

УДК 550.384.5+551.248.1

## МАГНИТНАЯ СТРАТИГРАФИЯ ОПОРНОГО РАЗРЕЗА ОРДОВИКА СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. АНГАРЫ – ЕЩЕ ОДНО ДОКАЗАТЕЛЬСТВО СУЩЕСТВОВАНИЯ ОРДОВИКСКОГО ГЕОМАГНИТНОГО СУПЕРХРОНА

© 2012 г. В. Э. Павлов<sup>1</sup>, Р. В. Веселовский<sup>1</sup>, А. В. Шацилло<sup>1</sup>, И. Галле<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва

<sup>2</sup>Парижский институт физики Земли

Поступила в редакцию 31.01.2011 г.

В работе приводятся результаты магнитостратиграфических исследований опорного разреза ордовика юга Сибирской платформы, расположенного вблизи устья р. Рожкова (район среднего течения р. Ангары). Полученные данные уверенно указывают на существование, если не абсолютное, преобладание геомагнитного поля обратной полярности в аренигское и лланвирнское время, что еще раз подтверждает гипотезу существования ордовикского геомагнитного суперхрона Мойеро.

### ВВЕДЕНИЕ

На основании данных магнитостратиграфических исследований опорного разреза ордовика р. Мойеро в 1996 г. нами была высказана гипотеза [Gallet, Pavlov, 1996], о существовании третьего фанерозойского суперхрона – ниже-среднеордовикского суперхрона обратной полярности. Данные, полученные нами впоследствии, а также результаты работ наших коллег, в целом, как будто, подтверждали это предположение (см., например, [Гуревич и др., 2005; Родионов, Гуревич, 2010]). В то же время, в ряде восточно-европейских разрезов были обнаружены [Trench, Torsvik, 1991a; 1991b, Trench et al., 1991; Smethurst et al., 1998; Иосифиди, Храмов, 2009] некоторые особенности магнитостратиграфической записи, которые могли бы указывать на существование в отложениях пост-тремадокского нижнего ордовика некоторого количества зон прямой полярности. Для проверки существования этих зон нами были проведены дополнительные исследования магнитостратиграфии аренига и лланвирна. В качестве объекта для постановки этих исследований нами был выбран разрез ордовика среднего течения р. Ангары, выходящий на поверхность в районе устья р. Рожкова ( $\varphi = 58.5^\circ$ ;  $\lambda = 99.8^\circ$ ).

### ГЕОЛОГИЯ

Этот разрез является опорным для ордовика юга Сибирской платформы. Здесь на протяжении более 3 км вдоль левого берега реки Ангары на поверхность выходят ордовикские осадочные породы от тремадокского до карадокского возраста включительно. Залегание пород в первом приближении может быть охарактеризовано как моноклинальное с небольшими вариациями азимута и углов падения. Слои падают под углами  $5^\circ$ –

$15^\circ$  в южном - юго-восточном направлении. Ордовикские породы региона согласно со стратиграфическим перерывом перекрываются карбонатно-терригенными породами нижнесилурийской (средний-верхний лландовери) кемминской свиты и вышележащей ярской свиты. Редкие фаунистические остатки не позволяют датировать возраст последней точнее, чем силур-девон. Следующие в разрезе, практически горизонтально залегающие светлые алевролиты, песчаники и конгломераты раннекаменноугольной байеронской свиты, с угловым несогласием перекрывают ярскую и более древние свиты. Таким образом, возраст дислокаций ордовикских пород рассматриваемого региона может быть оценен как позднесилурийский или девонский.

Детальное литологическое и биостратиграфическое описание разреза Рожкова дано в статье С.А. Князева [1978] и в монографии А.В. Каныгина с соавторами (1984). Разрез подразделяется на пять свит (рис. 1): усть-кутскую (мощность более 30 м), ийскую (75 м), бадарановскую (90 м), мамырскую (130 м) и братскую (около 130 м). В течение полевых сезонов 2001 и 2003 гг. мы отобрали более 220 ориентированных образцов, представляющих стратиграфический интервал от верхней части ийской свиты до верхов братской свиты. Все опробованные свиты имеют терригенно-карбонатный состав с различным относительным вкладом терригенных и карбонатных компонент. В целом, в цвете пород преобладают красноватые оттенки, однако имеются значительные интервалы (почти все лландейло) где породы имеют преимущественно светлые и сероватые цвета. Не весь разрез хорошо обнажен. Вдоль изученного стратиграфического интервала встречаются закрытые участки, мощность которых может достигать 10 м и более. Наименее обнажен-

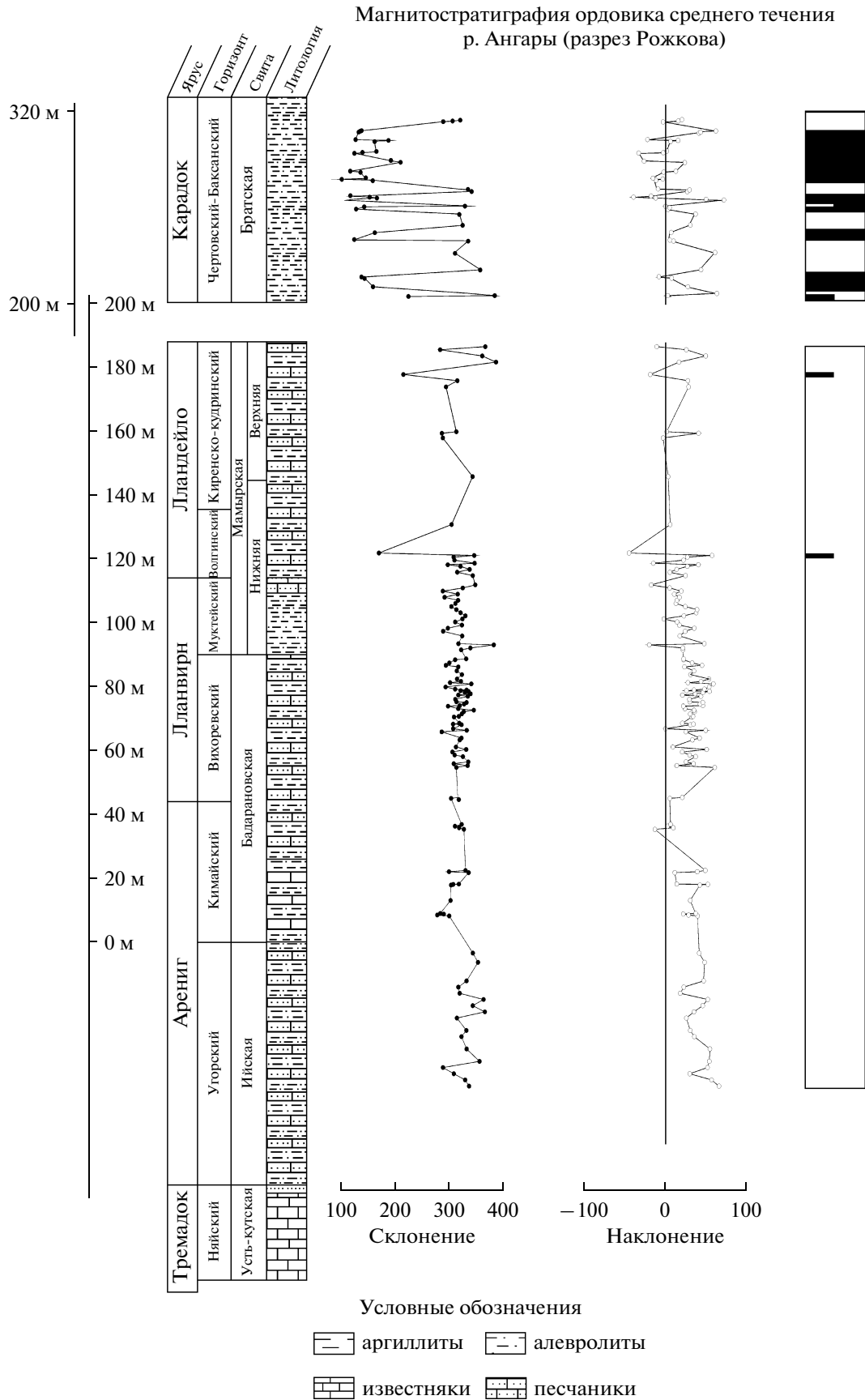


Рис. 1. Литостратиграфическая колонка ордовикских отложений среднего течения р. Ангара и магнитная стратиграфия изученного разреза по р. Рожкова.

ный интервал расположен вблизи границы лландейло и карадока (границы мамырской и братской свит). В то же время, лланвирнская часть разреза, которая составляет основной предмет настоящего исследования, обнажена относительно хорошо.

Ийская свита включает в себя, главным образом, тонко- и среднезернистые красноокрашенные песчаники, переслаивающиеся с алевролитами такого же цвета. Бадарановская свита, в своей нижней части сложена серыми и зеленовато-серыми известняками с отдельными прослоями красных алевролитов и аргиллитов. Зеленоватые, красноватые, иногда серые песчаники преобладают в верхней части бадарановской свиты. Коричневые алевролиты и, реже, пестроокрашенные мергели, также наблюдаются в этой части разреза.

Нижняя часть мамырской свиты представлена чередованием серых, зеленовато-серых, иногда красноватых алевролитов, аргиллитов и редких песчаников. Здесь же имеются отдельные слои известняков и ракушечников. В верхней части мамырской свиты вклад песчаников становится более заметным.

Братская свита состоит, главным образом, из красных аргиллитов с прослоями алевролитов.

Фаунистические остатки, найденные в разрезе Рожкова, позволяют уверенно соотнести свиты, слагающие этот разрез с Сибирской региональной биостратиграфической шкалой. Согласно данным Князева [1978] и Каныгина с соавторами [1984] усть-кутская свита соответствует няйскому региональному горизонту (рис. 1), ийская свита отвечает угорскому горизонту. Нижняя часть бадарановской свиты содержит богатый фаунистический комплекс, который позволяет уверенно отнести ее к кимайскому горизонту. Верхняя часть бадарановской свиты и нижняя часть нижнемамырской под-свиты сопоставляются соответственно с муктейским и вихоревским горизонтами региональной шкалы. Верхняя часть нижнемамырской под-свиты принадлежит волгинскому горизонту, а вернемамырская свита имеет киренско-кудринский возраст. Братская свита содержит конодонты, которые характерны для чертовского и низов баксанского горизонтов. Привязка этих горизонтов к Общей стратиграфической шкале [Каныгин и др., 1984; Kanygin et al., 1987] показана на рис. 1.

### ПАЛЕОМАГНИТНЫЙ АНАЛИЗ

Температурное размагничивание большей части образцов, представляющих отложения аренигского и лланвирнского возраста, ясно демонстрирует присутствие в составе естественной остаточной намагниченности (ЕОН) характеристической компоненты с умеренным наклонением,

северо-западным склонением и максимальными разблокирующими температурами близкими к точке Кюри гематита (рис. 2). Почти все образцы, в той или иной степени, помимо характеристической компоненты намагниченности содержат также малостабильную низкотемпературную компоненту, имеющую направление близкое к направлению современного геомагнитного поля, что позволяет рассматривать ее как современную. Имеется также некоторое количество образцов, где можно обнаружить следы присутствия третьей компоненты – промежуточной, разрушающейся в интервале температур (150–300)–(400–600)°С (рис. 2, обр. ANG-24; рис. 3, обр. ANG-70; AA-63). Степень “зашумленности” палеомагнитной записи различна для разных образцов. Имеется некоторое количество образцов с четкими, почти идеальными диаграммами Зийдервельда. В то же время достаточно часто встречаются образцы, где можно только уловить генеральную тенденцию изменения вектора намагниченности в процессе чистки. Средние направления характеристической компоненты намагниченности пород аренигского и лланвирнского возраста представлены в табл. 1. Как видно из рис. 5 и аренигское и лланвирнское средние направления на стереограмме находятся в непосредственной близости к соответствующим направлениям, пересчитанным на координаты разреза Рожкова с ранее изученных разрезов севера (р. Мойеро) и северо-запада (р. Кулюмбе) Сибирской платформы [Gallet and Pavlov, 1996; Pavlov and Gallet, 1998]. Это обстоятельство может рассматриваться как достаточно сильный аргумент в пользу того, что рассматриваемые компоненты образовались во время или вскоре после образования исследуемых пород. При этом нельзя не отметить, что угловые расстояния между соответствующими средними направлениями хоть и не намного (1–2°), но все-таки превышают критический угол [Macfadden, McElhinny, 1988] – т.е. рассматриваемые средние направления статистически значимо (на 95-% уровне доверия) различаются. Мы полагаем, что это различие обусловлено некоторым относительно небольшим вкладом в рассчитанные средние направления низкотемпературной компоненты, которую не удалось удалить полностью в процессе чистки.

Образцы возраста лландейло демонстрируют в процессе чистки очень “шумное”, часто нерегулярное поведение. В то же время среди них имеется некоторое количество образцов, где генеральный характер изменения вектора ЕОН в ходе последовательных нагревов указывает на присутствие высокотемпературной компоненты с максимальными разблокирующими температурами близкими к 670–680°С.

За исключением двух случаев (см. напр. рис. 3, обр. AA-99) эта высокотемпературная компонен-

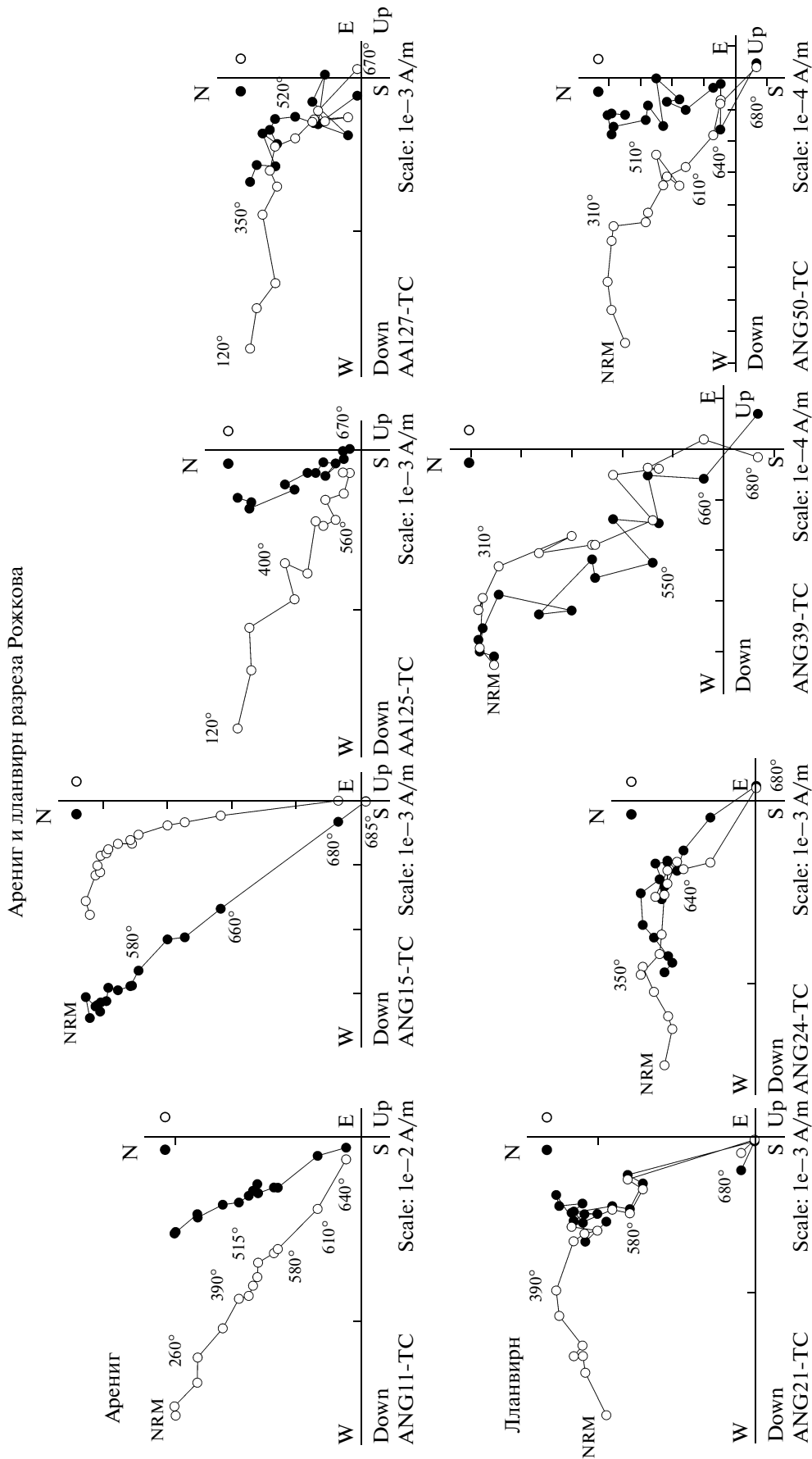


Рис. 2. Результаты магнитных чисток ордовикских отложений р. Рожкова (арениг и лланвирн).

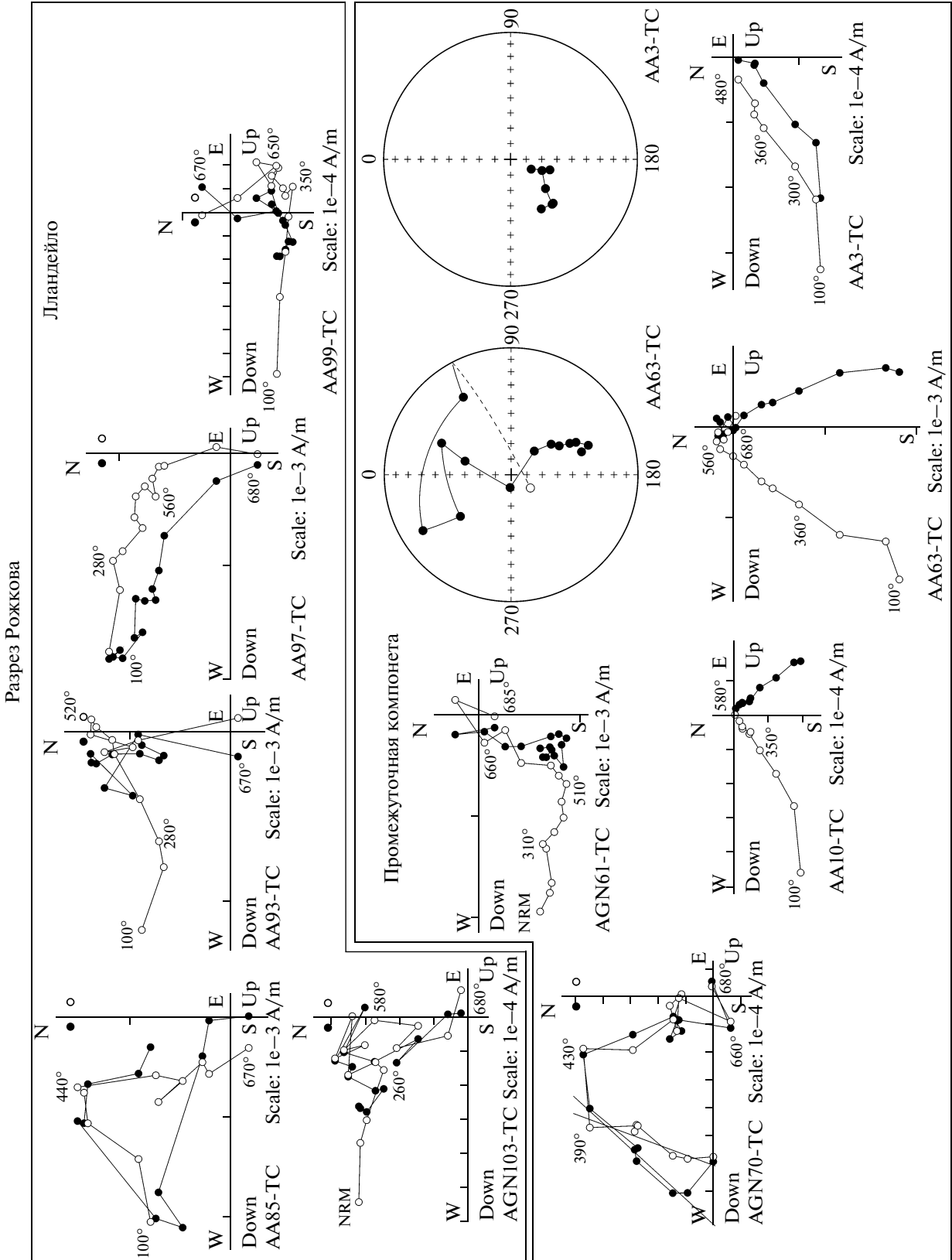


Рис. 3. Результаты магнитных чисток ордовикских отложений р. Рожкова (лландейло и промежуточная компонента).

Палеомагнитные направления и полюсы ордовикских пород разреза у устья р. Рожкова (среднее течение р. Ангара, 58.5°с.ш., 99.8° в.д.)

Возраст Объект Полярность	N	Географическая система координат				Стратиграфическая система координат			
		D	I	K	alfa95	D	I	K	alfa95
<b>Арениг</b> <i>Верхняя часть ийской и нижняя часть бадарановской свит.</i> Обратная	26	315.6	25.9	12.4	8.4	314.3	30.8	14.2	7.8
<b>Plat = -36.4; Plong = 158.2; dp/dm = 4.9/8.7</b>									
<b>Лланвирн</b> <i>Средняя и верхняя части бадарановской и нижняя часть мамырской свит.</i> Обратная	50	318.3	19.6	20.0	4.6	317.5	26.0	21.0	4.5
<b>Plat = -35.2; Plong = 153.2; dp/dm = 2.6/4.9</b>									
<b>Карадок</b> <i>Братская свита</i> <b>Прямая</b> Все Без аутлайеров <b>Обратная</b> Все Без аутлайеров Сумма (без аутлайеров)	19 16 9 8 24	152.3 143.0 338.0 331.6 145.9	6.7 4.0 16.3 18.3 -3.7	6.1 11.8 9.8 27.5 11.7	14.8 11.2 17.4 10.8 9.0	152.3 143.0 337.6 330.9 145.6	0.7 -1.9 20.1 21.0 -8.4	6.1 11.9 9.4 20.9 12.0	14.1 11.1 17.7 12.4 8.9
<b>Plat = -29.5; Plong = 140.2; dp/dm = 4.5/9.0</b>									
<b>Среднетемпературная компонента</b> (по всему разрезу)	16	191.5	43.7	7.2	14.8	188.1	39.6	6.9	15.2

Современная система координат: **Plat = -5.4; Plong = 89.4; dp/dm = 11.5/18.5;**

Древняя система координат: **Plat = -8.7; Plong = 92.2; dp/dm = 10.9/18.2;**

Примечания: N - число использованных образцов; D – склонение; I – наклонение; K – кучность; alfa 95 – радиус круга доверия; Plat, Plong – широта и долгота палеомагнитного полюса; dp/dm – длина полуосей 95%-го овала доверия.

та имеет северо-западное–северное склонение и невысокое наклонение. В оставшихся двух образцах высокотемпературная компонента имеет юго-восточное–южное склонение и соответствует, вероятно, геомагнитному полю противоположной полярности. Выделенные характеристические направления ложатся на стереограмму с довольно большим разбросом, поэтому в дальнейшем они были использованы только для определения полярности характеристической намагниченности.

Образцы, представляющие в нашей коллекции породы братской свиты, по характеру поведения ЕОН в процессе чистки могут быть разбиты на три группы. Первая группа включает образцы с нерегулярным поведением ЕОН. В этих образцах выделение стабильных компонент намагниченности

практически невозможно. Вторая группа образцов содержит некоторую промежуточную компоненту и будет рассмотрена немного позже. Третья группа объединяет образцы, где явно присутствует высокотемпературная компонента намагниченности с максимальными разблокирующими температурами 620–680°С, относительно низкими наклонениями и либо северо-западными, либо юго-восточными склонениями (рис. 4). Векторы, отвечающие этой компоненте, образуют на стереограмме два почти антиподальных кластера (рис. 5), чьи средние (после инверсии одного из них), будучи очень близки по склонению, имеют заметно различающиеся (почти на 20°) наклонения, что, очевидно, может быть объяснено неполным удалением крутой современной компоненты намагниченности. Хотя выде-

Разрез Рожкова. Карадок.

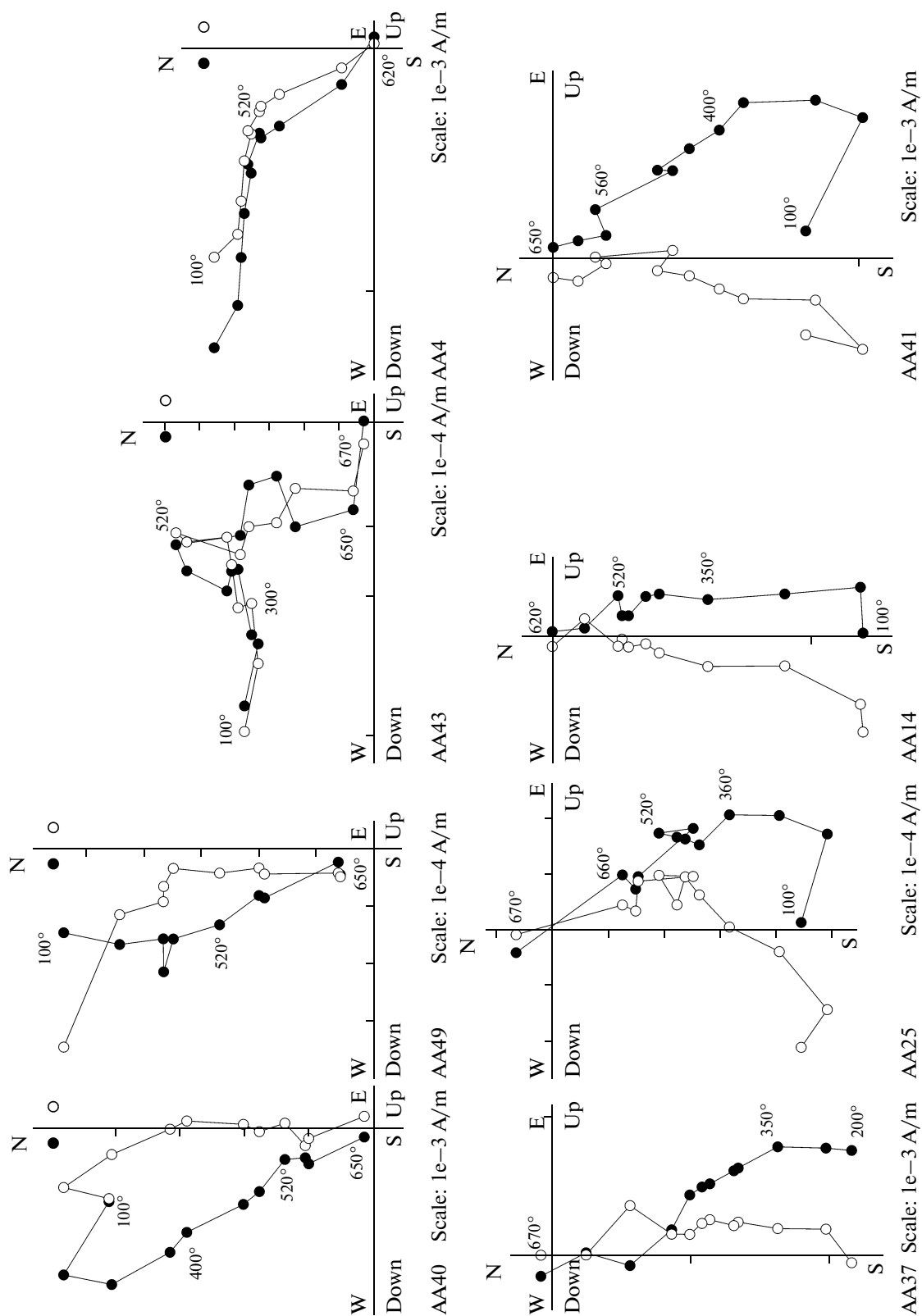
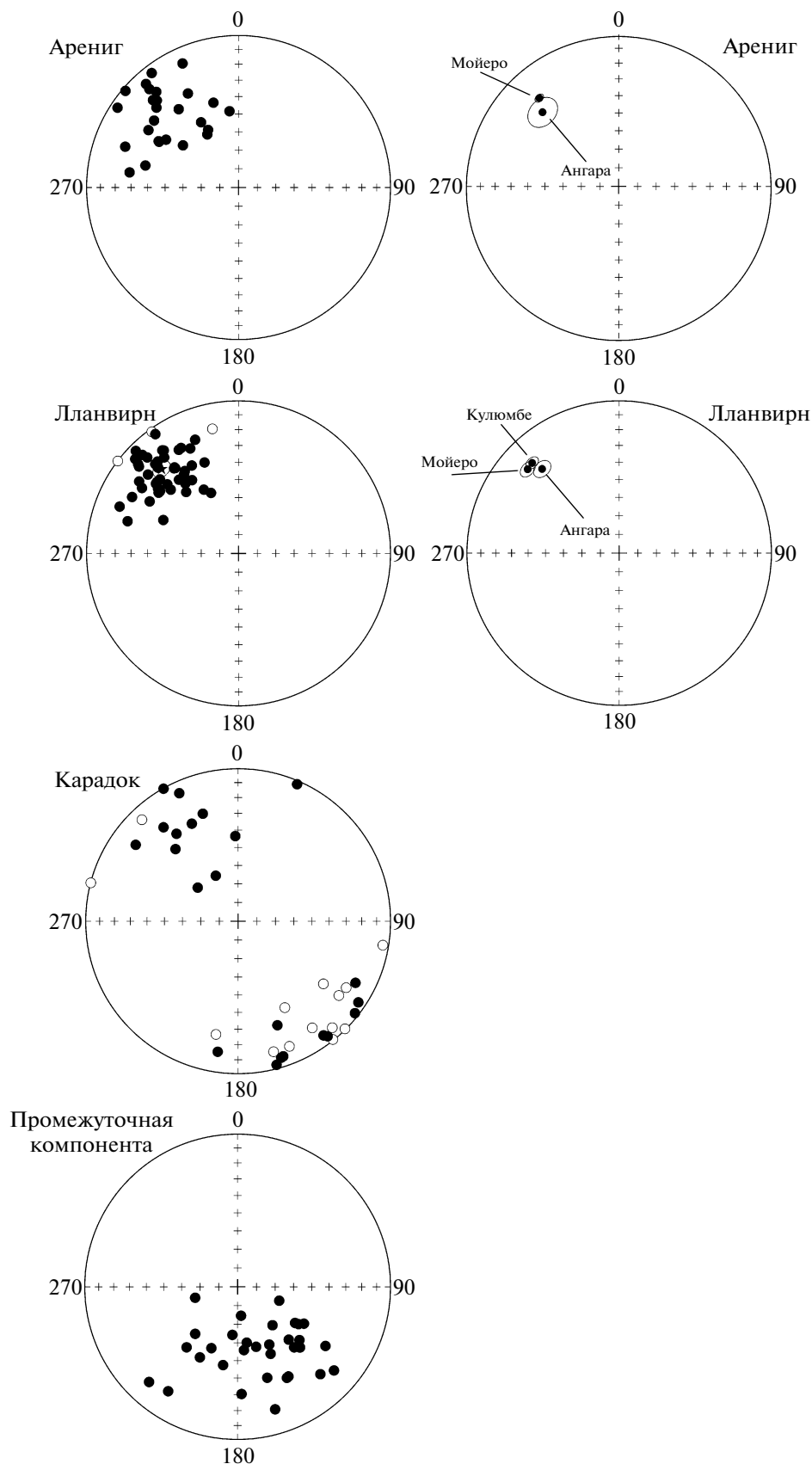


Рис. 4. Результаты магнитных чисток ордовикских отложений р. Рожкова (карадок).



**Рис. 5.** Палеомагнитные направления разреза р. Рожкова и сравнение их средних с соответствующими средними направлениями, пересчитанными с разрезов рек Мойеро и Куломбэ. Залитые кружки – проекция вектора на нижнюю полусферу, открытые – на верхнюю.



ленная компонента не проходит тест обращения ( $\gamma/\gamma_c = 21^\circ/18^\circ$ ), мы полагаем, что среднее, полученное при осреднении векторов прямой и обратной полярности, не сильно смещено относительно истинного среднего. Рассчитанный, исходя из полученного среднего направления, палеомагнитный полюс (табл. 1) лежит между полюсами лландейло и ашгилла-нижнего силура р. Мойеро [Gallet and Pavlov, 1996], что, в определенной степени, подтверждает карадокский возраст выделенной компоненты.

В значительном количестве образцов, отобранных из разреза р. Рожкова (главным образом из карадокской его части) мы наблюдаем присутствие “промежуточной” компоненты (рис. 2), спектр разблокирующих температур которой может простираться от 200–400 до 580–644°C. Иногда, вслед за “промежуточной” компонентой, на диаграммах ясно фиксируется присутствие высокотемпературной характеристической компоненты. Однако, чаще всего “промежуточная” компонента намагниченности является в образцах наиболее стабильной. Обычно, различие в спектрах разблокирующих температур между “промежуточной” и характеристической высокотемпературной компонентами, позволяет достаточно уверенно различать их. Однако в тех случаях, когда “промежуточная компонента” в конкретных образцах является наиболее стабильной, разделение этих компонент из-за возможного перекрытия их спектров значительно усложняется.

Принимая во внимание эти соображения, мы исключили образцы, допускающие неоднозначную интерпретацию, из совокупности образцов, по которым рассчитывались средние направления.

### МАГНИТНАЯ СТРАТИГРАФИЯ

Распределение зон магнитной полярности вдоль изученного разреза показано на рис. 1. Как видно из рисунка, аренигская и лланвирнская части разреза характеризуются 100%-ым преобладанием обратной полярности. Первые указания на возможность существования зон прямой полярности появляются только в лландейло, но здесь из-за низкого качества палеомагнитной записи мы не можем четко установить точное положение этих зон и их мощность. Кроме того, из-за перерыва обнаженности в разрезе Рожкова мы не можем изучить распределение зон магнитной полярности вблизи лландейло-карадокской границы. С другой стороны, в ходе настоящего исследования нам удалось получить довольно подробную магнитостратиграфическую запись карадокской части разреза. К сожалению, имеющиеся на настоящий момент биостратиграфические данные не позволяют точно определить ни положение верхней границы карадока в данном разрезе, ни границы карадокских биостратиграфиче-

ских зон. Тем не менее, есть основания считать [Князев, 1978; Каныгин и др., 1984], что изученная часть разреза лежит несколько ниже карадок-ашгильской границы, что таким образом указывает на то, что магнитостратиграфический разрез братской свиты есть отражение изменения полярности геомагнитного поля карадока.

Несмотря на некоторые пробелы в магнитостратиграфической записи разреза Рожкова, главная задача, на решение которой было направлено исследование, выполнена. Аренигская и лланвирнская части разреза, имеющие в сумме более чем 110 метровую мощность, содержат ясно прочитываемый палеомагнитный сигнал, который еще раз подтверждает, что в аренигское и лланвирское время существенно, если не абсолютно, преобладало геомагнитное поле обратной полярности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гуревич Е.Л., Храмов А.Н., Родионов В.П., Деккерс М., Федоров П.В. Палеомагнетизм ордовикских и девонских осадочных пород северо-запада Русской платформы: новые данные о кинематике Балтики в палеозое и о пермо-триасовом перемагничивании // Физика Земли. 2005. № 7. С. 48–64.
- Каныгин А.В., Москаленко Т.А., Дивина Т.А., Матюхина В.Г., Ядренкина А.Г. Ордовик западной части Иркутского амфитиатра. 1984. С. 159. Труды института геологии и геофизики СО АН СССР. Вып. 529.
- Князев С.А. Ордовикские отложения широтного течения реки Ангары // Геология и Геофизика. 1978. № 10. С. 54–61.
- Родионов В.П., Гуревич Е.Л. Опорный магнитостратиграфический разрез отложений нижнего ордовика Северо-Запада Сибирской платформы. Нефтегазовая геология. Теория и практика: электр. науч. журн. <http://www.ngtp.ru>. Вып. № 3. 2010 г. Т. 5.
- Храмов А.Н., Иосифиди А.Г. Палеомагнетизм осадочных пород нижнего ордовика и кембрия в разрезе правого берега р. Нарва: к построению модели кинематики Балтики в раннем палеозое // Физика Земли. 2009. № 66. С. 3–19.
- Gallet Y., Pavlov V. Magnetostratigraphy of the Moyero river section (north-western Siberia): constraint on the geomagnetic reversal frequency during the early Paleozoic // Geophysical J. International. 1996. V. 125. P. 95–105.
- Kanygin A., Moscalenko T., Yadrenkina A. Ordovician system of the Siberian Platform. Publication of International Union of Geological Sciences. 1987. P. 27.
- McFadden P.L., McElhinny M. Classification of reversal test in paleomagnetism // Geophys. J. Int. V. 103. P. 725–729. 1990.
- Pavlov V., Gallet Y. Upper Cambrian to Middle Ordovician magnetostratigraphy from the Kulumbe river section (northwestern Siberia) // Physics of the Earth and Planetary Interiors. 1998. V. 108. P. 49–59.