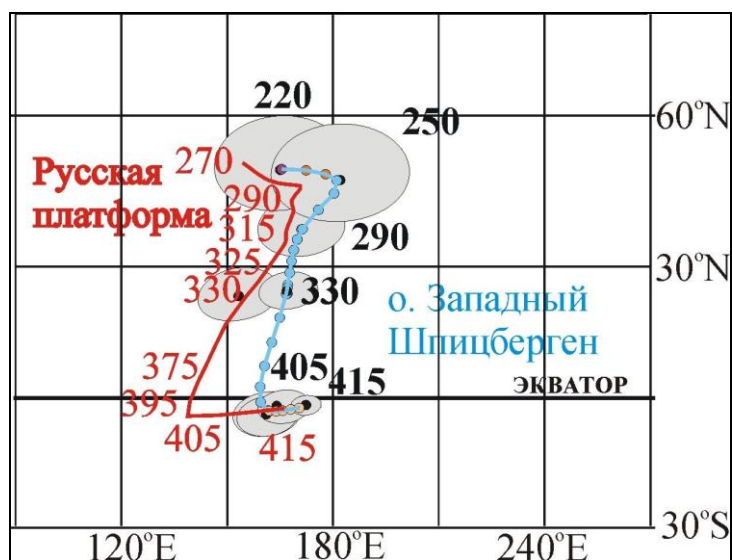


Рис. 4. Сравнение траекторий кажущейся миграции палеомагнитного полюса для Русской платформы из работы [Iosifidi, Khramov, 2013], с дополнениями из работ [Иосифиди, Михайлова, 2017; Иосифиди и др., 2018] и о. Западный Шпицберген по полученной траектории по имеющимся результатам (табл. 3)

Серыми овалами доверия (погрешность палеомагнитных полюсов для вероятности 95%) показаны первичные палеомагнитные данные по о. Шпицберген; остальные пояснения приведены в тексте. Для построения рисунка использована программа GMAP [Torsvik et al., 1990].

Палеомагнитные полюсы и координаты APWP для о. Западный Шпицберген в интервале девон-ранний триас

№	Возраст, млн. лет	Координаты полюса		A° ₉₅	Q	Траектория APWP				Литература
		Φ,°N	Λ,°E			Φ _s °N	Λ _s °E	в координатах Русской плиты		
								Φ _r °N	Λ _r °E	
1	220	49	160	6	4	50	166			[Гуревич, Слауцитайс, 1988]
2	250	48	182	11	4	48	181			[Nawrocki, 1999]
3	290	38	171	8	5	38	171	45	167	[Nawrocki, 1999]
4	325	24	153	10	5	26	167	33	164	Среднее*
5	330	24	167	7	5	24	167	31	164	[Iosifidi, Khramov, 2013]
6	399	-4	161	8	5	-3	162	-5	139	[Iosifidi, Khramov, 2013]
7	400	-2	164	7	5	-3	162	-5	139	[Iosifidi, Khramov, 2013]
8	405	-4	161	9	5	-3	164	-5	141	[Iosifidi, Khramov, 2013]
9	415	-2	172	4	4	-3	170	-4	143	[Погарская, Гуревич, 1988]

*Примечание: Возраст, млн. лет (по [Стратиграфический кодекс..., 2006]); A₉₅ - радиус круга доверия при 95% вероятности для положения палеомагнитного полюса; Q - сумма критериев достоверности Ван дер Ву [Van der Voo, 1990]; Φ_s°N, Λ_s°E (Φ_r°N, Λ_r°E) - широта и долгота северного палеомагнитного полюса для траектории кажущейся миграции полюса (APWP - apparent pole wander path) в координатах Шпицбергена (Русской плиты), полученной по методу сферического сплайна [Jurr, Kent, 1987], параметр сглаживания 200, нормировка на фактор Q. * - средний полюс по 4 определениям для каменноугольных отложений о. Западный Шпицберген (см. табл. 2).*

Генеральная черта палеогеографической эволюции ВЕП в течение фанерозоя - движение этой плиты в северном направлении от высоких широт южного полушария до современного ее положения, в целом в умеренных северных широтах. По имеющимся геологическим и палеомагнитным данным [Torsvik et al., 1985], начиная с девонского времени, ВЕП (Русская платформа) и о. Западный Шпицберген двигались совместно на север от приэкваториальных широт до современного положения. Это подтверждается сравнением полученных кажущихся траекторий миграции палеомагнитных полюсов для Русской платформы и о. Западный Шпицберген (см. рис. 4). После пересчета палеомагнитных полюсов по о. Западный Шпицберген в координаты Русской платформы, выполнено построение взаимного положения Русской платформы и о. Западный Шпицберген в интервале 400-290 млн. лет (см. табл. 3, рис. 5).

Можно с уверенностью говорить о перемещении ВЕП (Русской платформы) и о. Западный Шпицберген на север с уменьшением скорости перемещения в конце раннепермского времени. При этом происходит поворот ВЕП (Русской платформы) и о. Западный Шпицберген по часовой стрелке. Оценки скоростей широтного перемещения и поворота (в интервале 325-290 млн. лет) не противоречат современным плитотектоническим моделям [Тектоника литосферных плит..., 1990] и лежат в пределах 4-5 см/год и первые

градусы за миллион лет. Естественно, в погрешность кинематических параметров значительный вклад вносят погрешности определения возраста характерных компонент естественной остаточной намагниченности. Для решения этой проблемы необходимо получение новых палеомагнитных определений и, в первую очередь, по разрезам осадочных толщ, имеющим хорошую возрастную привязку.

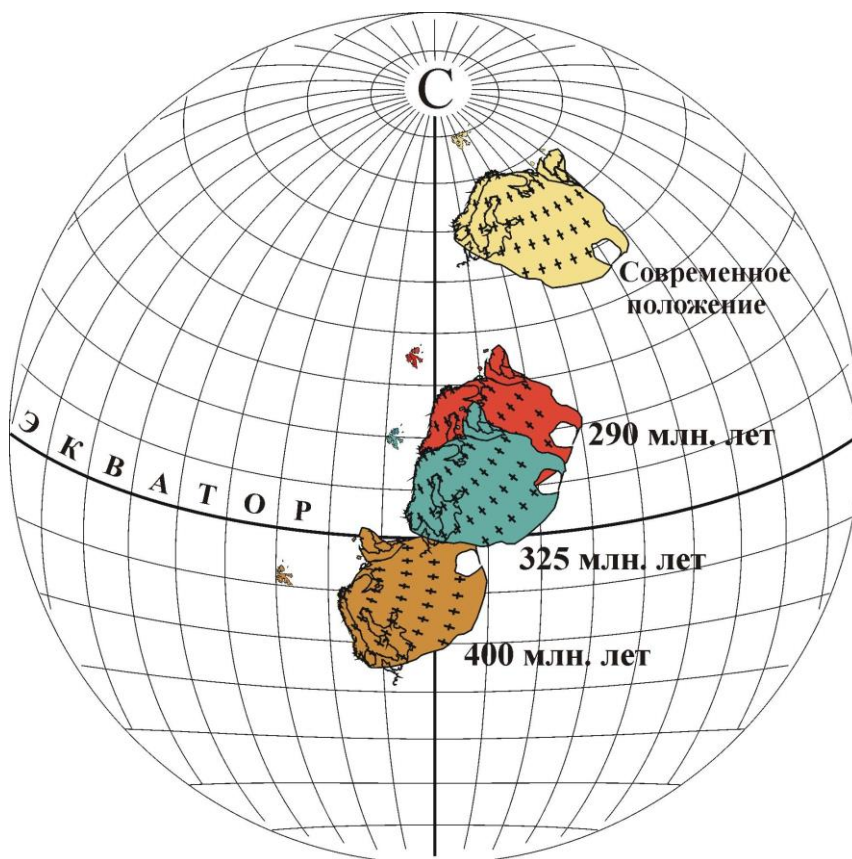


Рис. 5. Взаимное положение Русской платформы и о. Западный Шпицберген в девоне-ранней перми (400-220 млн. лет)

Для построений использованы палеомагнитные полюсы для Западного Шпицбергена, пересчитанные в координатах Русской платформы (см. табл. 3). Для построения рисунка использована программа GMAP [Torsvik et al., 1990; Torsvik, Smethurst, 1999].

Выводы

1. По породам среднего карбона о. Западный Шпицберген получен новый палеомагнитный полюс.
2. Имеющиеся определения по раннекаменноугольным и среднекаменноугольным отложениям о. Западный Шпицберген близки между собой, что может быть связано с неточным определением возраста пород или с возможным перемагничиванием всех отложений в визейское время.
3. Оценка кинематических параметров движения ВЕП (по данным Русской платформы) и о. Западный Шпицберген в среднекаменноугольное - раннепермское время показывает, что

движение плиты имело следующие характеристики: ВЕП (Русская платформа) и о. Западный Шпицберген перемещались на север с уменьшением скорости перемещения в конце раннепермского времени; при этом происходил их поворот по часовой стрелке. Скорости широтного перемещения и вращения лежат в пределах 4-5 см/год и первые градусы за миллион лет, что не противоречит современным плитотектоническим моделям.

4. Взаимное положение ВЕП (по данным Русской плиты) и архипелага Шпицберген, показанные на рис. 5, согласуются с геологическими данными развития этого региона. В девонское время продолжалось формирование Лавруссии и ее сближение с Гондваной, которое закончилось образованием Пангеи в визейский век карбона [Ziegler, 1989]. На завершающем этапе этого процесса происходил левосторонний сдвиг между Лаврентией и ВЕП, отразившийся и в соответствующих сдвиговых деформациях в пределах архипелага Шпицбергена. Этот процесс завершился к поздней перми и вызвал соответственно сближение архипелага Шпицбергена и ВЕП (см. рис. 5). В ходе дальнейшего дрейфа Пангеи на север и ее распада взаимное положение ВЕП (Русской плиты) и архипелага Шпицберген приблизилось к современному положению (см. рис. 5).

5. Для уточнения корректных значений координат средних палеомагнитных полюсов и кинематических параметров, необходимо получение новых палеомагнитных определений, в первую очередь, по осадочным толщам раннекаменноугольного возраста Русской платформы и о. Западный Шпицберген.

Автор выражает глубокую благодарность Е.Л. Гуревичу и С.А. Писаревскому за отбор и подготовку к лабораторным исследованиям коллекции образцов горных пород каменноугольного возраста.

Литература

Гуревич Е.Л., Слауцитайс И.П. Палеомагнетизм мезозойских осадочных и интрузивных пород Западного Шпицбергена // Палеомагнетизм и аккреционная тектоника. - Л.: ВНИГРИ, 1988. - С.18-30.

Иосифиди А.Г., Михайлова В.А. Палеомагнетизм каменноугольных отложений русской платформы: переизучение старых коллекций // Физика Земли. - 2017. - № 2. - С. 1-16.

Иосифиди А.Г., Михайлова В.А., Попов В.В., Сергиенко Е.С., Данилова А.В., Отмас Н.М. Каменноугольные отложения Московской синеклизы: палеомагнитные данные // Физика Земли. - 2018. - № 1. - С. 172-186.

Погарская И.А., Гуревич Е.Л. Палеомагнетизм девонских пород Шпицбергена // Палеомагнетизм и аккреционная тектоника. - Л.: ВНИГРИ, 1988. - С.6-17.

Стратиграфический кодекс России. Издание третье. - СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2006. - 96 с.

Стратиграфический словарь Шпицбергена / Под ред. И.С. Грамберга. - Л.: Недра, 1990.

- 203 с.

Тектоника литосферных плит территории СССР: в 2 кн. / Л.П. Зоненшайн, М.И. Кузьмин, Л.М. Натапов. - М.: Недра. 1990. - 328 с.

Chadima M., Hrouda F. Remasoft 3.0 a user-friendly paleomagnetic data browser and analyzer // *Travaux Géophysiques*. - 2006. - Vol. XXVII. - P. 20-21.

Chadima M., Jelinek V. Anisoft 42. - 2009. - www.AGICO.com

Enkin R.J. A computer program package for analysis and presentation of palaeomagnetic data // Pacific Geoscience Centre, Geol. Survey Canada. Sidney. - 1994. - 16 p.

Geologic Time Scale / Editors F.M. Gradstein, J.G. Ogg, M.D. Schmitz, G.M. Ogg. Elsevier, Boston. - 2012. - P. 1160.

Iosifidi A.G., Khramov A.N. Paleomagnetism of Devonian and Carboniferous sedimentary rocks of Spitsbergen: to the paleosoic histori of the Barents-Kara basin fraiming // *Izvestiya Physics of the Solid Earth*. - 2013. - No. 49. - P.725-742. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1069351313040034>

Jupp P.E. Kent J.T. Fitting smooth paths to spherical data // *Journal of the Royal Statistical Society Series*. - 1987. - Vol. 36(1). - P. 34-46.

Michalski K., Lewandowski M. Palaeomagnetic results from the Middle Carboniferous rocks of the Hornsund region, southern Spitsbergen:preliminary report // *Polish Polar Research*. - 2004. - Vol. 25. - No. 2. - P. 169-182.

Nawrocki J. Paleomagnetism of Permian through Early Triassic sequences in central Spitsbergen: implications for paleogeography // *Earth and Planetary Science Letters*. - 1999. - No.1. - P.59-70.

Torsvik T.H., Lovlie R., Sturt B.A. Palaeomagnetic argument for a stationary Spitsbergen relative to the British Isles (Western Europe) since late Devonian and its bearing on North Atlantic reconstruction // *Earth and Planetary Science Letters*. - 1985. - No. 75. - P. 278-288.

Torsvik T.H., Smethurst M.A. Plate tectonic modeling: virtual reality with GMAP // *Computers and Geosciences*. - 1999. - No. 25. - P. 395-402.

Torsvik T.H., Smethurst M.A., Pesonen L.J. GMAP - geographic mapping and paleoreconstruction package (NGU rapport no. 90.019). - 1990. - P.62.

Van der Voo R. The reliability of palaeomagnetic data // *Tectonophysics*. - 1990. - No. 184. - P. 1-9.

Watson G.S., Enkin R. The fold test in palaeomagnetism as a parameter estimation problem. *Geophysical Research Letters*. 1993. No.20. P. 2135-2138. DOI: <https://doi.org/10.1029/93GL01901>

Watts D.R. Palaeomagnetism of the Lower Carboniferous Billefjorden Group, Spitsbergen // *Geological Magazine*. - 1985. - Vol. 122. - Issue 4. - P. 383-388.

Ziegler P.A. Evolution of Laurussia. A Study in Late Palaeozoic Plate Tectonics. Kluwer Academic Publishers. - 1989. - 100 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-94-009-0469-9>

Iosifidi A.G.

St. Petersburg branch of the Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radiowave Propagation named after N.V. Pushkov of Russian Academy of Sciences (SPbF IZMIRAN), St. Petersburg, Russia, iosag@mail.ru

**CARBONIFEROUS ROCKS OF WESTERN SPITSBERGEN ISLAND:
PALEOMAGNETIC DATA**

The paper presents the results of studying the samples of rocks of the Carboniferous age collected in 1985 on Western Spitsbergen Island on the eastern coast of the Recherchfjorden. A paleomagnetic pole was obtained from Carboniferous rocks (Gypsdalen Group, Middle Carboniferous-Lower Permian). The paleomagnetic determinations for the island of Western Spitsbergen are compared with data on coeval rocks of the Russian Platform. An assessment of the mutual position of the island of Western Spitsbergen and the Russian Platform in the Early Devonian, Middle Carboniferous and Early Permian is given.

Keywords: paleomagnetism, Carboniferous rocks, paleomagnetic pole, Western Spitsbergen Island, Russian Platform.

References

Chadima M., Hrouda F. Remasoft 3.0 a user-friendly paleomagnetic data browser and analyzer. *Travaux Géophysiques*, 2006, vol. XXVII, pp. 20-21.

Chadima M., Jelinek V. Anisoft 42, 2009. www.AGICO.com

Enkin R.J. A computer program package for analysis and presentation of palaeomagnetic data. Pacific Geoscience Centre, Geol. Survey Canada. Sidney, 1994, 16 p.

Geologic Time Scale. Editors F.M. Gradstein, J.G. Ogg, M.D. Schmitz, G.M. Ogg. Elsevier, Boston, 2012, pp. 1160.

Gurevich E.L., Slautsitays I.P. *Paleomagnetizm mezozoyskikh osadochnykh i intruzivnykh porod Zapadnogo Shpitsbergena* [Paleomagnetism of Mesozoic sedimentary and intrusive rocks of Western Spitsbergen. Paleomagnetism and accretionary tectonics]. *Paleomagnetizm i akkretsionnaya tektonika*, Leningrad: VNIGRI, 1988, pp. 18-30.

Iosifidi A.G., Khramov A.N. Paleomagnetism of Devonian and Carboniferous sedimentary rocks of Spitsbergen: to the paleosoic history of the Barents-Kara basin framing. *Izvestiya Physics of the Solid Earth*, 2013, no. 49, pp.725-742. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1069351313040034>

Iosifidi A.G., Mikhaylova V.A. *Paleomagnetizm kamennougol'nykh otlozheniy russkoy platformy: pereizuchenie starykh kollektsey* [Paleomagnetism of Carboniferous formations of the Russian Platform: reinvestigation of old collections]. *Fizika Zemli*, 2017, no. 2, pp. 1-16.

Iosifidi A.G., Mikhaylova V.A., Popov V.V., Sergienko E.S., Danilova A.V., Otmas N.M. *Kamennougol'nye otlozheniya Moskovskoy sineklizy: paleomagnitnye dannye* [Carboniferous strata of the Moscow syncline: paleomagnetic data]. *Fizika Zemli*, 2018, no. 1, pp. 172-186.

Jupp P.E. Kent J.T. Fitting smooth paths to spherical data. *Journal of the Royal Statistical Society Series*, 1987, vol. 36(1), pp. 34-46.

Michalski K., Lewandowski M. Palaeomagnetic results from the Middle Carboniferous rocks of the Hornsund region, southern Spitsbergen: preliminary report. *Polish Polar Research*, 2004, vol. 25, no. 2, pp. 169-182.

Nawrocki J. Paleomagnetism of Permian through Early Triassic sequences in central Spitsbergen: implications for paleogeography. *Earth and Planetary Science Letters*, 1999, no. 1, pp. 59-70.

Pogarskaya I.A., Gurevich E.L. *Paleomagnetizm devonskikh porod Shchpitsbergena. Paleomagnetizm i akkretsionnaya tektonika* [Paleomagnetism of the Devonian rocks of Svalbard. Paleomagnetism and accretion tectonics]. Ed. A.N. Khramov, Leningrad: VNIGRI, 1988, pp. 6-17.

Stratigraficheskiy kodeks Rossii [Russian stratigraphic code]. Izдание tret'e, St.Petersburg: Izd-vo VSEGEI, 2006, 96 p.

Stratigraficheskiy slovar' Shpitsbergena [Stratigraphic Dictionary Spitsbergen]. Editors I.S. Gramberg, A.A. Krasil'shchikov, D.V. Semevskiy. Leningrad: Nedra, 1990, 202 p.

Tektonika litosfernykh plit territorii SSSR [Tectonics of lithospheric plates in the USSR territory]. V 2 knigakh, L.P. Zonenshayn, M.I. Kuz'min, L.M. Natapov. Moscow: Nedra, 1990, 328 p.

Torsvik T.H., Lovlie R., Sturt B.A. Palaeomagnetic argument for a stationary Spitsbergen relative to the British Isles (Western Europe) since late Devonian and its bearing on North Atlantic reconstruction. *Earth and Planetary Science Letters*, 1985, no. 75, pp. 278-288.

Torsvik T.H., Smethurst M.A. Plate tectonic modeling: virtual reality with GMAP. *Computers and Geosciences*, 1999, no. 25, pp. 395-402.

Torsvik T.H., Smethurst M.A., Pesonen L.J. GMAP - geographic mapping and paleoreconstruction package (NGU rapport no. 90.019), 1990, p. 62.

Van der Voo R. The reliability of palaeomagnetic data. *Tectonophysics*, 1990, no. 184, pp. 1-9.

Watson G.S., Enkin R. The fold test in palaeomagnetism as a parameter estimation problem // *Geophysical Research Letters*, 1993, no. 20, p.2135-2138. DOI: <https://doi.org/10.1029/93GL01901>

Watts D.R. Palaeomagnetism of the Lower Carboniferous Billefjorden Group, Spitsbergen // *Geological Magazine*, 1985, vol. 122, issue 4, pp. 383-388.

Ziegler P.A. *Evolution of Laurussia. A Study in Late Palaeozoic Plate Tectonics*. Kluwer Academic Publishers, 1989, 100 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-94-009-0469-9>

© Иосифиди А.Г., 2022

