

УДК 551.763.3/[550.384.5:550.384]

# МАГНИТОСТРАТИГРАФИЯ ОПОРНОГО РАЗРЕЗА ВЕРХНЕГО МЕЛА РАЙОНА КАВКАЗСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД (ПОДКУМСКИЙ КАРЬЕР)

© 2025 г. А. Ю. Гужиков<sup>1,\*</sup>, Е. Ю. Барабошкин<sup>2,3</sup>, Н. В. Кравцов<sup>1</sup>,  
М. А. Устинова<sup>3</sup>, Н. А. Ртищев<sup>2,3</sup>, С. А. Землянский<sup>1</sup>

Представлено академиком РАН К.Е. Дегтяревым 24.02.2025 г.

Поступило 25.02.2025 г.

После доработки 28.02.2025 г.

Принято к публикации 03.03.2025 г.

По результатам палеомагнитного изучения, являющихся частью комплексных био-, хемо- и магнитостратиграфических исследований верхнего мела Северного Кавказа, в разрезе Подкумский карьер близ г. Ессентуки выявлены аналоги магнитных хронов С34п и С33г. Благодаря этому в разрезе проведена граница сантона–кампана, по аналогии с лимитотипом кампанского яруса Боттачione (Италия) и обоснован раннекампанский возраст отложений, по аналогии с опорным разрезом кампана с. Кудрино (Крым). Высокое палеомагнитное качество делает Подкумский карьер уникальным разрезом верхнего мела в магнитостратиграфическом отношении и перспективным объектом для надёжных определений палеомагнитных полюсов и исследований тонкой структуры позднемелового геомагнитного поля.

**Ключевые слова:** верхний мел, сантон, кампан, магнитостратиграфия, Северный Кавказ

**DOI:** 10.31857/S2686739725060031

Разрез верхнего мела, вскрытый в борту заброшенного Подкумского карьера, находится на левом борту долины р. Подкумок близ северной окраины с. Подкумок Предгорного района Ставропольского края между гг. Кисловодск и Ессентуки (рис. 1). Структурно разрез приурочен к северному краю Северокавказской моноклинали, территория которой в меловом периоде представляла собой южную окраину Скифской плиты, а в альпийскую эпоху складчатости испытала поднятие. В карьере вскрываются известняки верхнего мела (сеноман–кампан), видимой мощностью более 100 м, залегающие с перерывом, но без видимого углового несогласия, на глинах верхнего альба (рис. 2).

В мае 2024 года в рамках комплексных стратиграфических исследований верхнего мела



Рис. 1. Схема расположения изученных разрезов

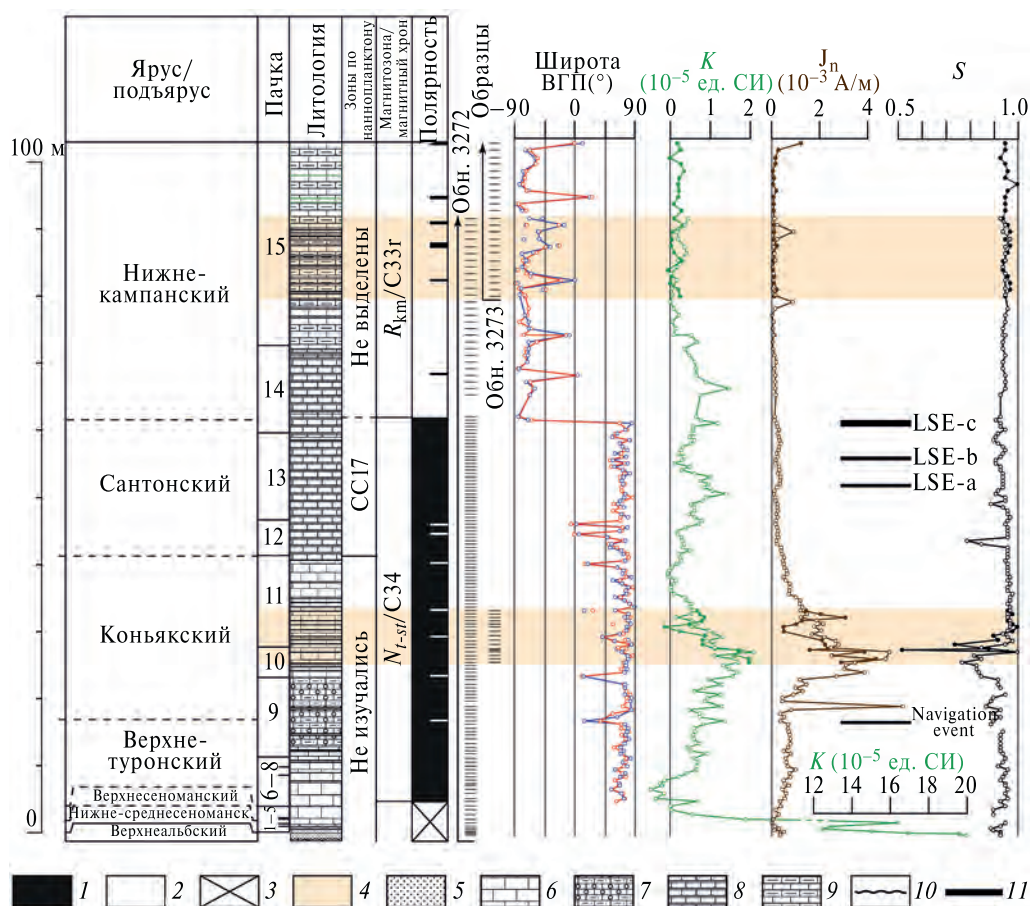
Предкавказья проведено опробование разреза, сопровождавшееся детальным геологическим описанием и сбором макрофаунистических находок (белемниты, иноцерамы, ежи). Со 181 уровня по системе “образец в образец” взяты пробы

<sup>1</sup>Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, Саратов, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>3</sup>Геологический институт Российской академии наук, Москва, Россия

\*E-mail: aguzhikov@yandex.ru



**Рис. 2.** Магнитостратиграфический разрез верхнего мела Подкумский карьер. ВГП – виртуальный геомагнитный полюс по результатам размагничивания температурой (красный) и переменным полем (синий).  $K$  – объёмная магнитная восприимчивость,  $J_n$  – естественная остаточная намагниченность, параметр  $S = -J_{r(-300)}/J_{rs}$  (где  $J_{r(-300)}$  – остаточная намагниченность после воздействия полем 300 мТл, обратным направлению поля насыщения,  $J_{rs}$  – остаточная намагниченность насыщения). 1, 2 – геомагнитная полярность прямая (1) и обратная (2); 3 – отсутствие данных о полярности; 4 – интервалы разреза, опробованные с перекрытием. Литология: 5 – глауконит-кварцевые песчаники, 6 – фораминиферовые известняки, 7 – кальцисферовые известняки с алевроитовой примесью, 8 – частое чередование фораминиферовых известняков с тонкими прослоями глин, 9 – чередование известняков и глинистых известняков, 10 – поверхности размыва, 11 – интервалы разреза, соответствующие экскурсам  $\delta^{13}C$

для микропалеонтологического (бентосные и планктонные фораминиферы, наннопланктон, диноцисты), изотопного ( $\delta^{13}C$ ,  $\delta^{18}O$ ), петрографического, петро- и палеомагнитного анализов. К настоящему времени выполнены геологическое описание разреза и некоторые макрофаунистические определения, получены микропалеонтологические (наннопланктон), палеомагнитные и геохимические данные.

**Строение разреза и палеонтологические находки.** Опробование разреза проведено в двух обнажениях – 3272 (на 158 уровнях) и 3273 (на 23 уровнях) (см. рис. 1). Координаты начала и конца опробования в обн. 3172 –  $43^{\circ}58'26.1''$  с.ш.,  $42^{\circ}45'54.9''$  в.д. и  $43^{\circ}58'28.5''$  с.ш.,  $42^{\circ}46'3.9''$  в.д. соответственно, в обн. 3173 –  $43^{\circ}58'28.9''$  с.ш.,  $42^{\circ}45'56.5''$  в.д. (начало) и  $43^{\circ}58'28.8''$  с.ш.,

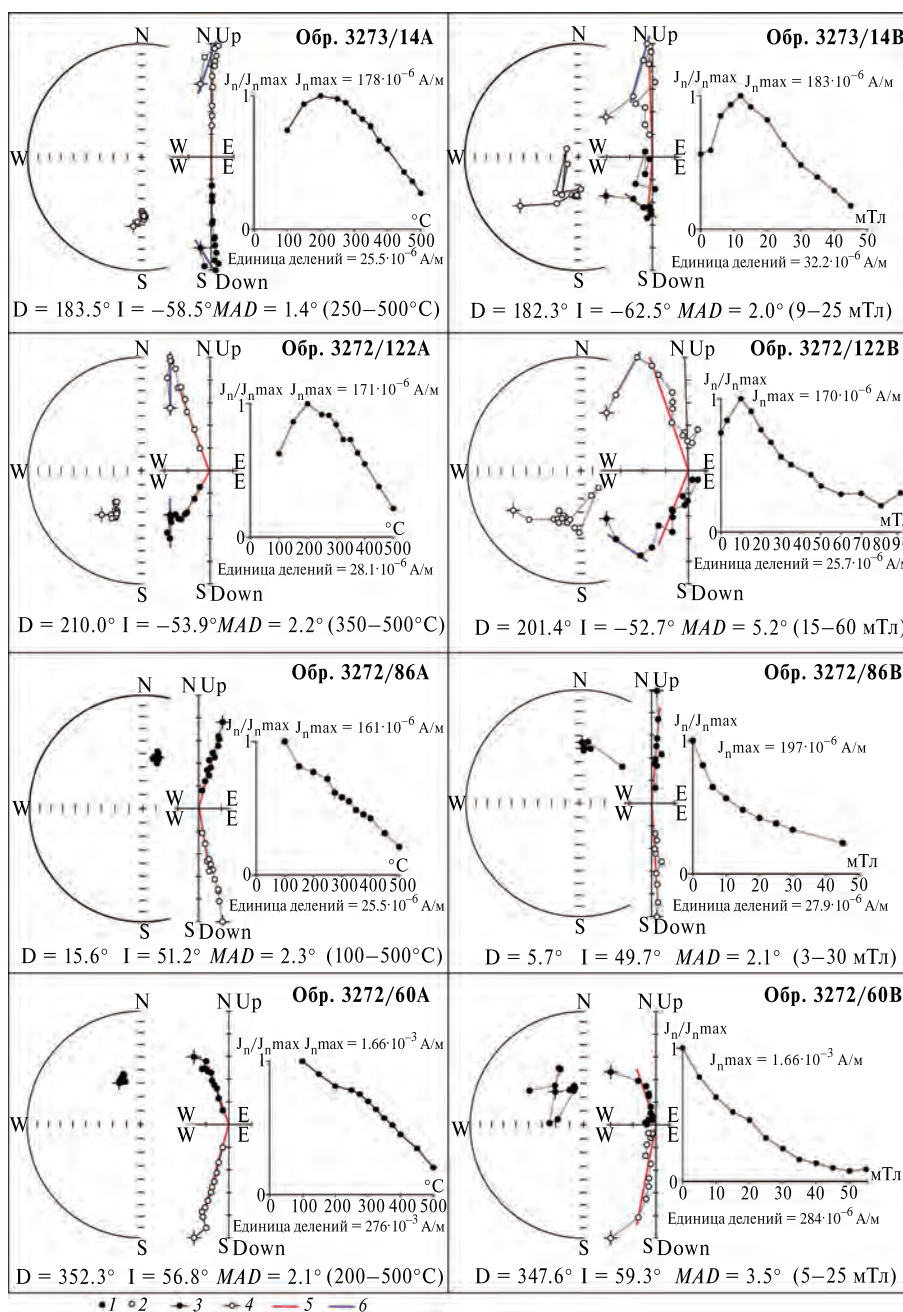
$42^{\circ}45'54.6''$  в.д. (конец). Нижняя половина обн. 3273 перекрывается с верхами обн. 3272, а верхняя половина обн. 3273 надстраивает разрез на 11.5 м (см. рис. 2).

Все пласты полого падают на север (азимут падения  $9^{\circ}$ , угол падения  $5^{\circ}$ ), но в обн. 3273 за счёт “отседания” блоков пород от стенок карьера, углы падения увеличиваются до  $6-8^{\circ}$ , а азимут падения варьирует от СЗ до восточных и ЮВ-направлений.

В разрезе кварц-глауконитовые песчаники и песчаные известняки сеноманского яруса (пачки 1–3) сильно сконденсированы, содержат несколько уровней с ниже-среднесеноманскими белемнитами *Neohibolites ultimus* (d'Orb.), иноцеррами *Inoceramus virgatus* Schluet., *I. pictus* (J. de C. Sow.). Нижний турон отсутствует [3].

Отложения верхнего турона и коньяка (пачки 6–11) представлены белыми планктоногенными известняками с крупными стилолитами, в средней части розоватыми, с остатками иноцерамов *Cremnoceramus*. Границы туронского и коньякского ярусов намечены с помощью геохимических данных (стабильные изотопы  $\delta^{13}\text{C}$ ).

Сантонский интервал (пачка 12 – нижняя часть пачки 14) сложен плитчатыми известняками с тонкими прослоями глин, практически без стилолитов и иноцерамов *Cataceramus*. Выше лежащий разрез (верхняя часть пачки 14 – пачка 15) относится к кампанскому ярусу и представлен в подошве плитчатыми известняками, которые



**Рис. 3.** Результаты компонентного анализа данных измерений на SQUID после размагничивания температурой (слева) и JR-6 после размагничивания переменным полем (справа): типичные стереопроекции с изображениями изменений векторов  $J_n$  в процессе магнитных чисток, диаграммы Зийдervельда в стратиграфической системе координат и графики размагничивания образцов. 1–4 – проекции  $J_n$  на нижнюю (1) и верхнюю (2) полусферы, горизонтальную (3) и вертикальную (4) плоскости, 5, 6 – компоненты  $J_n$  – вязкая (5) и ChRM (6). D, I и MAD – склонение, наклонение и максимальный угол отклонения ChRM, в скобках указаны интервалы температур или полей, в пределах которых выделена ChRM



вверх надстраиваются неравномерно-плитчатым чередованием известняков и глинистых известняков с тонкими прослоями глин, стилолитами и многочисленными иноцерамами *Cataceramus* и панцирями ежей *Echinocorys*.

Распределение наннопланктона изучено в интервале обр. 3272/80 и выше, где по появлению *Uniplanarius gothicus* и *Micula concava* устанавливается подошва сантонского яруса (CC17).

Значения  $\delta^{13}\text{C}$  обнаруживают значимые вариации по разрезу, среди которых к настоящему времени могут быть идентифицированы по крайней мере два экскурса — Navigation Event и LSE, являющихся вторичными маркерами нижних границ коньякского и кампанского ярусов соответственно [7, 10].

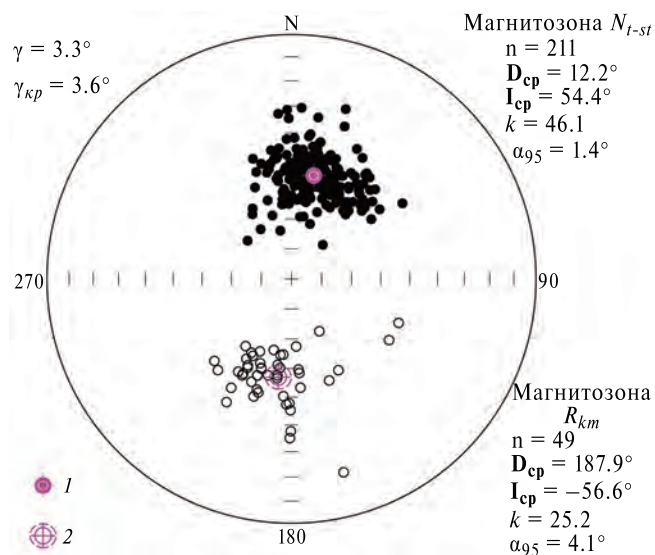
**Петромагнетизм и палеомагнетизм.** Изученные отложения хорошо дифференцированы по магнитным свойствам, несмотря на малые значения  $K$  и  $J_n$  (см. рис. 2). Вариации петромагнитных параметров способствуют дополнительному расчленению разреза и обоснованию границ литологических пачек.

Результаты магнитного насыщения свидетельствуют о преобладании в отложениях магнитомягкой фазы: остаточная намагниченность насыщения почти полностью приобретает в полях интенсивностью 20–40 мТл, остаточная коэрцитивная сила варьирует от 25 до 35 мТл, а параметр  $S$  близок к 1. Подобные величины петромагнитных характеристик типичны для тонкодисперсного магнетита. Магнитожёсткие ферромагнетики (гематит и/или гидроксиды железа) фиксируются только в розовых известняках пачки 10 по пониженным значениям (до 0.5) параметра  $S$  (см. рис. 2).

Для палеомагнитных исследований брались ориентированные штуфы, которые впоследствии распиливались на образцы кубической формы с ребром 2 см. Размагничиванию с целью выделения компонент  $J_n$  подвергались по два образца с каждого уровня: один — температурой, другой — переменным магнитным полем. В общей сложности изучено 362 образца. Лабораторные исследования проводились в лаборатории петрофизики Саратовского государственного университета (СГУ) по стандартной методике [4]. Для последовательных магнитных чисток переменным полем и температурой использовались установка LDA-3AF и печь Апарина соответственно. Остаточная намагниченность измерялась на спин-магнитометре JR-6. Лабораторные исследования 78 образцов были

сдублированы на криогенном магнитометре (SQUID) 2G-Enterprises в институте Физики Земли (ИФЗ) РАН (Москва). Эти образцы подвергались ступенчатому размагничиванию температурой в немагнитной печи MMTD80. Результаты компонентного анализа данных по образцам-дублям с одного уровня, полученные по разным видам магнитных чисток в ИФЗ и СГУ, хорошо согласуются между собой, несмотря на то что точность измерений на JR-6 уступает криогенному магнитометру (рис. 3).

Палеомагнитное качество пород, за исключением сеномана (пачки 1–5), оказалось очень хорошим. Естественная остаточная намагниченность имеет в основном двухкомпонентный состав, но встречаются и однокомпонентные образцы. Низкотемпературные и низкокоэрцитивные компоненты, имеющие, скорее всего вязкую природу, разрушаются, как правило, при нагревах до 250 °С и в полях до 15 мТл соответственно. Высокотемпературные и высококоэрцитивные компоненты, сохраняющиеся при температурах 500 °С и полях 40–60 мТл, являются характеристическими (ChRM) (см. рис. 3). Высокая палеомагнитная стабильность образцов в совокупности с данными магнитного насыщения о доминировании магнитомягкой фазы



**Рис. 4.** Стереопроекция ChRM и результаты теста обращения.  $n$  — число образцов в выборке,  $D_{cp}$ ,  $I_{cp}$  — среднее палеомагнитное склонение и наклонение соответственно,  $k$  — кучность,  $\alpha_{95}$  — радиус круга доверия вектора,  $\gamma = 180^\circ - \gamma_1$  ( $\gamma_1$  — угол между средними ChRM, соответствующими прямой и обратной полярности),  $\gamma_{кр}$  — критический угол [9]. Средние ChRM с кругами доверия для прямой (1) и обратной (2) полярности. Остальные условные обозначения см. на рис. 3

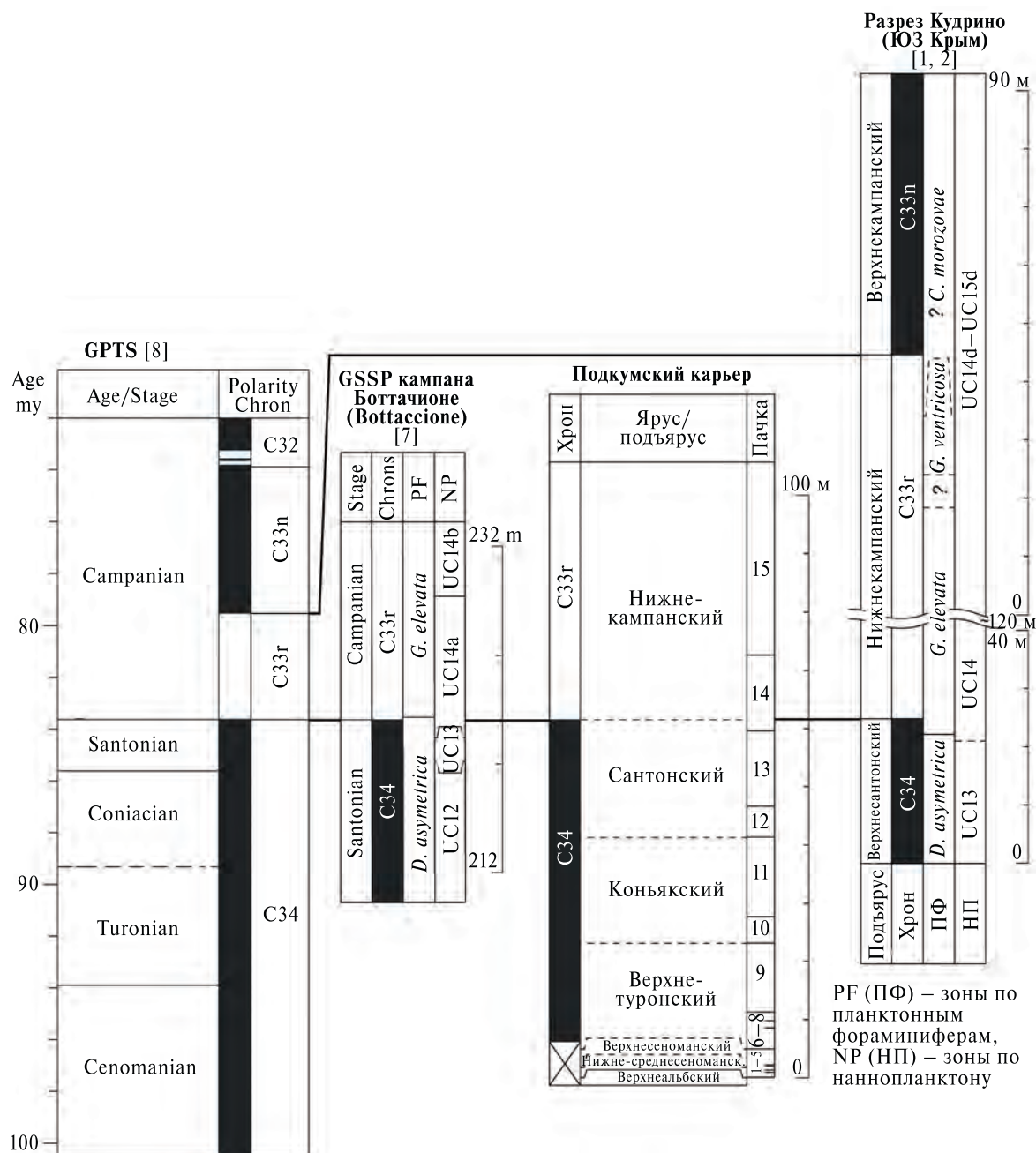
исключает предположения об иных минералах, кроме магнетита, в роли главных носителей  $J_n$ , поскольку другие магнитомягкие ферромагнетики (маггемит или магнитные сульфиды железа) нестабильны в палеомагнитном отношении и претерпевают фазовые переходы при температурах 300–350 °C [4].

Направления ChRM соответствуют как прямой, так и обратной полярности геомагнитного поля и закономерно группируются в разрезе в две магнитозоны: нижнюю — прямой ( $N_{t-st}$ )

и верхнюю — обратной полярности ( $R_{km}$ ). Спорадически рассеянные по разрезу уровни с аномально низкими широтами виртуальных геомагнитных полюсов (ВГП) от  $-45^\circ$  до  $45^\circ$ , вероятно, отвечают экскурсам геомагнитного поля (см. рис. 2).

В пользу первичности ChRM свидетельствует ряд признаков.

1. Знак полярности индифферентен к литологическим особенностям (карбонатность, цвет пород) и петромагнитным вариациям (см. рис. 2).



**Рис. 5.** Палеомагнитные данные по разрезу верхнего мела Подкумский карьер и результаты их сопоставления с GPTS, GSSP кампанского яруса и кампаном ЮЗ-Крыма. Условные обозначения см. на рис. 2

2. Положение полюса, рассчитанного по среднему направлению ChRM (широта  $\text{Lat} = 77.7^\circ$ , долгота  $\text{Long} = 173.6^\circ$ ) статистически не отличается от стандартных позднемеловых полюсов (возрастом 80–90 млн лет) для стабильной Европы [6].

3. Тест обращения, после исключения из выборки ChRM, которым соответствуют аномально низкие широты ВГП (ниже  $45^\circ$ ), и данных по обн. 3273, где элементы залегания пластов искажены за счёт отседания блоков, положительный по классификации “А” [9] (рис. 4).

Поэтому древний возраст намагниченности (по крайней мере, не моложе стадии диагенеза) не вызывает сомнений. Индекс палеомагнитной достоверности, адаптированный для магнито-стратиграфический целей [5] составляет 7 из 8 возможных баллов. Максимальное значение показателя не достигнуто только из-за отсутствия радиометрических датировок в разрезе.

Сопоставление палеомагнитной колонки разреза с сеноманским–кампанским интервалом шкалы геомагнитной полярности (GPTS) [8] позволяет однозначно идентифицировать выделенные магнитозоны с хронами C34n и C33r соответственно (рис. 5). Стратиграфическое значение выявления аналогов известных хронов заключается в обосновании границы сантона–кампана и раннекампанского возраста отложений в изученном разрезе.

Уровень геомагнитной инверсии C34n–C33r точно определяет положение нижней границы кампана в Подкумском карьере по аналогии с лимитотипом (GSSP) яруса в Боттационе (Италия), где подошва кампана соответствует основанию магнитного хрона C33r [7] (см. рис. 5).

Хрон C33n в Подкумском карьере не установлен, поэтому по аналогии с опорным разрезом Кудрино в ЮЗ-Крыму, где подошва верхнего кампана (при двучленном делении яруса) почти совпадает с границей хронов C33r и C33n [1], можно заключить, что в изученном разрезе представлен только нижнекампанский подъярус (см. рис. 5).

Полнота верхнетуронского–нижнекампанского интервала и высокое палеомагнитное качество пород определяют статус Подкумского карьера как опорного магнито-стратиграфического разреза верхнего мела Предкавказья и делают его весьма перспективным объектом для получения надёжных полюсных данных, необходимых для выполнения глобальных геодинмических реконструкций, и сведений о тонкой

структуре позднемелового поля, в частности, инверсионного перехода C34n–C33n.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность В.Э. Павлову, И.Е. Лебедеву (ИФЗ РАН) за предоставленную возможность проведения палеомагнитных исследований контрольной коллекции на криогенном магнитометре и полезные консультации при анализе полученных данных.

## ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено за счёт средств Российского научного фонда, проект № 22-17-00091.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барабошкин Е.Ю., Гужиков А.Ю., Александрова Г.Н., Акинин В.В., Рябов И.П., Устинова М.А., Ртищев Н.А., Вишневская В.С. Опорный разрез кампанского яруса Юго-Западного Крыма: проблемы подъярусного расчленения и глобальной корреляции // Стратиграфия. Геологическая корреляция. Т. 32. № 2. 2024. С. 48–103.
2. Гужиков А.Ю., Барабошкин Е.Ю., Александрова Г.Н., Рябов И.П., Устинова М.А., Копачев Л.Ф., Миранцев Г.В., Кузнецов А.Б., Фокин П.А., Косоруков В.Л. Био-, хемо- и магнито-стратиграфия пограничного интервала сантона–кампана разрезов Кудрино и Аксу-Дере (Юго-Западный Крым): проблемы глобальной корреляции и выбора лимитотипа нижней границы кампанского яруса. Статья 2. Магнито- и хемотрагифия, обсуждение данных // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2021. Т. 29. № 5. С. 27–58.
3. Москвин М.М. Верхний отдел. Северный Кавказ и Предкавказье. Стратиграфия СССР. Меловая система. Полутом 1. М.: Недра, 1986. С. 190–213.
4. Молостовский Э.А., Храмов А.Н. Магнито-стратиграфия и ее значение в геологии. Саратов: Изд-во Саратовского университета, 1997. 180 с.
5. Храмов А.Н., Шкатова В.К. Приложение 9. Общая магнито-стратиграфическая шкала полярности фанерозоя / Дополнения к стратиграфическому кодексу России. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. С. 20–45.
6. Besse J., Courtillot V. Apparent and true polar wander and the geometry of the geomagnetic field over the last 200 Myr // J. Geophys. Res. 2002. V. 107. № 11. P. 1–31.
7. Gale A.S., Batenburg S., Coccioni R., Dubicka Z., Erba E., Falzoni F., Haggart J., Hasegawa T., Ifrim Ch., Jarvis I., Jenkyns H., Jurowska A., Kennedy J.W., Maron M., Muttoni G., Pearce M., Petrizzo M.R., Premoli-Silva I., Thibault N., Voigt S., Wapreigh M., Walaszczyk I. The Global Boundary Stratotype

- Section and Point (GSSP) of the Campanian Stage at Bottaccione (Gubbio, Italy) and its Auxiliary Sections: Seaford Head (UK), Boceniec (Poland), Postalm (Austria), Smoky Hill, Kansas (U.S.A.), Tepayac (Mexico) // *Episodes*. 2023. V. 46. No. 3. P. 541–490.
8. Gale A.S., Mutterlose J., Batenburg S. Chapter 27, The Cretaceous Period, in *Geological Time Scale* 2020. Elsevier, 2020. P. 1023–1086.
  9. McFadden P.L., McElhinny M.W. Classification of the reversal test in palaeomagnetism // *Geophys. J. Int.* 1990. V. 103. P. 725–729.
  10. Walaszczyk I., Čech S., Crampton J.S., Dubicka Z., Ifrim C., Jarvis J., Kennedy W.J., Lees J.A., Lodowski D., Pearce M., Peryt D., Sageman B.B., Schiøler P., Todes J., Uličný D., Voigt S., Wiese F. The Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) for the base of the Coniacian Stage (Salzgitter-Salder, Germany) and its auxiliary sections (Słupia Nadbrzeżna, Central Poland; Střeleč, Czech Republic; and El Rosario, NE Mexico) // *Episodes*. 2022. V. 45. No. 2. P. 181–220.

## MAGNETOSTRATIGRAPHY OF THE UPPER CRETACEOUS REFERENCE SECTION OF THE CAUCASIAN MINERAL VODY REGION (PODKUMSKY QUARRY)

© 2025 A. Yu. Guzhikov<sup>a, #</sup>, E. Yu. Baraboshkin<sup>b, c</sup>, N. V. Kravtsov<sup>a</sup>, M. A. Ustinova<sup>c</sup>,  
N. A. Rtishchev<sup>b, c</sup>, S. A. Zemlyanskiy<sup>a</sup>

Presented by Academician of the RAS K.E. Degtyarev February 24, 2025

<sup>a</sup>*Saratov State University, Saratov, Russia*

<sup>b</sup>*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

<sup>c</sup>*Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

<sup>#</sup>*E-mail: aguzhikov@yandex.ru*

According to the results of paleomagnetic study, which are part of integrated bio-, chemo- and magnetostratigraphic studies of the Upper Cretaceous of the North Caucasus, analogs of magnetic chrons C34n and C33r were identified in the Podkumsky quarry section near the city of Essentuki. Due to this, the Santonian-Campanian boundary was drawn in the section, by analogy with the limitotype of the Campanian Stage of Bottaccione (Italy), and the early Campanian age of the deposits was substantiated, by analogy with the reference section of the Campanian Stage in Kudrino village (Crimea). The high paleomagnetic quality makes the Podkumsky quarry a unique section of the Upper Cretaceous in magnetostratigraphic terms and a promising object for determining paleomagnetic poles and studying the fine structure of the Late Cretaceous geomagnetic field.

**Keywords:** Upper Cretaceous, Santonian, Campanian, magnetostratigraphy, North Caucasus