



# ГЕОЛОГИЯ

УДК 551.1/4

## МАГНИТНЫЕ ТЕКСТУРЫ КАК ИНДИКАТОРЫ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ТИТОНСКИХ-БЕРРИАССКИХ ПОРОД ГОРНОГО КРЫМА

М. И. Багаева, А. Ю. Гужиков

Саратовский государственный университет  
E-mail: багаевami@mail.ru

Измерена анизотропия магнитной восприимчивости ~ 1300 образцов из 10 разрезов титона-берриаса Центрального и Восточного Крыма. В результате анализа магнитных текстур установлена разная степень тектонических деформаций пород, уточнено геологическое строение изученных районов.

**Ключевые слова:** анизотропия магнитной восприимчивости, магнитная текстура, Горный Крым, юра, мел, титон, берриас.

### Magnetic Structures as Indicators Some Features of Formations of Tithonian-Berriasian Rocks in the Mountain Crimea

M. I. Bagaeva, A. Yu. Guzhikov

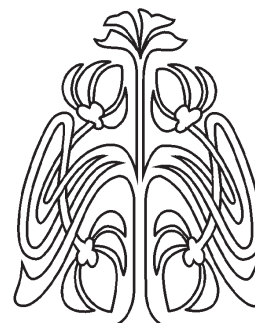
Anisotropy of magnetic susceptibility was measured in ~ 1,300 samples from 10 sections of the Tithonian-berriasian of the Central and Eastern Crimea. In consequence of the analysis of magnetic structures were found different degrees of tectonic deformation of rocks and corrected geological structure of explored area.

**Key words:** anisotropy magnetic susceptibility, magnetic structure, Mountain Crimea, jurassic, cretaceous, tithonian, berriasian

Результаты исследований магнитных текстур (МТ) горных пород широко используются зарубежными исследователями для выяснения условий формирования осадочных толщ на стадиях седиментогенеза и эпигенеза [1]. В нашей стране этой проблемой занимается пока ограниченное количество специалистов [2–4].

Чаще всего в качестве индикатора магнитной текстуры служит анизотропия магнитной восприимчивости (АМВ) – данные о магнитной восприимчивости (К) пород, измеренной по разным направлениям. Данные по АМВ образца традиционно представляются в виде трехосного эллипсоида (рис. 1) с максимальной (длинной) К1, промежуточной (средней) К2 и минимальной (короткой) К3 осями восприимчивости. Проекции К1, К2 и К3 выносятся на стереограмму в виде квадратов, треугольников и кругов соответственно (рис. 2). По значениям осей также рассчитывают многочисленные параметры, характеризующие степень анизотропии, форму зерен и другие особенности магнитной текстуры. Различные типы магнитной анизотропии могут быть индикаторами гидродинамического режима среды осадконакопления, показателями интенсивности деформаций пород и других особенностей седиментогенеза и эпигенеза [5, 6].

В настоящей статье представлены данные по АМВ титона-берриаса Горного Крыма, которые получены в 2009–2012 гг. в рамках магнитостратиграфического изучения пограничного интервала юры-мела этого региона [7, 8]. Кроме того, проведены измерения АМВ нижнемеловых образцов Центрального Крыма из палеомагнитной коллекции О. Б. Ямпольской [9], результаты которых способствовали геологической интерпретации авторских данных о магнитной анизотропии. Для



НАУЧНЫЙ  
ОТДЕЛ



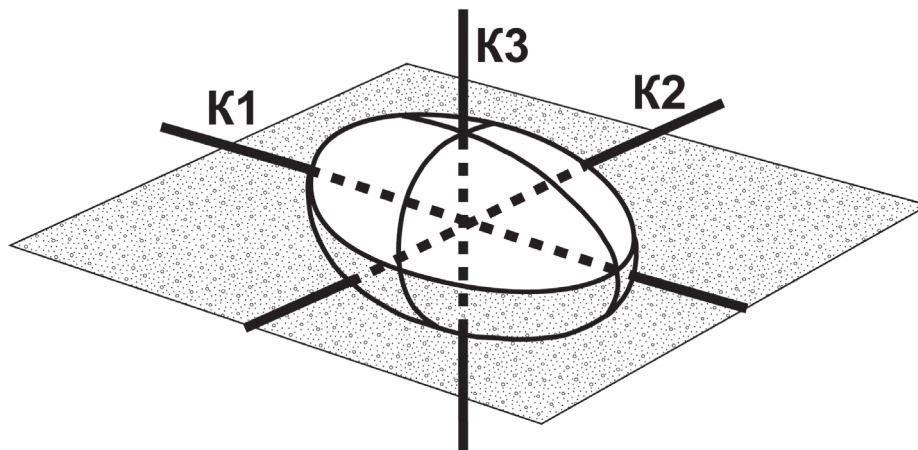


Рис. 1. Схема эллипсоида анизотропии магнитной восприимчивости

исследований АМВ использовались ориентированные образцы в виде кубиков с ребрами 2 см, измерения  $K$  выполнялись в 15 разных положениях на каппабридже МФК-1FB, анализ данных проводился с помощью программы Anisoft 4.2.

#### Объекты исследований

В Восточном Крыму (г. Феодосия и бассейн р. Тонас) изучены следующие разрезы титона-берриаса: Орджоникидзе (обнажение 2902, титон), Двукорная бухта (обнажения 2901, 2922–2924, верхний титон – нижний берриас), мыс Феодосийский и мыс Святого Ильи (обнажения 2920, 2921 и 2456 соответственно, нижний берриас), р. Кучук-Узень (обнажения 2941, 2942, нижний берриас), Заводская балка (обнажения 2900, 2925, верхний берриас) (см. рис. 2).

В Центральном Крыму на северных склонах Караби близ сел Балки и Межгорье (Белогорский район) исследовался берриасский ярус (обнажения 2940, 2943, 2944, 2947–2951) (см. рис. 2).

В общей сложности, АМВ измерена у 1340 образцов, взятых с 522 разных стратиграфических уровней титона-берриаса.

Кроме того, по нижнемеловой коллекции О. Б. Ямпольской изучена магнитная анизотропия у 145 образцов из берриаса р. Тонас, сел Балки и Пасечное Белогорского района (обнажения 2415, 2419, 2420), а также 65 образцов из баррема-апта Центрального Крыма (села Верхоречье, Партизанское и п. Марьино) (см. рис. 2).

В литологическом отношении изученные разрезы представлены преимущественно глинистыми и карбонатными отложениями. Практически все известняки слабомагнитны ( $K = 1-9 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ), магнитная восприимчивость глин варьирует в широких пределах – от 10 до  $110 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ.

#### Результаты измерений АМВ

Рассматривая материалы по всем разрезам в совокупности, каких-либо закономерностей на

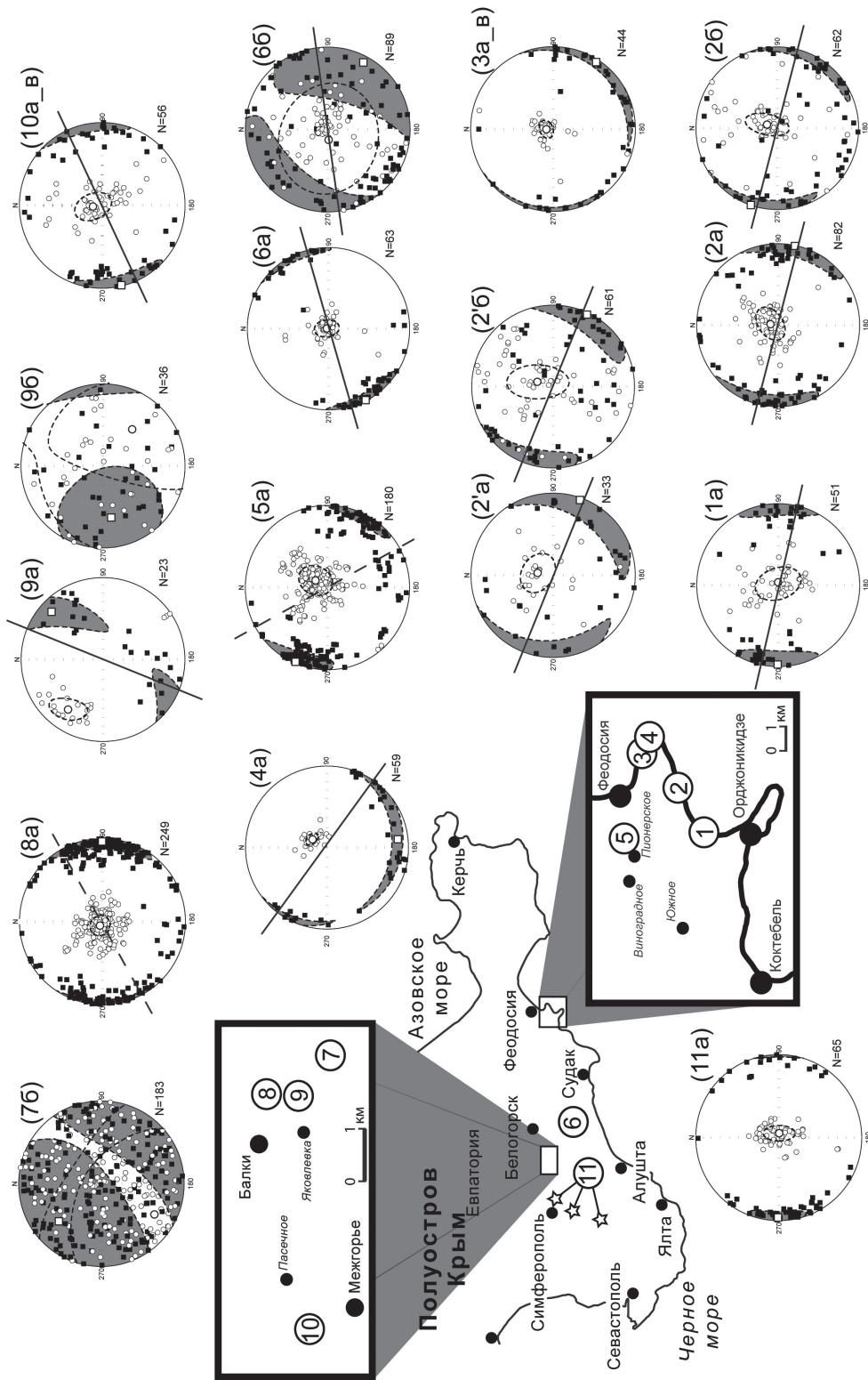
стереограммах АМВ обнаружить невозможно, но они отчетливо проступают после дифференцированного анализа магнитных текстур по различным литологическим разностям. Для всех глин характерна плоскостная анизотропия, осложненная в той или иной степени упорядоченностью длинных осей магнитных эллипсоидов в определенных направлениях (рис. 3, тип 1). Степень упорядоченности  $K1$  пропорциональна величине параметра  $L = (K1/K2) \cdot 100\%$  (lineation). По различиям в значениях  $L$  и особенностям распределения проекций коротких осей, наблюдаемых в глинах, магнитные текстуры можно разделить на несколько подтипов:

1.1. Упорядоченность длинных осей проявлена слабо, проекции коротких осей сгруппированы в центре стереограммы (см. рис. 2, стереограмма 8а). В некоторых случаях отмечается смещение среднего значения  $K3$  на  $7-17^\circ$  от центра стереограммы (см. рис. 2, стереограммы 3а\_в, 4а). Величины параметра  $L$  колеблются в пределах  $0.4-0.5\%$ .

1.2. Упорядоченность длинных осей хорошо заметна, проекции коротких осей растянуты вдоль направления перпендикулярного ориентировке  $K1$ , но средние значения  $K3$  тяготеют к центру стереограммы (см. рис. 2, стереограммы 1а, 2а, 6а). Иногда среднее значение  $K3$  смещено от центра стереопроекции (см. рис. 2, стереограмма 5а). Значения  $L$  варьируют от  $0.8$  до  $1.4\%$ .

1.3. Упорядоченность длинных осей выражена отчетливо, а проекции коротких осей группируются близко к краю стереограммы (см. рис. 2, стереограмма 9а). Величина параметра  $L$  составляет  $1.3\%$ .

Подобное деление весьма условно, потому что многие магнитные текстуры с равным успехом могут быть отнесены к разным группам, например, АМВ на стереограммах 5а и 6а (см. рис. 2) являются промежуточным случаем между подтипами 1.1 и 1.2 (рис. 3). На самом деле, все данные по глинам (см. рис. 3, тип 1) характеризуют фрагмент своеобразного «изоморфного» ряда



- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9

Рис. 2. Схемы расположения изученных разрезов и стереограммы АМВ по ним: прямые линии, проходящие через центр стереограмм, соответствуют преимуществому простиранию пластов. Цифры на схемах расположения и в номерах стереограмм соответствуют разрезам: 1 – п. Орджоникидзе; 2 – Двужорная бухта; 3 – мыс Феодосийский; 4 – мыс Святого Ильи; 5 – Заводская балка; 6 – рр. Тонас и Кучук-Узень (все Восточный Крым); 7 – овраг Ени-Сарай; 8 – обнажение 2940 у с. Балки; 9 – обнажение 2952 у с. Балки; 10 – села Межгорье и Пасечное; 11 – села Верхоречье, Партизанское и п. Марьино; условные обозначения: 1, 2 – проекции длинных (К1) и коротких (К3) осей эллипсоидов АМВ (в древней системе координат); 3, 4 – средние значения К1 и К3 соответственно; 5, 6 – овалы доверия для К1 и К3 соответственно, 7 – линии преимущественного простирания пластов (пунктиром недостоверные); 8 – местоположения разрезов титано-берриаса; 9 – месторасположения разрезов баррема-апта; а, б, в – глины, известняки, мергели соответственно

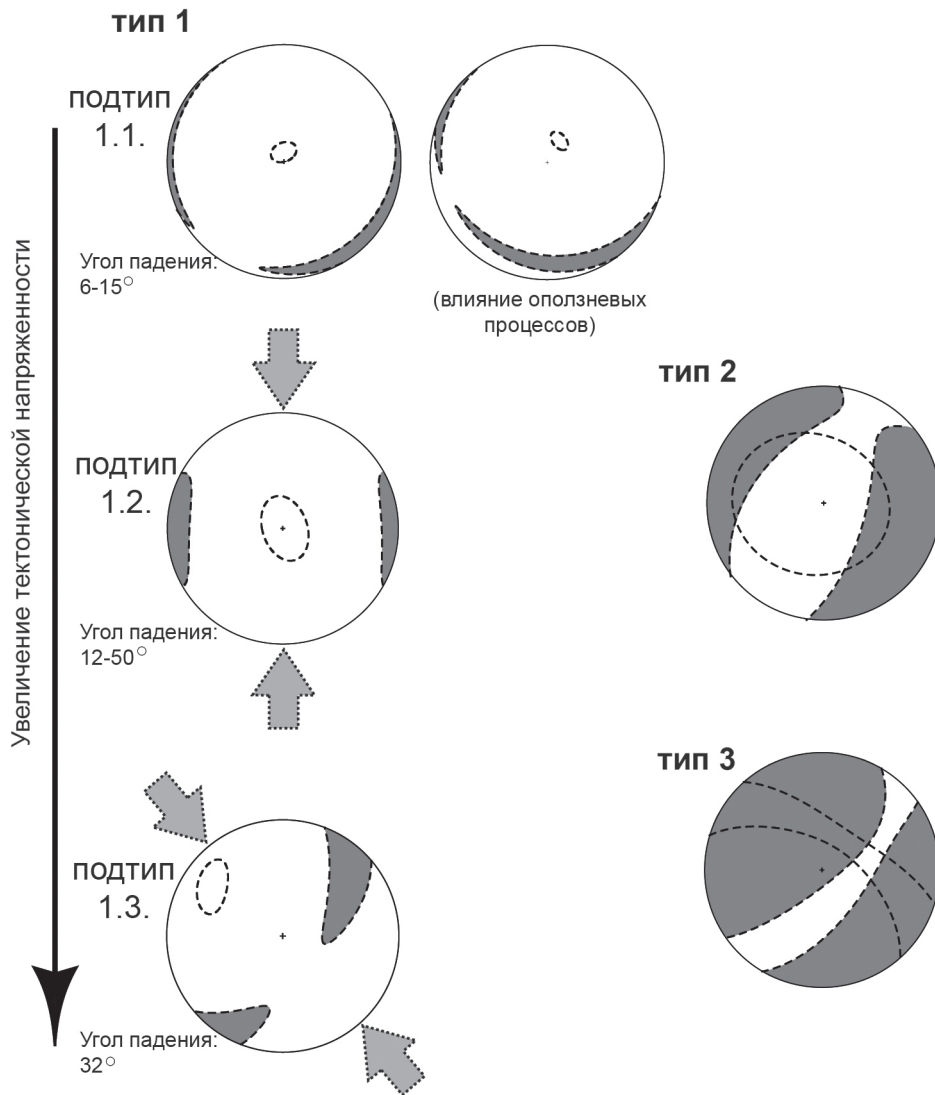


Рис. 3. Типизация магнитных текстур (стрелками показаны предположительные направления тектонических напряжений)

АМВ осадочных пород. Крайними членами этого ряда являются первичная МТ отложений (для которой характерно равномерное распределение К3 в центре, а К1 – по краю стереограммы), с одной стороны, и линейная МТ, соответствующая породам, подвергшимся максимальному тектоническому стрессу (К1 группируются в центре, а К3 упорядочиваются в направлении сжатия) – с другой [5, 6].

В изученных нами известняках, которые в отличие от пластичных глин практически не деформируются, либо проявляют слабые тенденции к упорядочиванию К1 и группированию проекций К3 близко к центру (см. рис. 2, стереограммы 2б, 2'б, 6б), выделенные нами в тип 2 (см. рис. 3), либо в них фиксируется хаотичное распределение и длинных, и коротких осей (см. рис. 2, стереограммы 7б, 9б), что соответствует типу 3 (см. рис. 3). АМВ на стереограмме рис. 2, 6б можно рассматривать как промежуточный случай между типами

2 и 3. Для того чтобы исключить подозрения об обусловленности хаотичной магнитной текстуры приборной погрешностью измерений слабомагнитных известняков (в основном  $K < 3 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ), был проведен анализ двух выборок образцов – с ошибкой измерений менее и более 5 % соответственно. Результаты теста показали, что характер МТ в этих двух выборках одинаков (рис. 4).

### Геологическая интерпретация данных АМВ

Магнитные текстуры глин, характерной особенностью которых является упорядоченность К1 (см. рис. 3, тип 1), отражают направления неотектонических деформаций и, вероятно, степень их интенсивности – от минимальной в разрезах мыс Святого Ильи, Феодосийский мыс и обнажения 2940 у с. Балки (см. рис. 2, стереограммы 3а\_в, 4а, и 8а соответственно) до максимальной в обнажении 2952 у с. Балки (см. рис. 2, стереограмма 9а).

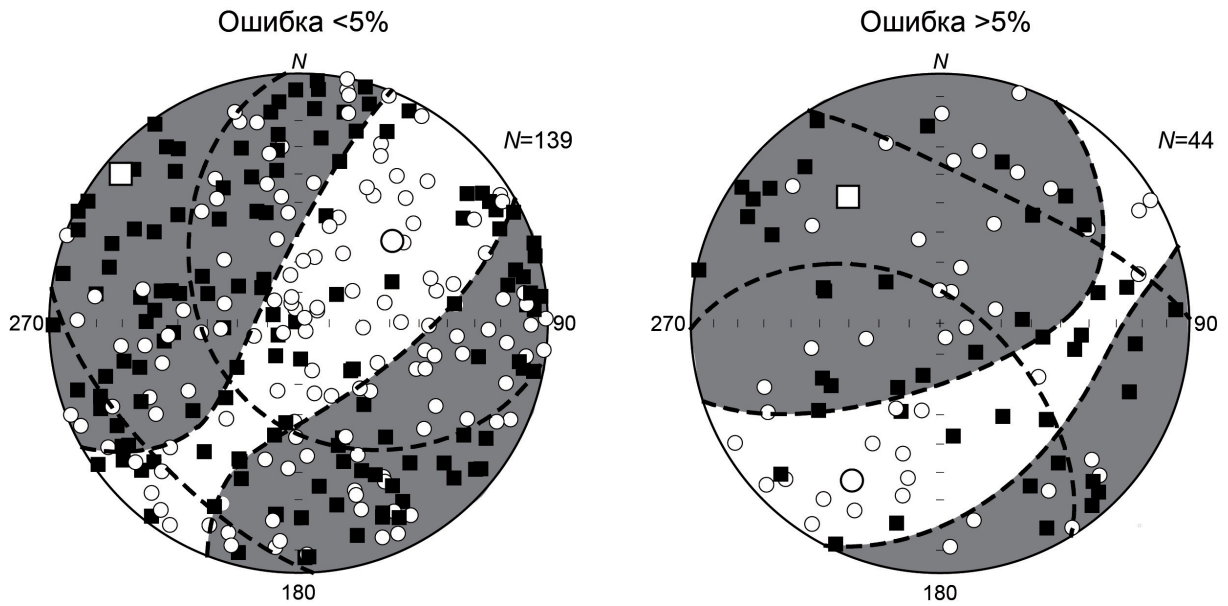


Рис. 4. Сравнение АМВ в слабомагнитных известняках с разной погрешностью (ошибкой) измерений

Магнитная текстура подтипа 1.3 (см. рис. 3) наблюдается только в обнажении 2952 близ с. Балки (см. рис. 2, стереограмма 9а) и свидетельствует о том, что породы здесь подверглись сильному локальному сжатию по оси ЮВ-СЗ [1, 10]. Этот разрез характеризуется плохим качеством палеомагнитных данных, а известняки, слагающие его верхи, кливажированы и содержат комплекс фораминифер, отличный от такового в нижележащих терригенных породах, но идентичный микрофаунистическому комплексу в более древних известняках (данные А. А. Федоровой, ФГУП «Геолоразведка», Санкт-Петербург). Совокупность перечисленных особенностей позволяет сделать вывод, что тектоническое сжатие здесь сформировало надвиговую структуру, а кливажированные известняки являются экзотической глыбой (клиппом) более древних пластов. Схожий характер АМВ имеет подтип 1.2 (см. рис. 3), наблюдаемый у глин и мергелей из разрезов Межгорье и Пасечное (см. рис. 2, стереограмма 10а\_в): проекции коротких осей растянуты вдоль большого круга (перпендикулярного к направлению, по которому ориентированы К1), но среднее значение К3 тяготеет к центру стереограммы. Это свидетельствует о том, что и здесь (так же как и в обнажении 2952) пластичные отложения подверглись локальному сжатию по линии ЮВ-СЗ, но в меньшей степени.

Глины с магнитными текстурами подтипов 1.1 и 1.2 (см. рис. 3) распространены в титоне-берриасе Центрального и Восточного Крыма, в отличие от глин подтипа 1.3 не локально, а повсеместно, что говорит об обусловленности МТ общей причиной регионального характера – коллизионным сжатием в субмеридианальном направлении. Этот вывод согласуется с общепринятыми представлениями о геодинамике

Крымского полуострова [11]. По сравнению с породами, отнесенными нами к подтипам 1.3, глины подтипов 1.1 и 1.2 в целом подверглись не столь значительным тектоническим стрессам, но степень их деформированности, скорее всего, разная. Например, АМВ нижнего берриаса у с. Балки (см. рис. 2, стереограммы 3а\_в, 4а и 8а соответственно) почти не отличается от первичных осадочных текстур. А в разрезе верхнего берриаса Заводская балка, представленном аналогичными глинами, картина магнитной анизотропии близка к подтипу 1.2, указывающему на значительную деформацию пород (см. рис. 2, стереограмма 5а).

Незначительные отклонения (на 7–17°) средних значений К3 от центра (см. рис. 2, стереограммы 3а\_в, 4а, 5а) могут быть связаны с неучтенным наклоном поверхности рампа, на которой накапливался осадок [8], оползневыми смещениями [12], неточным определением элементов залегания либо с совокупностью этих факторов.

До некоторой степени исключением из отмеченных выше закономерностей являются глины из верхов разреза Двужорная бухта (см. рис. 2, стереограмма 2'а), характеризующиеся весьма слабой упорядоченностью осей магнитных эллипсоидов. Возможно, это связано с диагенетическими деформациями вследствие сползания нелитифицированного глинистого осадка по пологому склону рампа [8, 13], обусловившими хаотичное распределение К3, которое было частично ликвидировано неотектоническими сжатиями.

В пользу неотектонических движений как главного фактора, определившего облик магнитных текстур глин, свидетельствуют:

– примерное совпадение направлений, вдоль которых ориентированы К1, с преимущественным простираем слоев (см. рис. 2). Отклонения от



этой закономерности в Заводской балке и обнажении 2940 у с. Балки (см. рис. 2, стереограммы 5а, 8а), возможно, связаны с неточностями в определении элементов залегания, ввиду отсутствия твердых разностей слоев с четко выраженными поверхностями напластования. Применительно к разрезу мыс Феодосийский про преимущественное простирание пластов говорить не приходится, потому что направления их падений при субгоризонтальном (до  $10^\circ$ ) залегании очень разные;

– прямая связь степени упорядоченности К1 с углами падения пластов в подтипе 1.1: слабая анизотропия характерна для субгоризонтального залегания с углами падения от  $6$  до  $15^\circ$  (см. рис. 2, стереограммы 3, 4, 8), а явно выраженной анизотропии К1 соответствуют наклоны пластов  $12$ – $50^\circ$  (см. рис. 2, стереограммы 1, 2а, 9а, 10);

– АМВ, аналогичная подтипу 1.2, проявляется

на стереограммах, соответствующих барремским-аптским глинам (см. рис. 2, стереограмма 11), что исключает версию об обусловленности магнитных текстур позднекиммерийской складчатостью в конце берриасского века.

Хаотичное распределение осей эллипсоидов магнитной восприимчивости в нижнеберриасских известняках Центрального Крыма (см. рис. 2, стереограммы 7б, 9б), скорее всего, связано с образованием магнетита в биотурбациях, которыми изобилуют карбонатные породы в изученном разрезе. Биогенный магнетит содержится в организмах многих ракообразных [14], кроме того, биотурбации могут заселяться магнетитпродуцирующими бактериями [15]. Произвольная конфигурация ихнофоссилий и их неравномерное распределение в объеме образца (рис. 5) предопределяют хаотичный характер магнитной текстуры.

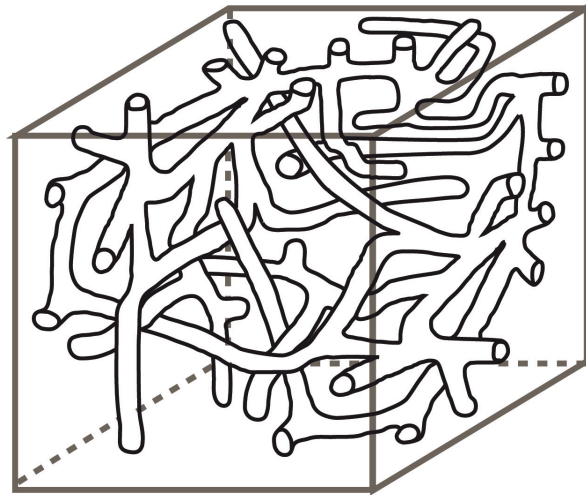


Рис. 5. Схематичное изображение биотурбированного образца

Титонские-нижнеберриасские известняки в разрезах Двужорная бухта и рр. Тонас и Кучук-Узень (Восточный Крым) обнаруживают хотя и не столь выраженную как в глинах, но все же заметную тенденцию к упорядоченности длинных осей магнитных эллипсоидов (см. рис. 2, стереограммы 2б, 2'б, 6б,г), не выявленную в известняках Центрального Крыма. Возможно, этот эффект обусловлен более активными тектоническими процессами в Восточном Крыму, но пока нельзя исключить и других вариантов интерпретации магнитной анизотропии известняков Восточного Крыма (например, турбидитную природу магнитной текстуры).

### Заключение

Массовые данные по анизотропии магнитной восприимчивости титона и нижнего мела Горного Крыма являются первыми материалами подобного рода для этого региона. Проведенный нами качественный анализ магнитных текстур,

очевидно, не исчерпал информационного потенциала полученных нами сведений, но уже позволил получить нетривиальные геологические результаты, а именно:

1) выявить по данным о магнитной анизотропии, в сочетании с микрофаунистическими данными, существование неизвестного ранее дизъюнктивного нарушения (клиппа), уточнив тем самым геологическое строение исследуемого района (близ с. Балки) Центрального Крыма;

2) определить направления деформаций пород в разных районах горного Крыма вследствие тектонических подвижек;

3) установить факт отражения биотурбаций в магнитной анизотропии, что особенно актуально для обоснования древней природы намагниченности при проведении палеомагнитных исследований;

4) обосновать неотектонический возраст последней деформации титонских-берриасских слоев Центрального и Восточного Крыма.



Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-05-311152 мол\_а) и Минобрнауки России в рамках базовой части (государственная регистрация № 1140304447, код проекта 1582) и в сфере научной деятельности по заданию № 1757.

### Библиографический список

1. Tarling D. H., Hrouda F. The magnetic anisotropy of rock. L., 1993. 217 p.
2. Матасова Г. Г., Казанский А. Ю., Зыкина В. С. Анизотропия магнитной восприимчивости лессово-почвенных отложений (на примере опорного разреза Белово, Западная Сибирь) // Физика Земли. 2004. № 2. С. 50–65.
3. Matasova G. G., Kazansky A. Yu. Magnetic properties and magnetic fabrics of Pleistocene loess/palaeosol deposits along west-central Siberian transect and their palaeoclimatic implications // Magnetic Fabric : Methods and Applications. Geological Society, London, Special Publications. 2004. № 238. P. 145–173.
4. Попов В. В., Журавлев А. В. Использование анизотропии различных магнитных параметров для определения направления сноса материала при изучении турбидитных потоков // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2012. Т. 7. № 1. URL : [http://www.ngtp.ru/rub/2/11\\_2012.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/2/11_2012.pdf) (дата обращения : 25.11.2013).
5. Chadima M. Magnetická anizotropie hornin (stručný přehled a využití v geologii). 2008. URL : <http://www.sci.muni.cz/~chadima/geomagnetismus/anizotropie2.pdf> (дата обращения : )
6. Borradaile G. J., Henry B. Tectonic applications of magnetic susceptibility and its anisotropy // Earth-Science Reviews. 1997. № 42. P. 49–93.
7. Аркадьев В. В., Багаева М. И., Гужиков А. Ю., Маникин А. Г., Перминов В. А., Ямпольская О. Б. Био- и магнитостратиграфическая характеристика разреза верхнего берриаса «Заводская балка» (восточный Крым, Феодосия) // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. Геология. География. 2010. Т. 7, № 2. С. 3–16.
8. Гужиков А. Ю., Аркадьев В. В., Барабошкин Е. Ю., Багаева М. И., Пискунов В. К., Рудько С. В., Перминов В. А., Маникин А. Г. Новые седиментологические, био- и магнитостратиграфические данные по пограничному юрскому – меловому интервалу Восточного Крыма (г. Феодосия) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2012. Т. 20, № 3. С. 35–71.
9. Ямпольская О. Б., Барабошкин Е. Ю., Гужиков А. Ю., Пименов М. В., Никульшин А. С. Палеомагнитный разрез нижнего мела Юго-Западного Крыма // Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геология. 2006. № 1. С. 3–15.
10. Lanza R., Meloni A. The Earth's Magnetism : An Introduction for Geologist. Springer. 2006. 278 p.
11. Никишин А. М., Болотов С. Н., Барабошкин Е. Ю., Брунэ М. – Ф., Еришов А. В., Клутинг С., Конаевич Л. Ф., Назаревич Б. П., Панов Д. И. Мезозойско – кайнозойская история и геодинамика Крымско – Кавказско – Черноморского региона // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4, Геология. 1997. № 3. С. 6–16.
12. Новик Н. Н., Борисенко Л. С., Гук В. И., Люльев Ю. Б., Сидоренко Е. П. Оползни района г. Феодосия // Геологический журн. 1985. Т. 45, № 4. С. 110–117.
13. Багаева М. И., Гужиков А. Ю. Отражение в анизотропии магнитной восприимчивости (AMS) условий формирования пород нижнего мела Горного Крыма // Меловая система России и ближнего зарубежья : проблемы стратиграфии и палеогеографии / под ред. Е. Ю. Барабошкина, Н. А. Бондаренко, К. Е. Барабошкина. Краснодар, 2012. С. 28–30.
14. Баскирк Р. Е., О'Брайен У. П. мл. Остаточная намагниченность и реакции на магнитное поле у ракообразных // Биогенный магнетит и магниторецепция. Новое о биомагнетизме : в 2 т. / пер. с англ. ; под ред. Дж. Киршвинка, Д. Джонса, Б. Мак-Фаддена. М., 1989. Т. 2. С. 123–146.
15. Stolz J. F., Chang S. B. R., Kirschvink J. L. Magnetotactic bacteria and single-domain magnetite in hemipelagic sediments // Nature. 1986. Vol. 321. P. 849–851.

УДК [551.83:551.735.1](470.44)

## ТЕРРИГЕННО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БОБРИКОВСКОГО ГОРИЗОНТА САРАТОВСКОГО ЗАВОЛЖЬЯ: ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

О. П. Гончаренко, С. В. Астаркин<sup>1</sup>, Ю. А. Писаренко<sup>2</sup>

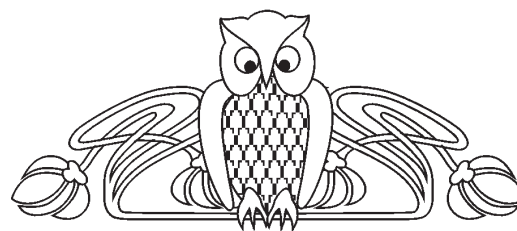
Саратовский государственный университет

<sup>1</sup> Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть», г. Тюмень

<sup>2</sup> Нижне-Волжский научно-исследовательский институт геологии и геофизики, Саратов

E-mail: sv.astarkin@rambler.ru

Приведена терригенно-минералогическая характеристика бобриковского горизонта в пределах Саратовского Заволжья на примере Березовской группы поднятий. Установлено ка-



чественное и количественное изменение состава минералов тяжелой фракции по разрезу. Отсутствие резких, скачкообразных изменений всех характеристик вещественного состава свидетельствует об относительной непрерывности разреза. На основании изучения минерального состава выделены терригенно-минералогические ассоциации для бобриковских отложений. Выявлены основные источники сноса, контролирующие состав терригенно-минералогических ассоциаций и их изменение.

**Ключевые слова:** терригенно-минералогические ассоциации, бобриковский горизонт, обстановки осадконакопления, источники сноса, Саратовское Заволжье.