



Комплексная геофизическая экспедиция «Астра» с 2002 года специализируется на следующих геофизических исследованиях:

- инженерно-геологические и сопутствующие исследования при проектировании и строительстве, сейсмическое микрорайонирование;
- поиски и разведка месторождений полезных ископаемых;
- поиски и разведка подземных вод;
- археологические исследования.

Геофизические работы силами КГЭ «Астра» выполняются в любых климатических условиях и любой точке страны и мира. Богатый опыт и профессионализм позволяют выполнить самую сложную задачу качественно и в срок.

#### Методы и технологии:

- электроразведка методами сопротивлений и вызванной поляризации;
- электроразведка электромагнитными методами;
- электротомография с поверхности, межскважинная и по системе «скважина – поверхность»;
- сейсморазведка методами отраженных и преломленных волн, MASW;
- сейсмотомография наземная и межскважинная;
- каротаж скважин основным комплексом методов;
- магнитные и гравиметрические съемки наземные и с применением БПЛА;
- комплексные геофизические исследования.

# Производство геофизической аппаратуры и вспомогательного оборудования

Геофизическая аппаратура, производимая КГЭ «Астра», давно зарекомендовала себя на российском рынке, показав свою надежность и эффективность в самых сложных условиях. Регулярная доработка и модернизация всей линейки производимой аппаратуры позволяет учитывать и воплощать в «железо» так рекомендации полевых инженеров, как и актуальные требования к техническому и программному уровню наших разработок.

Генератор ВП-1000М. Используется для работы методами сопротивлений и вызванной поляризации.

Характеристики.

Выходное напряжение: до 800 В; ток: 0,01–4 А; мощность: 1000 Вт; форма выходного тока: РПИ-1 или РПИ-2.

**Генератор МПП-200.** Обеспечивает работу методом переходных процессов.

Характеристики

Мощность: 200 Вт; ток: до 10 А.

**Генератор ЭРГ-120.** Обеспечивает работу методом вызванной поляризации.

Характеристики.

Выходное напряжение: до 600 В; ток: 5–400 мА; мощность: 120 Вт. Форма выходного тока: РПИ-1 или РПИ-2.

Измеритель МПП-ВП. Универсальный измеритель для импульсной электроразведки методами вызванной поляризации и переходных процессов. Управляется со смартфона на базе Android, с предустановленным программным обеспечением, которое позволяет не только реализовать полевые измерения, но и оперативно оценивать результаты исследований.

Синхронизатор GPS. Обеспечивает высокую степень временной синхронизации всей линейки производимой электроразведочной аппаратуры. Поставляется с внешней антенной. Аппаратурный комплекс для создания автоматизированной системы электротомографии методом вызванной поляризации (АСЭТ-ВП). Включает в себя полный набор аппаратуры и вспомогательного оборудования для выполнения глубокой электротомографии:

- генератор ВП-ЮООМ;
- измеритель МПП-ВП со смартфоном на Android;
- синхронизатор GPS;
- активная модульная генераторная коса с пультом управления и комплектом заземлений;
- пассивная измерительная коса с коммутатором и неполяризующимися электродами;
- провод на катушке для создания линии «бесконечность».

Портативный каротажный регистратор «Скважина» предназначен для работы в любых условиях как в составе каротажной станции, так и для исследований отдельными методами прямо на скважине без подъемника и прочего оборудования.

Комплексный скважинный прибор СПГЭ-42 позволяет одновременно проводить геофизические исследования в скважинах методами гамма- и электрокаротажа (ГК, КС и ПС).

Широкий спектр вспомогательного оборудования:

- полевые электроразведочные кабели стандартные и специальные;
- катушки универсальные полевые разных типоразмеров КУП-А;
- универсальная катушка со скользящим контактом УКС-А;
- нагрудная катушка;
- электроды для ВЭЗ и профилирования с упором для ноги (нержавеющая сталь или титан);
- шпильки Т-образные (нержавеющая сталь или титан);
- электроды неполяризующиеся ЭН-А.



# Программное обеспечение

Вместе с полевой аппаратурой КГЭ «Астра» поставляет специализированное программное обеспечение для обработки и интерпретации любых полевых геофизических данных:

полевые программы для создания протоколов и выполнения измерений различными методиками на электроразведочной аппаратуре, производимой КГЭ «Астра»; программы для обработки данных, полученных методами переходных процессов (TEMIMAGE) и вызванной поляризации (IPVISION);

программное обеспечение из пакета ZOND для инверсии и интерпретации данных любых методов электроразведки (сопротивлений, вызванной поляризации, переходных процессов, МТЗ, ЭМЗ и т.д.), магниторазведки, гравиразведки, сейсморазведки.

сайт: astrageo.spb.ru тел. (812) 294-63-23 почта: astrageo@astrageo.spb.ru



000 «КГЭ «Астра» г. Санкт-Петербург

# ЕОФИЗИКА 4.2021



# СОДЕРЖАНИЕ

<b>М.И. Протасов, В.В. Лисица, Д.М. Вишневский</b> Численное исследование возможностей построения изображений по данным сейсмического мониторинга для моделей обводненных месторождений Новосибирской области	     
В.Г. Аковецкий, А.В. Афанасьев, Л.А. Иванова Геоинформационная среда газогидратных залежей в задачах оценки геоэкологических рисков нефтегазового комплекса11	i
<b>А.Г. Алексеев, И.О. Баюк</b> Оценка параметров пустотного пространства карбонатного коллектора на основе петроэлектрического моделирования	I
В.А. Начев, С.Б. Турунтаев Моделирование процессов механического разрушения пород-коллекторов на микроуровне	י ו נ
С.А. Имашев, М.Е. Чешев Анализ параметров q-гауссова распределения для сейсмоакустических сигналов	;
О.В. Феоктистова, И.В. Горбачев Выявление участков улучшенных свойств пласта, основанное на анализе результатов сегментации сейсмических данных с помощью генетических алгоритмов	
<b>Л.Н. Болдушевская, В.С. Нефедова, Г.Ю. Рудая</b> Структурные особенности и перспективы нефтегазоносности средне- и верхнепалеозойских отложений севера Красноярского края по геолого- геофизическим и геохимическим данным	
<b>А.В. Филиппович, Л.А. Золотая,</b> <b>И.В. Федюкин, Р.В. Веселовский</b> Комплексный анализ аномальных магнитных полей и палеомагнитных данных в юго-западной части Качинского антиклинория Крыма	
А.А. Архипов, Г.Ю. Кобзарев, И.Ю. Хромова Теоретические основы и практика применения технологии расширения спектра сейсмической записи нового поколения nSeis	
<b>Н.А. Пальшин, К.О. Соборнов, М.J. Bolourchi,</b> Е. <b>Д. Алексанова, Д.В. Яковлев, А. Aliyari, А.Г. Яковлев</b> Магнитотеллурические исследования складчатых поясов 80	
<b>В.И. Голик</b> ДИСКУССИИ, О Расцирение диадазона применения промышленной	E

#### CONTENTS

<b>M.I. Protasov, V.V. Lisitsa, D.M. Vishnevskiy</b> Numerical study of the imaging capabilities of seismic monitoring data for models with field water cut in the Novosibirsk region			
V.G. Akovetsky, A.V. Afanasyev, L.A. Ivanova Geoinformational environment of gas hydrate deposits n the tasks of assessment of geoecological risks of oil and gas complex11			
A.G. Alexeev, I.O. Bayuk Estimation of pore space parameters of carbonate reservoir rocks based on petroelectric modeling			
V.A. Nachev, S.B. Turuntaev Modeling of mechanical processes of rock fracturing at the microscale			
<b>S.A. Imashev, M.E. Cheshev</b> Analysis of q-Gaussian distribution parameters for seismoacoustic signals			
<b>D.V. Feoktistova, I.V. Gorbachev</b> dentification of areas of improved reservoir properties based on the analysis of the results of segmentation of seismic data using genetic algorithms			
L.N. Boldushevskaya, V.S. Nefyedova, G.Yu. Rudaya Structural features and oil and gas potential of middle and upper paleozoic deposits of the north of the Krasnoyarsk region for geological, geophysical and geochemical data			
A.V. Philippovich, L.A. Zolotaya, I.V. Fedyukin, R.V. Veselovskiy Complex analysis of anomalous magnetic field and paleomagnetic data in southwest part of Kacha anticlinorium in Crimea			
A.A. Arkhipov, G.U. Kobzarev, I.U. Khromova Theoretical basics and usage practice of a new generation seismic spectrum extension technology «nSeis»			
N.A. Palshin, K.O. Sobornov, M.J. Bolourchi, E.D. Aleksanova, D.V. Yakovlev, A. Aliyari, A.G. Yakovlev			

геофизики при добыче твердых полезных ископаемых ...... 95

#### 5СУЖДЕНИЯ

V.I. Golik

Expanding the range of application of industrial geophysics 

#### ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР: А.А. НИКИТИН ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛ. РЕДАКТОРА: Л.А. Золотая, А.В. Белоусов РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ: В.Ю. Абрамов, Ю.И. Блох, М.Л. Владов, Е.А. Давыдова, М.С. Денисов, Г.М. Золоева, С.А. Кириллов, А.С. Лаврик, И.Н. Модин, И.А. Мушин, В.И. Петерсилье, Е.Е. Поляков, С.Н. Птецов, В.И. Рыжков, Р.Б. Сержантов, В.П. Цирульников, Р.А. Шакиров, В.А. Шевнин

РЕДАКЦИОННО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ЕАГО:

115191, г. Москва, ул. 2-я Рощинская, д. 10 Тел. (495) 952-47-15, тел./факс (495) 952-44-79 E-mail: zolotaya@eago.ru www.mooeago.ru, geofdb.com Свидетельство о регистрации журнала № 0110923 от 21.07.1993 ISSN 1681-4568

#### ООО «ПолиПРЕСС»:

Е.Н. Васильева – компьютерная верстка И.Г. Чижикова – корректура 170041, г. Тверь, Комсомольский пр-т, д. 7, пом. II Тел./факс (4822) 55-16-76 E-mail: polypress@yandex.ru; www.poly-press.ru Отпечатано в ООО «ПолиПРЕСС» Тираж 120 экз. Заказ № 7859

Ответственность за подбор и изложение фактов в статьях несут авторы. Редколлегия может публиковать статьи, не разделяя точки зрения авторов.

УДК 550.384, 550.389

# КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ АНОМАЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ и палеомагнитных данных в юго-западной части качинского антиклинория крыма

А.В. Филиппович<sup>1</sup>, Л.А. Золотая<sup>1</sup>, И.В. Федюкин<sup>2</sup>, Р.В. Веселовский<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова. 119991, Россия, г. Москва, Ленинские горы, д. 1; e-mail: zolotaya@eago.ru

<sup>2</sup> Институт физики Земли РАН. 123995, Россия, г. Москва, ул. Б. Грузинская, д. 10, стр. 1

Аннотация. В данной статье впервые анализируются результаты интерпретации высокоточных детальных площадных магнитных съемок, выполненных в западной части Качинского антиклинория Крыма с опорой на палеомагнитные и петромагнитные исследования образцов магматических пород, отобранных из обнажений непосредственно на площади исследований. Решена задача картирования магматических образований на площади магнитных съемок. На коллекции из 140 образцов, отобранных на площади исследований, проведены в полном объеме палеомагнитные исследования, а также оценка минерального состава магнитных минералов в образцах и их концентрации методами петромагнетизма и петрографии. Проведена количественная интерпретация аномальных магнитных полей и построен ряд магнитных моделей геологических разрезов с магматическими телами с учетом суммарного вектора намагниченности интрузивов. Полученные данные позволили построить ряд магнитных 2D-моделей, что дает возможность по-новому сформировать геологические гипотезы о формировании магматического комплекса средней юры и его составе.

**Ключевые слова**. Магматические образования бодракской свиты в Крыму, палеомагнитные исследования интрузий средней юры, магнитное моделирование, палеомагнитные исследования, магнитные съемки.

### COMPLEX ANALYSIS OF ANOMALOUS MAGNETIC FIELD AND PALEOMAGNETIC DATA IN SOUTHWEST PART OF KACHA ANTICLINORIUM IN CRIMEA

A.V. Philipovich<sup>1</sup>, L.A. Zolotaya<sup>1</sup>, I.V. Fedyukin<sup>2</sup>, R.V. Veselovskiy<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University. GSP-1, Leninskie Gory, Moscow, 119234, Russian Federation; e-mail: zolotaya@eago.ru <sup>2</sup> Schmidt Institute of Physics of the Earth RAS. 10, Bolshaya Gruzinskaya str., Moscow, 123995, Russia

**Abstract.** This paper presents the results of complex interpretation of high precision magnetic survey jointly with paleomagnetic and petromagnetic studies, which carried out in the western part of Kacha anticlinorium. Magmatic rock samples were taken from outcrops directly in the study area. Paleomagnetic studies were carried out on the collection of 140 samples taken from the study area. Magmatic formations were mapped on the magnetic survey. Mineral composition of magnetic minerals in the samples and their concentration were estimated by the methods of petromagnetism and petrography. A quantitative interpretation of anomalous magnetic fields includes a number of magnetic models of geological sections taking into account the total magnetization vector of intrusions. Which makes it possible to formulate geological hypotheses about the formation of the Middle Jurassic magmatic complex and its composition in a new way.

**Key words.** Bodrak formation magmatic in Crimea, paleomagnetic studies of the Middle Jurassic intrusions, magnetic modeling, paleomagnetic studies, magnetic surveys.

ВВЕДЕНИЕ. Успех в решении современных задач геологии основывается на необходимости комплексирования геолого-тектонических материалов и данных различных геофизических методов. Общеизвестно, что все магматические образования изучаются преимущественно методами магниторазвелки, так как они имеют повышенные значения магнитных свойств по сравнению с вмещающими породами, что является физическими предпосылками для применения этого метода, с одной стороны, а с другой – открывает большие перспективы для изучения палеомагнетизма этих пород с целью восстановления их геологической эволюции [Храмов А.Н. и др., 1982]. В то же время в литературе крайне мало материалов по интерпретации результатов площадных магнитных съемок в комплексе с палеомагнитными и петромагнитными исследованиями. Такой

подход обеспечивает надежное построение магнитных моделей геологических разрезов, содержащих магматические образования.

Изучение геологического строения территории Крыма имеет более чем столетнюю историю [Лебединский, 1962, 1968; Спиридонов, 1990; Юдин, 2007; Никишин, 2006]. Одной из наиболее популярных задач является исследование мезозойского магматического комплекса. На территории Крыма широко развиты проявления магматической активности среднеюрского возраста, которые точечно обнажаются в его южной части и хорошо изучены геологами. Большая же часть продуктов вулканической деятельности скрыта осадочным чехлом и недоступна для натурных наблюдений. Понимание современного пространственного распространения и положения магматических тел в разрезе может существенно продвинуть актуальные знания о геологической истории формирования и эволюции полуострова. По опубликованным данным петромагнитного анализа магматических пород [Печерский, 1991; Корнейко, Веселовский, 2013 и др.] установлено, что они имеют на порядок более высокие значения магнитных характеристик (естественной остаточной намагниченности, магнитной восприимчивости) по сравнению с осадочными (вмещающими) породами, что делает интрузии первостепенными объектами для применения комплекса магнитных и палеомагнитных методов исследований, так как он позволяет построить физико-геологические магнитные модели геологических разрезов при учете суммы индуцированной и остаточной компоненты намагниченности магматических тел.

Изучая опубликованные литературные данные по применению палеомагнитного метода в Крыму, нужно отметить, что большая часть работ связана с решением глобальных геологических задач по определению положения палеомагнитных полюсов и палеотектоническими реконструкциями (магнитотектоника), а также с расчленением геологических разрезов (магнитостратиграфия). В литературе [Печерский, 1991; Юдин, 2011] приводятся оценки положения палеомагнитного полюса в байосское время (164–175 млн лет назад) и сделаны выводы, что магматические объекты этого возраста часто значительно изменены вторичными процессами.

#### Геология района исследований в региональном масштабе

Магматические породы бодракской свиты средней юры (J<sub>2bd</sub>) формировались в островодужной надсубдукционной обстановке – океа-



Схема строения вулканической дуги Понтид-Крыма и структура вулкана центрального типа [Никишин, 2006]

ническая кора Тетиса погружалась под Понтид-Крым (рис. 1).

Зона субдукции прослеживается от Крыма до Кавказа. Породы бодракской свиты представлены вулканогенно-осадочными и вулканическими образованиями, которые с резким угловым несогласием залегают на смятой в складки флишевой толще таврической серии (или ее фациального аналога – эскиординской свиты). Нижний этаж свиты сложен морскими аргиллитами и отложениями обломочных потоков пород эскиординской свиты. Верхний этаж представлен вулканогенноосадочными породами - базальтами, андезибазальтами, туфопесчаниками и туфоалевролитами. Мощность свиты оценивается в более чем 500 м. Возраст вулканитов по фауне датируется как поздний байос [Никишин, 2006]. По изотопно-геохронологическим 40Ar/39Ar данным [Meijers, 2010; Морозова, 2012] было проведено датирование четырех субвулканических объектов средней юры, располагающихся в непосредственной близости от площади детальных исследований: a) силл Лебединского – 171,3±2,6 млн лет; б) интрузив, вскрытый Первомайским карьером, – 160,4±2,0 млн лет; в) интрузив габбро-сиенитов, вскрытый Петропавловским карьером, -162,9±17,2 млн лет; г) андезитовые лавы за гостиницей в с. Трудолюбовка – 165,7±1,3 млн лет.

Породы бодракской свиты сильно деформированы с залеганием до субвертикального и падением на северо-запад. Например, на площади детальных исследований песчаники в обнажении «байосский цирк» залегают с углами падения 60° и азимутом СЗ 330°. Время складчатости не датировано и определяется как домеловое (позднекиммерийская складчатость).

Породы эскиординской свиты (а также таврической серии) и залегающей на ней бодракской свиты пронизывает большое количество интрузивных тел – даек, силлов, штоков и др. Для ранних фаз интрузивов типичны габброиды и кварцевые диориты, для поздних – лейкократовые граниты [Никишин, 2006]. Вулканические и субвулканические образования в вышележащих меловых отложениях не встречаются.

#### Геология детального участка исследований

Одной из актуальных дискуссионных тем у геологов является вопрос о положении (залегании) интрузивных тел в разрезе и их взаимоотношение с вмещающими породами. Обнажения магматических пород часто выветрелые и имеют небольшой размер, что затрудняет определение параметров их залегания.

Палеомагнитные исследования на территории Крыма проводятся уже полвека, преимущественно они имеют региональный, а иногда рекогносцировочный характер. На территории изученного детального участка на юго-западной части Качин-

ского антиклинория предшествующими исследователями [Корнейко, Веселовский, 2013] опробовались только обнажения, носящие названия «силл Короновского» и «байосский цирк», где были выявлены противоположно направленные компоненты естественной остаточной намагниченности, притом что тела находятся на расстоянии всего 500 м. Вопрос возникновения такой палеомагнитной ситуации является чрезвычайно интересным. Ответ на него позволит по-новому оценить геолого-тектоническое развитие магматического комплекса бодракской свиты на изучаемой территории. В данной работе исследовались палеомагнитные и петромагнитные свойства из 10 обнажений, находящихся в пределах детального участка комплекса проведенных работ в непосредственной близости от выявленных предшественниками тел с разнонаправленной намагниченностью.

Обсуждаемые в статье материалы комплексных исследований относятся к территории левого



Рис. 2 a – положение площади детальных исследований на космоснимке южной части Крыма;  $\delta$  – геологическая карта изучаемой территории [Никишин, 2006]

борта р. Бодрак у с. Трудолюбовка Бахчисарайского района Крыма, расположенной на периферии Качинского антиклинория (рис. 2). Фактический материал на исследуемой площади собирался в три этапа. В 2017 г. была выполнена высокоточная площадная магнитная съемка восточной части исследований в масштабе 1:2000 на площади 1000 х 350 м. в 2019 г. она была дополнена детальной съемкой масштаба 1:1000 в западной части площади (300 х 400 м). В 2020 г. из 10 обнажений непосредственно на площади исследований была отобрана палеомагнитная коллекция из 140 ориентированных в пространстве образцов, которые были всесторонне исследованы комплексом петро- и палеомагнитных методов (рис. 3). Забегая вперед, стоит отметить, что по данным площадной магнитной съемки обнажения 1, 6, 7, 8, 9 и 10 относятся к одному телу – «силлу Короновского», для которого ранее было установлено, что вектор остаточной намагниченности направлен противоположно современному.



#### Рис. 3

Азрофотоснимок площади исследований и положение площадных магнитных съемок (синий – масштаб 1:2000, зеленый – 1:1000), сайтов отбора ориентированных образцов палеомагнитной коллекции (красные треугольники), линия профиля магнитного моделирования (бирюзовый)

#### Палеомагнитные и петромагнитные исследования

Палеомагнитные и петромагнитные исследования выполнялись для определения магнитных характеристик магматических тел, для проведения магнитного моделирования геологических разрезов. Были изучены параметры магнитной восприимчивости (для расчета вектора индуцированной намагниченности) и вектора естественной остаточной намагниченности; доменные состояния магнитных зерен с использованием диаграммы Дэя, а также определения направления течения магмы и последующих деформаций по характеру анизотропии магнитной восприимчивости; выполнена серия экспериментов для оценки состава магнитных минералов по величине температуры Кюри (Тс); концентрации магнитных минералов по изменению намагниченности насыщения.

Перед началом исследований образцы были распилены на кубики с ребром 2 см и сохранением параметров залегания в обнажении – направления линии падения произвольной площадки на поверхности образца (рис. 4).

Лабораторные петромагнитные и палеомагнитные исследования проводились по стандартной методике [Палеомагнитология, 1982; Таихе et al., 2016] в лаборатории главного геомагнитного поля и петромагнетизма Института физики Земли РАН. Чистка переменным магнитным полем и измерение EOH проводились на криогенном магнитометре SQUID производителя 2G Enterprises (США). Чувствительность криогенного магнитометра – 1·10<sup>-7</sup> А/м.

Размагничивание образцов проводилось переменным магнитным полем. Форма переменного магнитного поля – синусоида (частота 400 Гц) с заданным максимальным значением поля и линейным уменьшением его амплитуды со временем (до 1 мин). Протокол размагничивания предполагает ступенчатое увеличение переменного магнитного поля до значений 130 мТл с детальным шагом при низких значениях поля, максимальное количество шагов – 18. После каждого



Рис. 4 Подготовленная для палеомагнитных исследований коллекция из 140 ориентированных образцов магматических пород возраста J<sub>2</sub>b

шага размагничивания проводилось измерение остаточной намагниченности. Данный протокол оптимален для удаления вторичной намагниченности, характерной для многодоменных низкокоэрцитивных частиц (Hc < 15 мГл).

Векторы ЕОН для каждого образца анализировались с помощью пакета программ PMGSC [Enkin, 1994]. Графическая обработка проводилась на диаграммах Зийдервельда. Выделение компонент намагниченности производилось методом главных компонент (РСА) с использованием статистики Фишера (Kirschvink J.L., The leastsquares line and plane and analysis of palaeomagnetic data // Geophys. J.R. Astr. Soc. 1980. Vol. 62. P. 699-718). Суммарная компонента намагниченности рассчитывалась согласно статистике Фишера по первым 3-6 значениям вектора намагниченности при воздействии на образец переменного поля от 0 до 5 мТл. Высококоэрцитивная характеристическая компонента рассчитывалась по прямым участкам, направленным к началу координат, как в горизонтальной, так и вертикальной плоскостях на диаграммах Зийдервельда не менее чем по пяти последовательным точкам.

Изученные магматические породы также были подвергнуты комплексу петромагнитных исследований, включавших в себя определение магнитной восприимчивости и ее анизотропии с использованием каппабриджа MFK1-FA (AGICO, Чехия), оценку параметров петель гистерезиса, измерения кривой остаточного намагничивания, ее перемагничивание обратным полем с помощью вибромагнитометра MicroMag VSM 3900 (Англия) и измерение намагниченности насыщения в зависимости от температуры, которое выполнялось на вибромагнитометре конструкции Ю.К. Виноградова («ВТМ-Вин», Россия). Полученные результаты петромагнитных исследований нормировались на массу индивидуальных образцов и нормализовались для корректного сравнения всех опробованных тел между собой по каждому из методов.

Определение точки Кюри магнитных минералов в образце (рис. 5) производилось путем измерения зависимости магнитного момента насыщения образца от его температуры. Также исследовалась устойчивость магнитных минералов к последовательному нагреву. Величина внешнего магнитного поля составляла 0,5 Тл.

Для тел из обнажений 1, 9 и 10 хорошо выраженных пиков второй производной не наблюдается. Намагниченность образцов из этих тел образована преимущественно парамагнитными минералами с подчиненным содержанием ферромагнитных, в частности низкотитанистым титаномагнетитом (точка Кюри ~ 565–585 °C). Температура с точкой Кюри ~ 330–350 °C характерна для минералов группы железосодержащих сульфидов.

Образцы из обнажений 2, 3, 4, 5, 6, 7 и 8 имеют хорошо выраженные точки Кюри в диапазоне



температур 510–580 °С, что соответствует титаномагнетиту с невысокими содержаниями титана.

Параметры петли гистерезиса измерялись для оценки доменной структуры ферромагнитных зерен — носителей природной остаточной намагниченности ЕОН: коэрцитивная сила Нс, остаточная коэрцитивная сила Нсг, намагниченность насыщения Ms и остаточная намагниченность насыщения Mrs (рис. 6).

Изменение магнитного момента от приложенного внешнего поля (в диапазоне значений от -0,3 до 0,3 Тл) проявлено нелинейно при наличии ферромагнитных минералов и выражено в формировании петли гистерезиса. Магнитный момент парамагнитных минералов изменяется линейно и не достигает полного насыщения в данных полях. Для образцов из тел 1, 9, 10 и частично 8 прямолинейная форма петель гистерезиса указывает на высокую концентрацию парамагнитных минералов и небольшое содержание низкокоэрцитивного (титано)магнетита, что выражено в расхождении кривых в районе начала координат и наличии слабого остаточного магнитного момента. В телах 2-7 парамагнитные минералы занимают подчиненное положение во вкладе в магнитный момент, что выражено слабым изменением магнитного момента при высоких значениях поля (±0,1-0,3 Тл). Узкая петля в начале координат также указывает на наличие низкокоэрцитивного (титано)магнетита.

Остаточный магнитный момент при насыщении как положительным, так и отрицательным полем указывает на наличие ферромагнитных минералов. Дополнительно измерялись зависимости остаточного магнитного момента насыщения образцов от приложенного внешнего магнитного поля (рис. 7). Перед выполнением данного исследования образцы были полностью размагничены переменным полем 130 мТл.



Петли гистерезиса для образцов из 10 интрузивных тел



Диаграммы зависимости остаточного магнитного момента образца при насыщении внешним магнитным полем





PSD – область псевдооднодоменных зерен, MD – область многодоменных зерен.

Номера обозначают номер точки отбора (сайта)



Для тел 1, 7, 8, 9, 10 остаточный магнитный момент плавно изменяется при низких значениях приложенного магнитного поля, и образец выходит на насыщение после значения  $\pm 0,1$  Тл. В телах 2, 3, 4, 5, 6 остаточный магнитный момент резко меняется (растет либо падает) в низких полях до 30–50 мТл и при увеличении поля выходит на насыщение. Поведение кривой характерно для низкокоэрцитивного (титано)магнетита.

Теоретически диаграмма Дэя – Данлопа помогает определить доменное состояние ферромагнитных минералов, в частности (титано) магнетитов, и косвенно судить о размере данных частиц. Представленные на рис. 8 результаты позволяют констатировать, что в основном ферромагнитные минералы изученных тел находятся в PSD (псевдооднодоменной) области, что соответствует размерам частиц более 10–50 нм.

По данным анализа анизотропии магнитной восприимчивости (AMS) возможно восстановление направления движения магмы в интрузивных телах, что выполняется путем анализа ориентировки осей эллипсоида магнитной восприимчивости. Анизотропия магнитной восприимчивости была измерена для 85 образцов; типичные примеры результатов измерений AMS представлены на стереограммах (рис. 9) в виде направлений трех



*а* - направления осей анизотропии на стереопроекциях (вверху) для обнажений 2 и 3; *б* - диаграммы коэффициента анизотропии Р (внизу) ортогональных осей – k1 (длинная), k2 (промежуточная) и k3 (короткая), характеризующих форму эллипсоида магнитной восприимчивости. Также для каждого образца был рассчитан параметр степени анизотропии Р.

Интерпретация результатов AMS интрузивных объектов оказалась затруднительной и неоднозначной ввиду отсутствия закономерности в ориентировке главных осей эллипсоидов в каждом изученном интрузивном теле. Отметим, что подобная ситуация является типичной для магматических пород, претерпевших существенные вторичные изменения. Степень анизотропии всех измеренных образцов не превышает 4,5%, большая часть значений лежит в пределах 2%.

В результате вышеописанного комплекса петромагнитных исследований изученные магматические тела можно разделить на две группы.

К <u>первой группе</u> отнесены три тела (№ 1, 9, 10), породы которых характеризуются низкими значениями массовой магнитной восприимчивости. Этот параметр определяется как отношение магнитной восприимчивости (k) к единице массы вещества с плотностью σ. Полученные значения k варьируют от 1,1·10<sup>-7</sup> до 4,9·10<sup>-7</sup> м<sup>3</sup>/кг при среднем значении ~ 1,79·10<sup>-7</sup> м<sup>3</sup>/кг и модуля вектора естественной остаточной намагниченности Јп от 3,2·10<sup>-4</sup> до 9,9·10<sup>-3</sup> А/м при среднем значении ~ 5,15·10<sup>-3</sup> А/м (рис. 10, 11). Форма петель гистерезиса является прямой линией и характерна для ансамбля парамагнитных минералов – значение магнитного момента прямо пропорционально величине приложенного магнитного поля и наоборот (рис. 6, а). Наличие ферромагнитных минералов отмечается при очень слабых полях до 0,020-0,030 Тл. Остаточная намагниченность наиболее слабо растет при воздействии магнитного поля и выходит на плато после значений магнитного поля 0,15 Тл (рис. 7). Кривая намагниченности насыщения по результатам термомагнитного



Рис. 10 Характеристики магнитной восприимчивости 140 образцов, отобранных из 10 обнажений (сайтов) интрузий



Рис. 11 Значения модуля вектора ЕОН (А/м) для 140 образцов из 10 магматических тел

анализа зависимости намагниченности насыщения от температуры имеет вогнутую форму без выраженных участков перегиба, и только при расчете второй производной отмечаются пики в диапазоне температур 330–350 и 550–570 °С. По данным диапазонам уменьшения намагниченности насыщения можно предположить наличие минералов железистых сульфидов (пирротин?) и низкотитанистого титаномагнетита соответственно.

Вторая группа включает в себя семь тел (№ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8), породы которых характеризуются повышенными значениями массовой магнитной восприимчивости от 1,9·10<sup>-6</sup> до 1,7·10<sup>-5</sup> м<sup>3</sup>/кг при среднем значении ~ 3,67·10<sup>-6</sup> м<sup>3</sup>/кг и модуле вектора естественной остаточной намагниченности от 1,3·10<sup>-4</sup> до 5,12 А/м при среднем значении ~ 3,99·10<sup>-1</sup> А/м (рис. 10, 11). Форма петель гистерезиса узкая, с перегибом ближе к значениям насыщения и характерна для ферромагнитных минералов преимущественно магнетитового ряда с низкой коэрцитивной силой (рис. 6, *б*). Оста-



Рис. 12 Отношение модуля вектора естественной остаточной намагниченности к массовой магнитной восприимчивости образца



точная намагниченность резко растет при воздействии магнитного поля и выходит на плато после значений магнитного поля 0,05 Тл (рис. 7). Кривая намагниченности насыщения по результатам термомагнитного анализа зависимости намагниченности насыщения от температуры имеет выпуклую форму с ярко выраженным участком перегиба в диапазоне температур 530–580 °C. Данный диапазон температур характерен для магнетита или титаномагнетита с низкими содержаниями титана.

Значения модуля вектора естественной остаточной намагниченности (Jn) хорошо коррелируют с массовой магнитной восприимчивостью, их отношение показано на рис. 12.

Направления наиболее стабильной (высококоэрцитивной) компоненты вектора ЕОН также разделяются на две группы (рис. 13): образцы из обнажений 2, 4, 5, 6 имеют компоненту намагниченности прямой полярности, направление которой близко к направлению современного геомагнитного поля в месте отбора образцов. Образцы из обнажений 3 и 7 несут стабильную компоненту ЕОН с невысокими значениями наклонения, а образцы из тел 1 и 9 – обратную намагниченность. Направления стабильной компоненты ЕОН у образцов из тел 8 и 10 имеют сложное распределение: часть образцов была отнесена к группе с намагниченностью прямой полярности, другая часть – с намагниченностью обратной полярности.

По данным магнитных чисток выделяются два принципиальных типа кривых размагничивания, представленных на диаграммах Зийдервельда (рис. 14): (1) направление вектора ЕОН практически совпадает с направлением наиболее стабильной компоненты намагниченности, (2) направление вектора ЕОН отличается от направления стабильной компоненты, а конец вектора остаточной намагниченности в ходе ступенчатого размагничивания движется по дуге большого круга.



Рис. 13 *а* - стереограмма распределения наиболее стабильной (древней?) компоненты EOH; *б* - стереограмма распределения суммарной компоненты EOH. Синий цвет – проекция на верхнюю полусферу (обратная полярность), зеленый цвет – проекция на нижнюю полусферу (прямая полярность) После проведения большого объема палеомагнитных и петромагнитных исследований 140 образцов дополнительно были выполнены петрографические описания шлифов из шести тел, наиболее интересных с точки зрения полученных палеомагнитных результатов. В таблице 1 внесены параметры, полученные в ходе статистической обработки палеомагнитных данных: D – склонение вектора намагниченности, I – его наклонение, J – модуль вектора остаточной намагниченности, A/м, k – магнитная восприимчивость в ед. СИ.

Анализ шести изученных шлифов позволяет разделить исследованные интрузивные тела на две характерные группы:

• слабомагнитные (сильно измененные базальты) со средним значением магнитной восприимчивости k = 25·10<sup>-5</sup> ед. СИ;

 сильномагнитные со средним значением k = 1100·10<sup>-5</sup> ед. СИ.

Сопоставляя пространственное положение образцов из изученных сайтов (рис. 15) в структуре аномального магнитного поля, можно сделать вывод, что сильномагнитные магматические тела отвечают зонам высокоинтенсивных положительных магнитных аномалий, а слабомагнитные тела первой группы располагаются в зоне распространения силла Короновского, отличительной чертой которого является обратная полярность наиболее стабильной компоненты намагниченности, антиподальной среднему палеомагнитному направлению стабильной компоненты прямой полярности остальных объектов.

Полученные палеомагнитные и петромагнитные данные позволили внести коррективы в по-



Рис. 14 Два принципиальных типа кривых размагничивания – диаграмм Зийдервельда (пояснения в тексте)





Рис. 15 a – карта аномального магнитного поля масштаба 1:50 000 (аэромагнитные данные);  $\delta$  – магнитная модель палеовулкана по данным аэромагнитной съемки масштаба 1:50 000 [Коснырева, 2004]

#### Таблица 1

Петрографическое описание шлифов и их палеомагнитные и петромагнитные характеристики			
Site (обнажение) 1 № образца 22 D = 191,3 I = -70,3 J = 0,0079 k = 25•10 <sup>-5</sup> ед/ СИ	Site 2 № 31 D = 2,6 I = 70,1 J = 0,342 k = 859•10 <sup>-5</sup> ед. СИ		
Измененный гиалобазальт порфировый, массивный, с реликтовой гиалопилитовой структурой основной массы. Крупные вкрапленники составляют 15–18% от общего объема породы.	Туфопесчаник средне-, мелко- и тонкозернистый, слоистый (что обусловлено наличием полос разного гранулометрического состава).		
Site 3 № 57 D = 294,3 I = -1,5 J = 0,547 k = 1528•10 <sup>-5</sup> ед. СИ	Site 6 № 87 D = 19,8 I = 76,9 J = 0.152 K = 653•10 <sup>-5</sup> ед. СИ		
Измененный базальт порфировый, массивный, миндалекаменный, с реликтовой интерсертальной структурой основной массы.	Измененный биотитсодержащий базальт порфировый, массивный, миндалекаменный, с реликтовой интерсертальной структурой основной массы.		
Site 7 № 101 D = 307,5 I = -81,4 J = 0,133 K = 916•10 <sup>-5</sup> ед. СИ	Site 9 № 122 D = 241,6 I = -43,9 J = 0,00186 K = 24•10 <sup>-5</sup> ед. СИ		
Измененный долерит с офитовой, местами пойкилоофитовой и долеритовой структурой и массивной текстурой.	Измененный базальт порфировый, массивный, миндалекаменный, с реликтовой интерсертальной структурой основной массы. Крупные вкрапленники составляют 15–18% от общего объема породы.		

строение магнитных моделей геологических разрезов на изученной площади распространения среднеюрских магматических образований.

# Результаты анализа площадных магнитных данных

В начале статьи мы упоминали о наличии региональных геологических и магнитных материалов по Качинскому антиклинорию. На рис. 15, *а* по ретроспективным данным аэромагнитной съемки масштаба 1:50 000 видно, что изучаемый детальный участок исследований в левом борту р. Бодрак у с. Трудолюбовка Бахчисарайского района находится на периферии изометричной сложнопостроенной положительной магнитной аномалии. Подобный характер поля можно связать с областью развития палеовулканов на вулканической островной дуге, размеры которых в плане составляют примерно 5–15 км и хорошо согласуются с геологическими данными (рис. 1).

Простирание осей магнитных аномалий на детальном участке совпадает с направлением изодинам на региональной карте. Можно предположить, что исследуемые в данной статье магматические тела байосского возраста являются родственными (однофациальными) цепочке палеовулканов и могут дать ответы на глобальные вопросы геологической реконструкции вулканов. По данным геологов [Никишин, 2006], продукты байосской магматической активности, часть которых изучена в рамках нашего исследования, характерны для вулкана центрального типа. Также наблюдается латеральная дифференциация по типу магматических образований, которая говорит о разной глубинности магматических образований зоны субдукции, что частично подтверждается проведенными петромагнитными исследованиями. Нашими коллегами [Коснырева, 2004] по данным аэромагнитной съемки масштаба 1:50 000 была построена трехмерная магнитная модель, которая отвечает расположению нескольких палеовулканов центрального типа и хорошо согласуется с представлениями А.М. Никишина. Авторы планируют уточнить построенную трехмерную модель по новым палео- и петромагнитным данным.

По результатам высокоточных магнитных съемок масштаба 1:2000 и 1:1000 на детальном участке была построена сводная карта магнитных аномалий ∆Та, представленная на рис. 16, а. Дополнительно были проведены трансформации магнитного поля, построены карты аналитического сигнала от магнитных аномалий и вертикальной производной dTa/dz (рис. 16, б). Используя эти материалы, по результатам качественной интерпретации характеристик и морфологии магнитного поля уверенно можно провести районирование площади по типу магнитных аномалий и выделить границы распространения интрузивного комплекса J<sub>2bd</sub>, а также элементы разломной тектоники по смещениям осей локальных аномалий и резкой смене интенсивности магнитного поля, представленные на рис. 16. Система разрывных нарушений имеет ярко выраженное северозападное простирание, что хорошо согласуется с априорной геологической информацией.

Выделенные двумерные линейные положительные магнитные аномалии со средней амплитудой в северной части 500 нТл, а в южной – 100 нТл отвечают контурам интрузивных тел байосского возраста и имеют преимущественно северо-



Выделение контуров интрузивного комплекса  $J_{2bd}$  и элементов разломной тектоники на карте аномального магнитного поля  $\Delta Ta(a)$  и на карте вертикальной производной dTa/dz (б)

восточное простирание (в среднем 60° CB). Мощность выделенных интрузивных тел варьирует от 10 до 55 м. В северо-восточной части площади магнитной съемки протяженные положительные аномалии не наблюдаются, что позволяет предположить, что такая морфология отвечает области распространения эффузивного магматического комплекса J<sub>2bd</sub>. Немагнитные меловые отложения выделяются в западной части площади как более спокойное поле.

В южной части площади исследований, где по результатам палеомагнитных данных на обнажениях 1, 7, 8, 9, 10 определена преимущественно обратная намагниченность интрузивных тел, наблюдается протяженная линейная положительная магнитная аномалия сложной конфигурации, интенсивность которой варьирует от 100 до 300 нТл, что характеризует сложный петрографический состав интрузивного тела, принятого называть силлом Короновского.

Для определения положения интрузивных тел в разрезе и их взаимоотношений со вмещающими породами была решена обратная задача магниторазведки и осуществлено магнитное моделирование в GMSYS 2D по профилю AB, секущего три зоны положительных магнитных аномалий, пространственно связанных с присутствием в геологическом разрезе интрузивного комплекса J<sub>2bd</sub> (рис. 16).

На начальном этапе количественной интерпретации магнитного поля вдоль профиля АВ была построена стартовая модель, в которой учитывались только параметры индуцированной намагниченности, рассчитанные по данным петромагнитного анализа и вектора нормального магнитного поля по модели IGRF-13 (склонение 7°, наклонение 63°). На графиках аномального магнитного поля по профилю АВ (рис. 17, а) магнитные аномалии имеют сложную форму, сопряженные минимумы по амплитуде больше максимумов. Анализ приведенных графиков показывает, что представленная магнитная модель разреза не позволяет осуществить подбор с высокой точностью. На графике видно, что в области развития интрузивных тел невязка между наблюденным и рассчитанным полем достигает 20%.

На втором этапе в итоговую магнитную модель (рис. 17,  $\delta$ ) были включены полученные авторами новые палеомагнитные данные о суммарном векторе намагниченности изученных субвулканических пород ( $J_i+J_n$ ). При параметризации магнитной модели учитывалась векторная сумма индуцированной и остаточной намагниченностей. В ходе проведенных палеомагнитных исследований было определено, что вектор остаточной намагниченности в интрузивных телах может иметь как прямую, так и обратную полярность (например, в районе силла Короновского), что приводит к тому, что суммарный вектор намагничения интрузивных пород варьирует в широких пределах. Согласно теории

решения обратной задачи магниторазведки, учитывалась не только векторная сумма, но и проекция этого вектора на линию профиля. Представленный вариант магнитной модели геологического разреза, содержащего субвулканические тела бодракской свиты, подобран с высокой точностью (ошибка менее 1%) и представляет большой интерес для геологической интерпретации.

В представленной магнитной модели на рис. 17. б вдоль профиля АВ протяженностью 660 м выделяются четыре интрузивных тела, центры которых располагаются на пикетах 165, 266, 295, 520 м, круто падающих на северо-запад, с углами падения от 40 до 83°. Толща эффузивных пород в западной части площади располагается в районе пикетов 0-100, что согласуется с результатами геолого-тектонического картирования (рис. 16). Значения магнитной восприимчивости для западной части области развития эффузивных пород изменяется от 700-10-5 до 1180-10-5 ед. СИ. Магнитная восприимчивость интрузивных тел лежит в диапазоне от 1200-10<sup>-5</sup> до 2100-10<sup>-5</sup> ед. СИ. Модуль вектора естественной остаточной намагниченности варьирует от 0,15 до 1,20 А/м.

Горизонтальная мощность тела на пикете 165 составляет 27 м, его глубина – 7 м. Тела на пикетах 266 и 295 м имеют приповерхностное залегание и горизонтальную мощность в 7 и 10 м соответственно. Тело на пикете 520 залегает на глубине 5 м и имеет горизонтальную мощность около 40 м.

Сравнивая представленные магнитные модели на рис. 17, a и b, отчетливо видно, что включение в магнитное моделирование палео- и петромагнитных экспериментальных данных существенно уточняет и детализирует геологический разрез с присутствием разнотипных магматических тел средней юры.

Планируется в дальнейшем использовать уточненные магнитные модели 2D для создания 3D-модели строения палеовулкана в пределах Качинского антиклинория по материалам аэромагнитных съемок с целью изучения вопроса формирования магматических образований средней юры.

ВЫВОДЫ. В рамках данного исследования проанализированы материалы региональных аэромагнитных съемок и их интерпретации и показано, что изученная система интрузивных тел в юго-западной части Качинского антиклинория Крыма является периферийной частью палеовулкана центрального типа. По результатам петромагнитного анализа был определен состав магнитных минералов интрузивного комплекса средней юры (магнетит и низкотитанистый титаномагнетит). По детальным площадным магнитным съемкам масштаба 1:1000 и 1:2000, картам трансформаций магнитного поля проведено районирование территории и уверенно откартирована сложная система северо-



Рис. 17

*a* - стартовая магнитная модель вдоль профиля AB с учетом только индуцированной намагниченности; *δ* - результативная магнитная модель, построенная с учетом суммарного вектора намагниченности (векторной суммы индуцированной и остаточной) по данным лабораторных экспериментов. Пунктирная линия на графиках – наблюденные значения поля ΔTa, сплошная линия – рассчитанные по модели значения поля ΔTa, красная линия – ошибка подбора (невязка)

восточного простирания интрузивного комплекса бодракской свиты средней юры с элементами разломной тектоники северо-западного простирания.

Построена серия магнитных моделей геологического разреза, секущих интрузивный комплекс, дающих новые данные о пространственном положении магматических тел в разрезе, их глубине залегания и горизонтальной мощности. Анализ результативных моделей показал, что при магнитном моделировании магматических тел необходимо учитывать суммарный вектор намагниченности (векторную сумму индуцированной и остаточной намагниченностей). Привлечение полученных авторами новых данных по палеои петромагнитным характеристикам интрузивных образований позволило получить новые варианты геологического разреза, требующие всестороннего обсуждения со специалистами, изучающими среднеюрский магматический комплекс.

#### Благодарность

Авторы статьи выражают благодарность сотрудникам лаборатории магниторазведки геологического факультета МГУ М.В. Косныревой и А.Ю. Паленову за предоставленные площадные магнитные данные.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Корнейко А.А., Веселовский Р.В. Новые данные о палеомагнетизме среднеюрского магматического комплекса долины р. Бодрак (Горный Крым) и их геологическая интерпретация // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2013. № 4. С. 10–17.

2. Морозова Е.Б., Сергеев С.А., Суфиев А.А. U-Pb цирконовый (SHRIMP) возраст Джидаирской интрузии как реперного объекта для геологии Крыма // Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2012. Вып. 4. С. 25–33.

3. Лебединский В.И., Соловьев И.В. Байосские вулканоструктуры Горного Крыма // Геологический журнал. № 4. 1988. С. 85–93. 4. Лебединский В.И. Пластовые интрузии в таврической серии и их роль в геологической истории Горного Крыма // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1962. № 4. С. 32–39.

5. Никишин А.М., Алексеев А.С., Барабошкин Е.Ю., Болотов С.Н., Копаевич Л.Ф., Никитин М.Ю., Панов Д.И., Фокин П.А., Габдуллин Р.Р., Гаврилов Ю.О. Геологическая история Бахчисарайского района Крыма (учебное пособие по Крымской практике). М.: изд-во МГУ, 2006.

6. Печерский Д.М., Диденко А.Н., Сафонов В.А. и др. Петромагнитная и палеомагнитная характеристика среднеюрского вулканизма Горного Крыма // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1991. № 3. С. 85–104. 7. Спиридонов Э.М., Федоров Т.О., Ряховский В.М. Магматические образования Горного Крыма. Статья 1 // Бюллетень МОИП. Отд. геологии. 1990. Т. 65. Вып. 4. С. 119–133.

8. Храмов А.Н., Гончаров Г.И., Комиссарова Р.А. и др. Палеомагнитология. Л.: Недра, 1982. 312 с.

9. Юдин В.В. Геодинамика Крыма. Симферополь: ДИ-АЙПИ, 2011. 336 с.

10. *Юдин С.В.* Палеомагнитные исследования среднеюрских образований Горного Крыма // Вестн. СПбГУ. Сер. 7. Геология. 2007. № 1. С. 21–31.

REFERENCES

1. Korneiko AA, Veselovskiy RV. New data on paleomagnetism of the Middle Jurassic magmatic complex of Bodrak river valley (Crimea) and their geological interpretation. Bulletin of Moscow University. Series 4. Geology. 2013; (4): 10–17 (in Russian).

2. *Morozova EB, Sergeev SA, Sufiev AA.* U-Pb zircon (SHRIMP) dating of Dzhidair intrusion as a reference object for geology of Crimea. *Bulletin of St. Petersburg State University.* Ser. 7. 2012; (4): 25–33 (in Russian).

3. Lebedinsky VI, Soloviev IV. Bayos volcanic structures of the Mountain Crimea. *Geological journal*. 1988; (4): 5–93 (in Russian).

 Lebedinsky VI. Stratal intrusions in Tauride series and their role in geological history of Crimea. *Izv. Academy of Sci*ences of the USSR. Ser. geol. 1962; (4): 32–39 (in Russian).
Nikishin AM, Alekseev AS, Baraboshkin EYu, Bolo-

5. Nikishin AM, Alekseev AS, Baraboshkin EYu, Bolotov SN, Kopaevich LF, Nikitin MYu, Panov DI, Fokin PA, Gabdullin RR, Gavrilov YuO. Geological history of Bakhchisarai region, Crimea (textbook on Crimean practice). Moscow: publishing house of Moscow State University, 2006 (in Russian).

6. Pechersky DM, Didenko AN, Safonov VA et al. Petromagnetic and paleomagnetic characteristics of Middle Jurassic volcanism in Crimea. *Izv. Academy of Sciences of the* USSR. Ser. geol. 1991; (3): 85–104 (in Russian). 7. Spiridonov EM, Fedorov TO, Ryakhovsky VM. Magmatic formations of Mountain Crimea. Article 1. Bulletin MOIP. Dept. geology. 1990. T. 65. Issue. 4. P. 119–133 (in Russian).

11. Enkin R.J. A computer program package for analy-

12. Kirschvink J.L. The least-square line and plane and

13. Meijers M.J.M. et al. Jurassic arc volcanism on

sis and presentation of paleomagnetic data // Pacific Geosci.

the analysis of paleomagnetic data // Geophys. J.R. Astron.

Crimea (Ukraine): Implications for the paleo-subduction zone configuration of the Black Sea region. Lithos Elsevier

Centre. Geol. Survey of Canada. 1994. P. 16.

Soc. 1980. Vol. 62. P. 699-718.

119 (2010) 412-426.

8. Khramov AN, Goncharov GI, Komissarova RA et al. Paleomagnetology. Saint Petersburg: Nedra, 1982. 312 p. (in Russian).

9. *Yudin VV*. Geodynamics of Crimea. Simferopol: DI-AIPI, 2011. 336 p. (in Russian).

10. Yudin SV. Paleomagnetic studies of Middle Jurassic formations in Crimea. Vestn. SPbSU. Ser. 7. Geology. 2007; (1): 21–31 (in Russian).

11. Enkin RJ. A computer program package for analysis and presentation of paleomagnetic data. Pacific Geosci. Centre. Geol. Survey of Canada. 1994. P. 16.

12. *Kirschvink JL*. The least-square line and plane and the analysis of paleomagnetic data. *Geophys. J. R. Astron. Soc.* 1980; (62): 699–718.

13. *Meijers MJM et al.* Jurassic arc volcanism on Crimea (Ukraine): Implications for the paleo-subduction zone configuration of the Black Sea region. Lithos Elsevier 119 (2010) 412–426.

Положительная рецензия 05.08.2021

# ОБ АВТОРАХ



ЗОЛОТАЯ Людмила Алексеевна Окончила кафедру геофизи-

ки геологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. Кандидат геолого-минералогических наук, заслуженный преподаватель, доцент кафедры геофизики. Область научных ин-

тересов в основном связана с изучением геофизических полей почв, рудных объектов, метеоритных кратеров и археологических объектов. Автор 5 монографий и более 90 научных публикаций.



ВЕСЕЛОВСКИЙ Роман Витальевич

Доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры динамической геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Заместитель директора по научной работе ИФЗ РАН. Научные интересы связаны с теоретическими и прак-

тическими исследованиями в области палеомагнетизма. Автор 150 научных публикаций.



# ФИЛИППОВИЧ Алексей Валерьевич

Аспирант кафедры геофизических методов исследований земной коры геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. В настоящий момент совмещает учебу в аспирантуре с работой в качестве геофизика в ООО «Геолаб».



# ФЕДЮКИН Иван Владимирович

Научный сотрудник ИФЗ РАН в лаборатории археомагнетизма и эволюции главного геомагнитного поля. Область научных интересов связана с получением и использованием палео- и петромагнитных данных для решения задач палеогеографии, палеокли-

матологии, археологии и других наук о Земле. Автор более 40 научных публикаций.