*Б.В. Буров, Н.К. Есаулова, И.Я. Жарков, П.Г. Ясонов, Д.К. Нургалиев*
*Казанский университет, Казань*
*boris.burov@ksu.ru*

# МАТЕРИАЛЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ПАЛЕОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СЕРИЙ (СЛОЕВ) ЛАМАР И МАНЗАНИТА ГВАДЕЛУПСКОГО ОТДЕЛА ПЕРМИ (Техас, США)

## Введение

В апреле 2002 г. в ходе геологических экскурсий, сопровождающих 36-ю сессию Геологического Научного Общества Америки, в Гваделупских горах и Апачи нами была отобрана небольшая коллекция ориентированных образцов из 4-х обнажений, представляющих самую верхнюю и нижнюю серии кэптенского яруса. Летом коллекция была обработана и мы посчитали, что полученные результаты могут представить методический и стратиграфический интерес для других исследователей.

Изученные выходы представляют собой предрифовые со стороны открытого моря пермские образования серий ламар и манзанита (Рис. 1А). Серия ламар изучалась по выходам северо-западной обочине дороги 2185, пересекающей горный массив Апачи (Рис. 1В), серия манзанита – по выходам северной обочины дороги 62, ведущей от национального парка в г. Эль Пасо.

В данных выходах серия ламар представлена мелко и среднеплитчатыми алевролитами и кремнистыми известняками, слабо наклоненными (10 – 15$^0$) к востоку (средний азимут падения 110$^0$). В четвертом обнажении, вскрывается аргиллит-карбонатная пачка серии манзанита. Породы средне- и мелкоплитчатые с относительно крутым падением на запад (средний азимут падения 270$^0$) с углом 25 – 30$^0$ (Рис. 2 и 3).

| Обнажение | Кол-во уровней | Номера образцов | Последовательность отбора |
|---|---|---|---|
| Обн. 1 | 16 | 25 – 40 | Сверху-вниз |
| Обн. 3 | 12 | 1 – 12 | Сверху-вниз |
| Обн. 2 | 10 | 13 – 22 | Сверху-вниз |
| Обн. 4 | 16 | 41 – 56 | Снизу вверх |
| Всего | 54 | | |

*Табл. 1. Распределение ориентированных образцов по обнажениям.*

Образцы ориентировались исходя из естественных плоскостей напластования (т.е. в древних координатах), ось Z является нормалью к плоскости напластования, ось X направлена по падению слоев. Заметим, что при отборе каждого отдельного образца азимуты падения не фиксировались и ориентировка оси X всех образцов, которая рассчитывалась исходя из направления среднего азимута падения слоев каждого из обнажений. В действительности азимуты падения пород, особенно в обнажениях серии ламар с относительно малыми углами падения, не столь хорошо выдержаны и имеют разброс в пределах 40$^0$ от среднего направления падения.

Несомненно, что столь большой азимутальный разброс ориентировки образцов должен определить повышенную дисперсию векторов Jn$^0$ по склонению и исключил возможность статистической обработки векторов и определение положения полюса. Однако, эти погрешности не исключали возможности оценить полярность древнего геомагнитного поля.

Интервал отбора проб составлял в разных случаях от 0.4 до 3 м, и мы старались включить в коллекцию наибольшее разнообразие литологических типов пород. Механическая обработка образцов проводилась в камнерезной мастерской Арлингтонского университета. Из 54-х проб было вырезано 142 кубика с размером ребра 24 мм, т.е. каждый уровень охарактеризован 2 – 3 дубликатами (табл. 1).

Полному комплексу термомагнитных чисток подвергались первые два дубликата каждой пробы. Третьи дубликаты сохранены или прошли выборочные исследования. Отметим, что результаты всех исследований с дубликатами характеризуются наиболее высокой сходимостью.

Американскими коллегами Мерлиндом и Галиной Нестелл разрезы были подробно описаны и привязаны к конкретным слоям собранные палеонтологические и палеомагнитные коллекции. Им мы выражаем благодарность за организацию нашей поездки, экскурсии, помощь в выборе и описании обнажений, в отборе, транспортировке, обработке коллекций и окончательном редактировании рукописи.

## Магнитные свойства пород

Первые результаты исследований показали, что основная масса образцов обладает относительно слабой естественной остаточной намагниченностью (Jn), которая в ходе последующих температурных обработок при 400 – 600 $^0$C изменяется в десятки раз. В некоторых случаях породы слоев ламар после воздействия высоких температур характеризуются появлением новых ферромагнитных минеральных фаз, что приводит к резкому росту величины векторов намагниченности и появлению хаотических направлений.

Магнитная восприимчивость ($\chi$) образцов пород слоев ламар слабая, а в ряде случаев отрицательная по знаку, т. е. определяется диамагнитными породообразующими минералами. Породы слоев манзанита характеризуются заметно более высокими параметрами магнитных свойств (табл. 2). Термомагнитный анализ по индуктивной намагниченности свидетельствует, что нередко (обр. 34) в составе ферромагнитных минералов пород принимают участие маггемит (420$^0$) и магнетит (580$^0$) (Рис. 4).

| Разрезы | Кол-во образцов | Jn×10$^{-6}$ A/m | $\chi$×10$^{-5}$ | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | среднее | среднее | min | max |
| Обн.1-3. (Lamar) | 65 | 0.85 | 6.9 | -1.38 | 8.23 |
| Обн.4.(Manzanita) | 24 | 5.05 | 11.6 | 1.71 | 58.8 |

*Табл. 2. Средние величины магнитных свойств пород.*

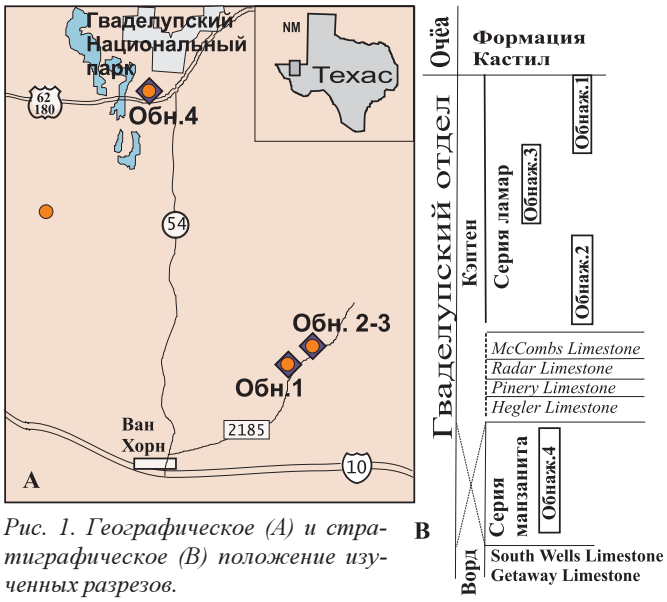



*Рис. 1. Географическое (А) и стратиграфическое (В) положение изученных разрезов.*

При повторном нагревании этой же пробы фиксируются точки Кюри магнетита и гематита. В некоторых случаях (обр. № 26) новообразование магнетита сопровождается резким увеличением намагниченности пробы.

Из всей коллекции 89 образцов прошли поэтапную температурную чистку в режимах 100 – 200 – 300 – 400 – 500 – 550 и 600$^0$ с часовой выдержкой при каждой температуре. Эксперименты проводились на стандартной установке Schonstedt TSD-1, намагниченность измерялась на криогенном магнитометре (2G Enterprises) в экранированном от земного магнитного поля помещении в палеомагнитной лаборатории Института Геофизики г. Цюриха (Швейцария).

В процессе поэтапных магнитных чисток на фоне общего падения намагниченности (Jn) на начальных и завершающих температурных интервалах для отдельных образцов отмечается некоторое ее возрастание (Рис. 5). В области температур 200 – 500$^0$ рост намагниченности (сдерживание спада), в основном, связан с раскомпенсацией древней компоненты Jn$^0$ современной вторичной компонентой, что подтверждается диаграммами Зейдервильда (Рис. 6). Более высокие температурные воздействия приводят к частичному преобразованию ферромагнитных минеральных компонентов. Так, в некоторых образцах серии ламар прослеживается диссоциация сернистых соединений железа, что приводит к появлению специфического запаха и образованию новой магнетитовой фазы, резкому увеличению намагниченности и изменению ее направления. Породы манзанитовой серии обычно помимо магнетита содержат маггемит, который при высоких температурах преобразуется в гематит. Рост намагниченности в данных случаях отсутствует, но после отжига окраска пород приобретает коричневатый оттенок.

## Направления естественной остаточной намагниченности

Естественная остаточная намагниченность всех исследованных образцов представлена векторной суммой древней Jn$^0$ и современной компонент Jn$^h$. Доля современной компоненты Jn$^h$ нередко преобладает и суммарное направление вектора Jn приближенно к современному направлению геомагнитного поля. Отдельные образцы начиная от исходного состояния и при исследовании до предельно высоких температур стабильно фиксируют или лишь современную компоненту Jn$^h$ (обр.13-15, 19-20, 48 и др.) или, наоборот, определяющую роль древней компоненты Jn$^0$ (Образцы 1.2, 3, 4, 17, 31, 36, и 54) (Рис. 5).

Результаты экспериментов свидетельствуют о том, что в температурном интервале до 200$^0$ для большинства образцов коллекции прослеживается преимущественное разрушение вторичной (современной) компоненты Jn$^h$.

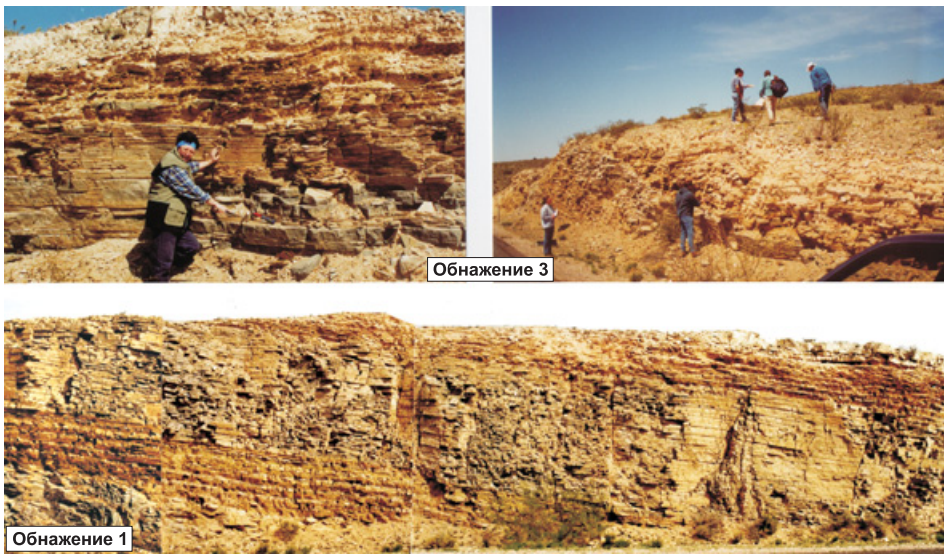



*Рис. 2. Выходы серии слоев Lamar на обочине дороги в горах Апачи.*

Разностные векторы температурного разрушения Jn в этой области температур могут быть использованы для уточнения ориентировки образцов по современному магнитному полю. Более жесткие режимы температурной чистки приводят к одновременному разрушению и

*Рис. 3. Обнажение 4 серии слоев манзанита.*

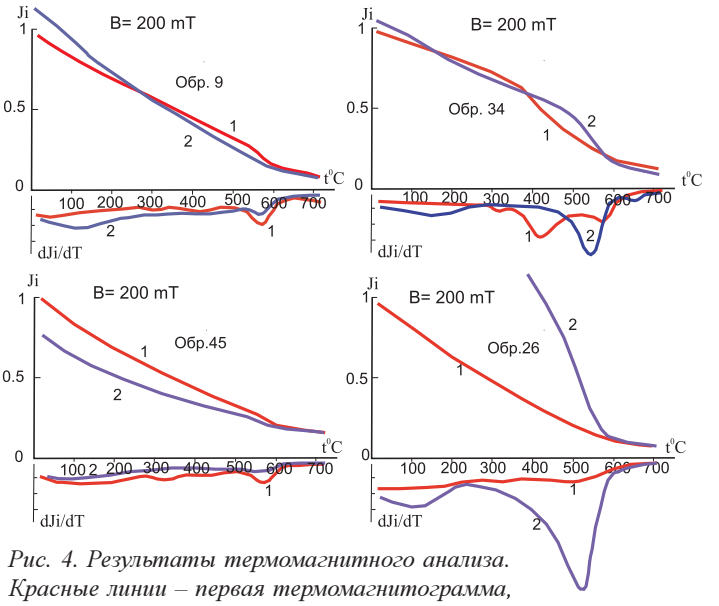



*Рис. 4. Результаты термомагнитного анализа. Красные линии – первая термомагнитограмма, синие – повторная термомагнитограмма. Ji /T – интегральная зависимость, dJi/dH – дифференциальная зависимость.*

современной, и древней компонент. Современная компонента $Jn^h$ полностью разрушается при температурах 400 – 500 – 600$^0$. В некоторых случаях описанная последовательность чистки $Jn^h$ нарушается образованием новых ферромагнитных компонент и намагниченности (Рис. 5, 6).

Для некоторых образцов коллекции не удалось выявить действительное направление древней компоненты $Jn^0$, и отнести их к прямой или обратной полярности можно лишь по прослеживаемой тенденции смещения направления вектора в ходе термочисток.

По некоторым дубликатам образцов проводились эксперименты с использованием для магнитной чистки переменных магнитных полей. Результаты показали, что образцы 1 – 3-го обнажений теряют основную часть естественной остаточной намагниченности уже при воздействии на них полей относительно малой напряженности. Разрушаются почти полностью и древняя, и современная компоненты. Образцы четвертого обнажения более устойчивы к воздействию переменных магнитных полей, однако, не из-

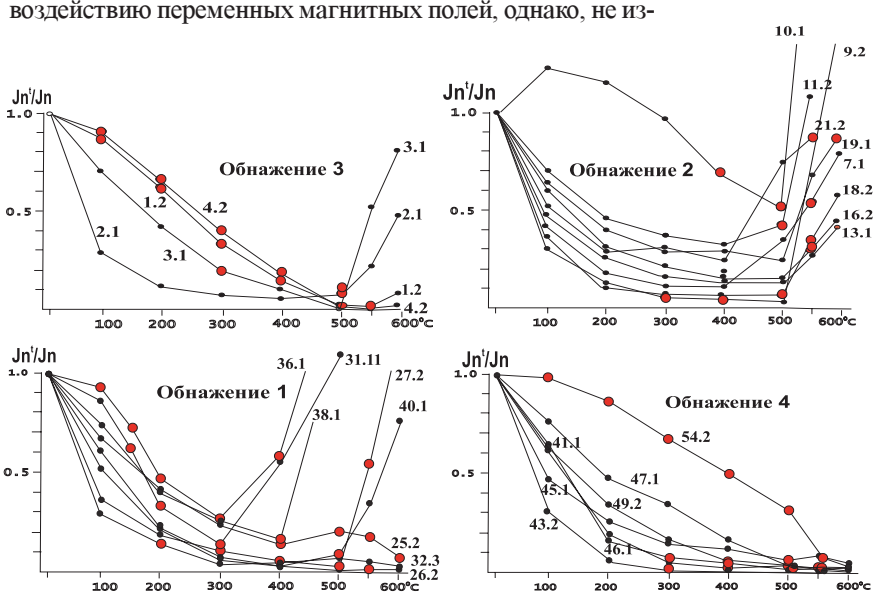



*Рис. 5. Диаграммы разрушения естественной остаточной намагниченности в ходе температурных чисток. Красным цветом показаны температурные интервалы доминирования в составе Jn древней компоненты.*

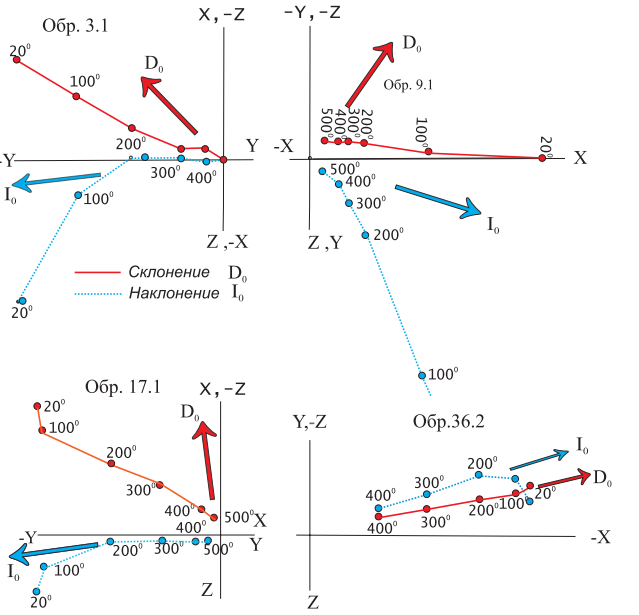



*Рис. 6. Векторные диаграммы магнитных чисток (Зейдервильда). Стрелками показаны направления результирующих чисток. Величины Jn приведены в соотношениях, относительных к начальному значению.*

бирательны ни к древней, ни к современной компонентам.

Вектора $Jn^0$ по образцам 1 – 3-го обнажений после магнитных чисток оказались сгруппированными в северо-западном и юго-восточном секторах сферы (Рис. 7). Направления векторов северо-западного сектора в большинстве случаев наклонены в нижнюю часть сферы под углом около 10$^0$ и, наоборот, направления юго-восточного сектора имеют преимущественный наклон в верхнюю часть сферы так же под углом около –10$^0$. Таким образом, обособились две области, отвечающие прямой (с-з сектор) и обратной (ю-в сектор) полярностям древнего геомагнитного поля, отличающиеся друг от друга на 180$^0$. Склонение векторов оказалось разбросанным заметно больше, чем наклонение, что связано, как указывалось выше, с относительно худшей ориентировкой образцов по оси X.

Основываясь на последовательности положения образцов в разрезе 1-3-го обнажений (Рис. 8), можно заключить, что формирование нижних слоев серии ламар протекало в начале на фоне геомагнитного поля прямой полярности, затем инверсии и завершилось в геомагнитном поле на обратной полярности. В составе коллекции образцов четвертого (манзанитового) обнажения также содержатся образцы прямой и обратной полярностей древнего геомагнитного поля, но в отличие от серии ламар в этом разрезе вектора $Jn^0$ того и другого направлений, часто перемежаются друг с другом, и выделить устойчивые магнитозоны не представляется возможным.

На стереопроекции (Рис. 9) единичные вектора $Jn^0$ соединены друг с другом снизу вверх по разрезу. В интервале с № 41 по 46 вектора меняют склонение от прямой полярности, смещаются по часовой стрелке и, описав полный круг, возвратились вновь в область прямополярного поля. Далее до образца № 49 положение вектора $Jn^0$ относительно стабилизируется в прямо

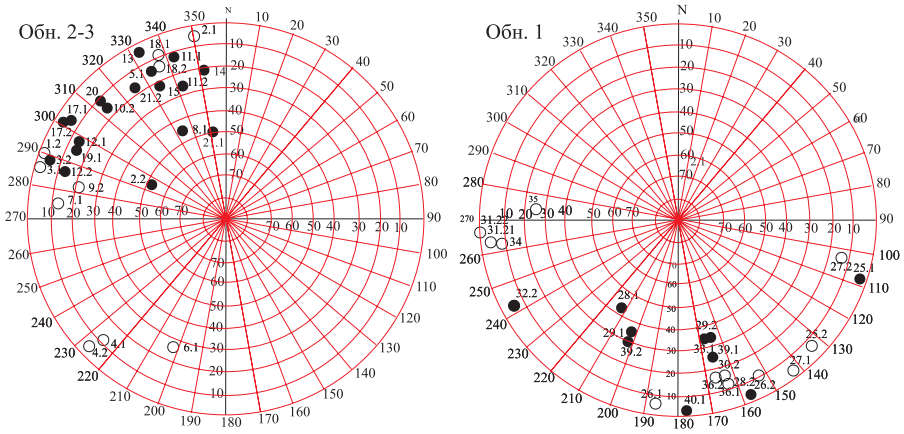



*Рис. 7. Стереопрекции векторов Jn серии ламар после термочистки. Зачерненные кружки – выход векторов в нижнюю полусферу, незачерненные – в верхнюю полусферу.*

полярной области и затем резко перебрасывается в сектор обратной полярности. Некоторая стабилизация поля обратной полярности прослеживается до № 53 образца включительно. Затем следует очередная переброска направления в прямополярную область (обр. 54) и вновь резкое его возвращение в зону обратной полярности.

Подобный неустойчивый характер направления векторов $Jn^0$, вероятнее всего, отражает действительно существующий в это время неустойчивый (переходный) режим полярности геомагнитного поля. Аналогичная нестабильность в поведении магнитного поля отмечалась нами в пограничной (переходной) области гиперзон Киама и Иллавара Волго-Камского региона.

Рекогносцировочный характер работ, относительно низкая детальность отбора ориентированных образцов, малая их представительность, отсутствие точной ориентировки и немагнитных емкостей для хранения образцов в период отбора и транспортировки коллекций, а так же другие методические недостатки не позволяют корректно провести более широкие обобщения. Однако, совершенно очевидно, что в разрезе серий ламар и манзанита присутствуют образцы пород, намагниченные древним геомагнитным полем не только обратной, но и прямой полярности, а это свидетельствует, что данные стратиграфические уровни входят в состав гиперзоны Иллавара и по возрасту отвечают, как минимум, позднетатарскому времени.

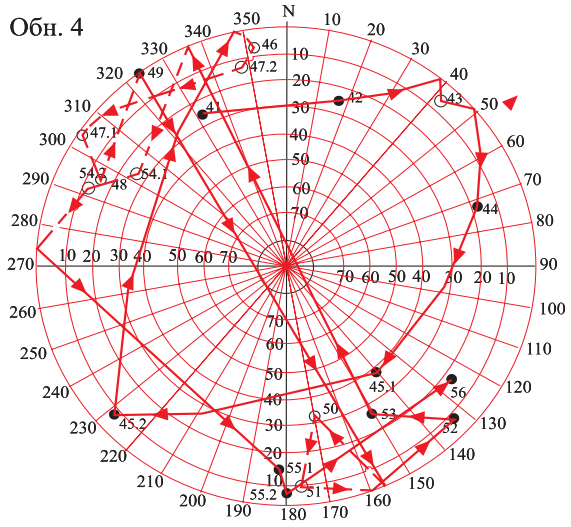



*Рис. 9. Стереопроекции векторов $Jn^0$ после температурной чистки образцов серии манзанита.*

## Заключение

Сейчас невозможно связать наблюдаемую зональность с конкретными магнитозонами сводного палеомагнитного разреза Урало-Поволжья. Необходим полный палеомагнитный разрез перми гваделупского отдела. Проведенные исследования носят рекогносцировочный характер, и они показали, что на данных разрезах имеется реальная возможность провести достаточно надежные реконструкции древнего геомагнитного поля.

Гваделупский отдел в мировой стратиграфической шкале совсем недавно получил статус стратотипического. Это было обусловлено, прежде всего, наличием здесь разнообразной и хорошо изученной морской фауны, содержащей важные для стратиграфии группы –

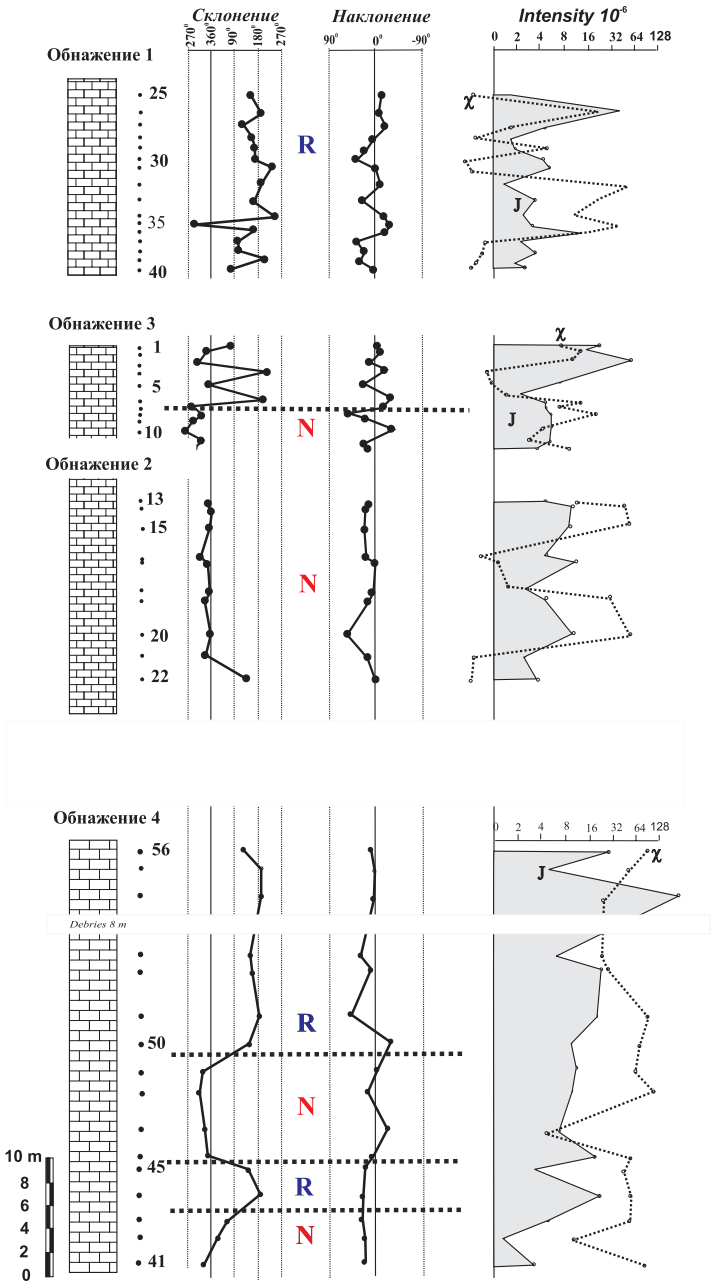



*Рис. 8. Палеомагнитный разрез обнажений слоев ламар и манзанита (штриховка отражает не литологию, а морской генезис отложений).*

| Система | Международная шкала | | Восточно-Европейская шкала | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Отдел | Ярус | Отдел | Ярус-горизонт | Магнито-зоны | |
| ПЕРМСКАЯ СИСТЕМА | ЛОПИНСКИЙ | | Татарский | Гавринский | $R_4$, $N_3$ | Иллавара |
| | | | | Вятский | $R_3$, $N_2$ | |
| | | Кэптен | | Северодвинский | $R_2$, $N_1$ | |
| | ГВАДЕЛУПСКИЙ | Ворд | Камский | Уржумский | NR, $R_1$ | Киаман |
| | | Роад | | Казанский | | |
| | | | | Шешминский | | |
| | | | | Уфимский | | |
| | | | | Соликамский | | |

*Табл. 3. Предполагаемые соотношения Гваделупской и Восточно-Европейской стратиграфических схем перми.*

аммонитов и конодонтов. Значительная часть пермских отложений мира представлена в континентальных фациях, и палеонтологическая корреляция с ними нового стратотипа, естественно, встречает большие сложности. Мы считаем, что более надежно проблема общей стратиграфической шкалы пермской системы может быть решена применением двух стратиграфических шкал - морской и континентальной, увязанных друг с другом, прежде всего, на основе общей для них истории геомагнитного поля.

Пока это первые опубликованные данные о палеомагнетизме гваделупского отдела. Имеется немало палеомагнитных материалов по разрезам лопинского отдела перми Китая и Пакистана, который протягивается на всю пермскую часть гиперзоны Иллавара. Полученные нами данные свидетельствуют, что значительная по мощности верхняя часть разреза гваделупского отдела приходится на нижнюю частью лопинского отдела.

Континентальные отложения перми наиболее хорошо охарактеризованы не только континентальной биотой, но и историей геомагнитного поля (см. литературу). Международной Пермской Стратиграфической Комиссией стратотип границы гипермагнитозон Киама-Иллавара выбран по разрезу Монастырского оврага в Среднем Поволжье. В качестве начального этапа составления общей шкалы нами предлагается совместить этот крупный, глобальный, хорошо опознаваемый рубеж геомагнитной истории с границей отделов, гваделупского и лопинского в морской шкале, камского и татарского в континентальной (табл. 3).

В последние годы в казанском морском бассейне найдена фауна аммонитов и конодонтов, что позволило сопоставить его отложения с роудским и вордским ярусами гваделупских разрезов и определиться с положением верхнего рубежа уральского отдела. Подтверждается давно высказанное предположение, что шешминский горизонт является молассовым аналогом раннеказанского моря.

В предложенной нами стратиграфической схеме шешминская моласса рассматривается в составе раннеказанских образований и вместе с казанским ярусом и уржумским горизонтом составляет камский отдел перми. В региональном плане уржумское время приходится на окончательное отступление с Русской платформы морских условий, в глобальном - завершает длительный интервал стабильного состояния геомагнитного поля обратной полярности (Киама).

Верхняя граница камского отдела, по-видимому, совпадает с нижней границей лопинского отдела по разрезам Китая и Пакистана. В верхнем (татарском) отделе перми, помимо северодвинского (магнитозоны $N_1$ и $R_2$) и вятского ярусов (магнитозоны $N_2$ и $R_3$), по нашему мнению, должен быть выделен еще один гавринский ярус - горизонт, состоящий, как и подстилающие его ярусы татарского отдела, из двух магнитозон ($N_3$, и $R_4$) со стратотипами в среднем течении р. Юг.

*Мы благодарны сотрудникам Арлингтонского университета и, прежде всего, его декану профессору Нилу Сматреск (Smatresk), профессору Мерлинду Нестелу и доктору Галине Нестел (Прониной), а также Председателю Международной Пермской Комиссии профессору Брюсу Вардлов за предоставленную возможность посетить разрезы Гваделупии и отобрать коллекцию ориентированных образцов.*

## Литература

Буров Б.В., Боронин В.П. Палеомагнитная зона Иллавара в отложениях верхней перми и нижнего триаса Среднего Поволжья. *Материалы по стратиграфии верхней перми на территории СССР.* Казань: Изд-во Казанского ун-та. 1977. 25-52.

Буров Б.В., Нургалиев Д.К., Ясонов П.Г. *Палеомагнитный анализ.* Казань: Изд-во Казанского ун-та. 1986.

Буров Б.В. Отдельные детали пермских инверсий. *Методика палеомагнитного изучения красноцветов.* Казань: Изд-во Казанского ун-та. 1979. 92-103.

Burov B.V. and Esaulova N.K. On problems of the study of the Upper Permian stratotypes. *Permophiles.* No. 27. 1995. 30-34.

Gialanella P.R., Heller F., Haag M., Burov M., Nurgaliev D., Borisov A., Jasonov P., Khasanov D., Ibragimov S. & Zharkov I. Late Permian magnetostratigraphy on the eastern Russian platform. *Geologic En Mijnbouw,* 76. 1997. 145-154.

Haag M. & Heller F. Late Permian to Early Triassic magnetostratigraphy, *Earth planet. Sci. Lett.,* 107. 1991. 42-54.

Peterson D.N. & Nairn A.E.M. Paleomagnetism of Permian red beds from the South-western United States. *Geophys. J. R. Astr. Soc.,* 23, 1971.191-206.

Irving E. & Parry L.G. *The magnetism of some Permian rocks from New South Wales,* Geophys. J. R. Astr. Soc., 7, 1963. 395-411.

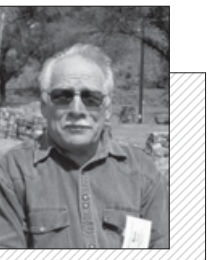
Lambert L.L., Wardlow B.R., Nestell M.K., & Nestell G.P. Lates Gwadalupian (Middle Permian) conodonts and Foraminifer from West Texas. *Micropaleontology.* 2002. In Press.

Menning M. & Jin Y.G. Comment on «Permo-Triassic magnetostratigraphy in China; the type section near Taiyuan, Shanxi province, North China», by Embleton B.J.J., McElhinny M.W., Xinghua M., Zhenkun Z. & Zheng-Xiang L., *Geophys. J. Int.,* 133. 1998. 213-216.

Molina-Garza R.S., Geissman J.W. & Van der Voo R., 1989. Paleomagnetism of the Dewey Lake Formation (Late Permian), northwest Texas: End of the Kiaman Superchron in North America. *J. geophys. Res.,* 94, 17881-17888.

Molina-Garza R.S. & Geissman J.W. Remagnetization along the Per-mian-Triassic disconformity in central New Mexico and remanence acquisition in the Moenkopi Formation, *NM Geol. Soc. Guidebook,* 50. 1999. 125-132.

*Stratotypes and Refer ens Sections of the Upper Permian in the Regions of the Volga and Kama Rivers* ("Upper-Permian Stratoypes of the Volga Region" International Symposium) Moscow. GEOS, 1998.



*Борис Владимирович Буров*
*профессор кафедры региональной геологии, заслуженный геолог РФ, заслуженный деятель науки РТ. Область научных интересов - стратиграфия верхней перми, палеомагнетизм. Автор 5 монографий и более 100 статей.*