

Код МРНТИ 37.15.31

А. Шарапатов^{1,2}, Б.Т. Жумабаев¹, *А.Б. Садуов², Н. Асирбек²
¹ТОО «Институт ионосферы» (г. Алматы, Казахстан),
²КазНУТУ им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан)

ГЕОМАГНИТНЫЕ ДАННЫЕ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ГЕОНАУК

Аннотация. В петрофизических исследованиях установлена связь между значениями магнитных свойств (намагниченность, магнитная восприимчивость и проницаемость) геологического состава (среды) с его состоянием и изменениями в нем. Результаты носят более локальный характер. В магниторазведке (магнитометрии), когда наблюдения магнитного поля объекта изучения (среды, явления) осуществляются дистанционно, результаты отличаются объемом, глубиной в пространстве и продолжительностью во времени. Результативность использования магнитных свойств пород и их поля при изучении состава, глубинного строения структур и процессов в недрах Земли подтверждены на конкретных примерах. Совершенствование методов, методики и техники наблюдений, алгоритмов обработки и истолкования геомагнитных данных увеличивает вероятность получения однозначных результатов при изучении состава, состояния геологической среды и прогнозе природных явлений.

Ключевые слова: магниторазведка, геомагнитное поле, петрофизика, магнитные свойства, магнитострикция, угол магнитного склонения, тектонические плиты, землетрясение.

Геомагниттік мәліметтер және оларды геоғылымдар мәселелерін шешуде қолдану

Аннотация. Петрофизикалық зерттеулерде геологиялық құрамның (ортаның) магниттік қасиеттері (магниттелу, магнит қабылдағыштық және өтімділік) мән-дерінің оның күйімен және ондағы өзгерістермен байланысы анықталды. Нәтижелер жергілікті сипатта болады. Магниттік барлауда (магнитометрия) зерттеу объектісінің (ортаның, құбылыстың) магнит өрісін бақылау қашықтан жүргізіледі, нәтижелер кеңістікте көлемімен, тереңдігімен және уақыт бойынша ұзақтығымен ерекшеленеді. Жер қойнауындағы құрылымдардың құрамын, тереңдік құрылысын және ондағы процестерді зерттеуде таужыныстардың магниттік қасиеттері мен олардың өрістерін қолданудың тиімділігі нақты мысалдар арқылы дәлелденді. Бақылау әдістерін, әдістемесін және техникасын, геомагниттік деректерді өңдеу және түсіндіру алгоритмдерін жетілдіру геологиялық ортаның құрамын, күйін зерттеуде және ондағы табиғи құбылыстарды болжау кезінде нәтижелер алу ықтималдығын арттырады.

Түйінді сөздер: магниттік барлау, геомагниттік өріс, петрофизика, магниттік қасиеттер, магнитострикция, магниттік бұрылу бұрышы, тектоникалық плиталар, жерсілкініс.

Geomagnetic data and their use when solving geosciences problems

Abstract. In petrophysical studies, a connection has been established between the values of magnetic properties (magnetization, magnetic susceptibility, and permeability) of the geological composition (environment) with its state and changes in it. The results are more local in nature. In magnetic prospecting (magnetometry), when observations of the magnetic field of an object of study (environment, phenomenon) are carried out remotely, the results differ in volume, depth in space and duration in time. The effectiveness of using the magnetic properties of rocks and their fields in studying the composition, deep structure of structures and processes in the bowels of the Earth has been confirmed using specific examples. Improving the methods, techniques and technology of observations, algorithms for processing and interpreting geomagnetic data increases the likelihood of obtaining unambiguous results when studying the composition, state of the geological environment and forecasting natural phenomena.

Key words: magnetic prospecting, geomagnetic field, petrophysics, magnetic properties, magnetostriction, magnetic declination angle, tectonic plates, earthquake.

Введение

Свойство некоторых горных пород притягивать куски железа впервые было упомянуто в 6 веке до нашей эры греческим физиком и философом Фалесом. Француз Пьер Пелерен де Марикур (Петр Перегрин) в 13 веке был первым ученым, кто научно изучал свойства магнита.

Примеры использования компаса для определения сторон света впервые упоминаются в книге Цзэн Гунляна «Собрание важнейшего из военных канон», датированной 1044 годом [1].

Закон Кулона (1875 год), являющийся началом развития теории электромагнетизма, заложил теоретическую основу применения геомагнитного поля для решения прикладных задач, в том числе, геологоразведочных. Площадные магнитные съемки в современном технологическом понимании начали реализовываться с начала 20-го века. Так появился метод магниторазведки для поисков и разведки месторождения полезных ископаемых. Хотя есть отдельные примеры использования компаса в поисках магнетитовых руд еще раньше – в Швеции (1640 год).

Современная геофизика для изучения геомагнетизма обладает высокими технологиями. Она проводит исследования, где размеры объектов исследования и ими занимаемые пространственные положения могут изменяться в очень широких пределах: от отдельно взятых образцов горных пород до крупных тектонических структур с материковой площадью. Круг решаемых задач охватывает широкие масштабы: от изучения магнитных свойств от-

дельных пород до оконтуривания границ крупных тектонических структур по магнитному полю; от установления связей между магнитным и другими физическими свойствами геологических сред до глубинных процессов, явлений в Земле по данным геомагнитных наблюдений.

Методы и материалы

Систематизация сведений о практическом использовании магнитных величин при решении задач геонаук охватывает геообъекты и их свойства от намагниченности образцов/проб/керн горных пород до элементов материковых магнитных полей тектонических плит Земли. Она стала возможной в результате сбора, анализа и обобщения литературных и фондовых геолого-геофизических и других материалов.

Некоторые аналитические связи магнитных величин с изучаемыми прикладными параметрами объектов исследований приведены в таблице 1. Они в разных адаптированных к условиям решаемых задач формулировках могут использоваться при выполнении вычислительных работ, в том числе, с применением компьютерных программ.

Использование магнитных величин для решения прикладных задач

Петрофизические связи горных пород. Изучение магнитных свойств горных пород по образцам/кернам/пробам может дать информацию об особенностях условия и состояния среды их естественного расположения.

Таблица 1

Примеры формул для вычисления параметров объектов исследований с использованием магнитных данных [2]

Кестелі

Магниттік деректер арқылы зерттеу нысандарының параметрлерін есептеу формулаларының мысалдары [2]

Table 1

Examples of formulas for calculating the parameters of research objects using magnetic data [2]

Магнитные параметры	Исследуемые параметры	Аналитическая связь между магнитными и исследуемыми параметрами
Намагниченность тела – J , А/м	Форма тела	$J = \chi \cdot T / (1 + \chi N)$, где T – напряженность намагничивающего поля, А/м; χ – магнитная восприимчивость тела*; N – коэффициент размагничивания*, зависящий только от формы тела.
Полный вектор напряженности магнитного поля на примере шара – T , А/м	V, r, R	$T = (M \cdot r^3) \sqrt{1 + 3\cos^2\theta}$, где r – глубина до центра шара (источника), м; θ – угол между r расстоянием от центра шара до точки наблюдения, градус; $M = J \cdot V$, где M – магнитный момент тела, А·м ² ; V – объем шара, м ³ ; $V = \frac{4}{3}\pi R^3$, где R – радиус шара, м

* χ, N – безразмерные величины

Важным является выявление и знание о взаимосвязи магнитных свойств пород с другими их свойствами (рисунок 1).

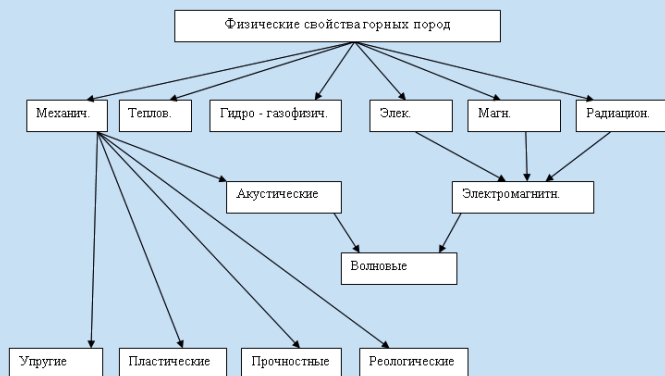


Рис. 1. Внутренние связи в системе физических свойств горных пород [3].

Сурет 1. Тау жыныстардың физикалық қасиеттері жүйесіндегі ішкі байланыстар [3].

Figure 1. Internal connections in the system of physical properties of rocks [3].

Уменьшение первоначальных значений магнитной, как и диэлектрической, проницаемости горных пород связано с увеличением их трещиноватости, в свою очередь являющееся следствием выветривания, знакопеременного в прошлом тектонического давления и воздействия высоких температур. Изменение магнитной (электрической) проницаемости в сторону увеличения говорит о повышении всестороннего давления на горную породу. Перечисленные зависимости показывают, что по результатам изучения магнитных свойств пород можно оценить степень

влияния внешних факторов на среду размещения этих пород. Уменьшение магнитной проницаемости пород также может информировать об их строении – увеличении их пористости [3].

Геомагнитное поле как инструмент изучения строения геологических структур и прогноза месторождений полезных ископаемых. Определяющими факторами характера геомагнитного поля, главным образом, являются вещественный состав, магнитные свойства горных пород и форма, размеры, пространственное положение геологических тел и особенности строения структур. Такие закономерности, как повышенная магнитная проницаемость – присутствие в составе пород металлических минералов; увеличение магнитной восприимчивости – возрастание основности пород или содержания ферромагнитных включений в породах и т. д. уже многие десятилетия служат основанием для решения геологических поисково-разведочных задач с помощью геофизического метода – магнитной разведки.

На рисунке 2 показано, как аномальные значения вертикальной составляющей напряженности магнитного поля (ΔZ_a) выделяют блочное строение разреза и пространственное положение железоруденных скарно-магнетитового типа в Валерьяновской зоне Торгайской впадины.

Напряженность магнитного поля участвует в процессе гидротермального оруденения: влияние внутреннего давления, температуры и электромагнитного поля на глубинную воду как на диамагнетика, выталкивает ее на поверхность; при этом вода вступает в химическую реакцию с различными веществами, растворяет их, что приводит к рудоконцентрации.

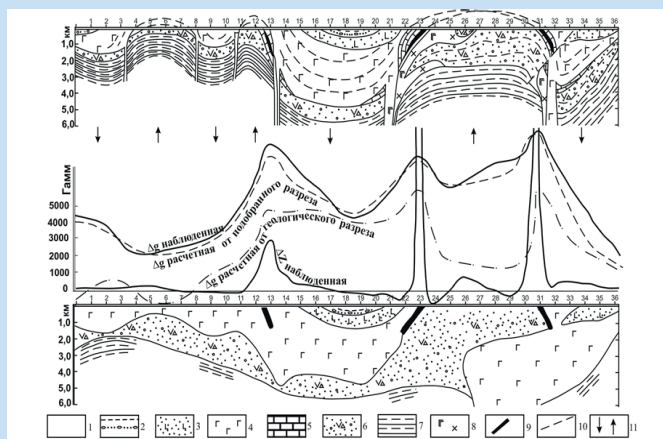


Рис. 2. Пример информативности параметра магнитного поля ($\Delta Z_{\text{д}}$) при решении геологической задачи (по П.Н. Кобзарю) [4].

Сурет 2. Геологиялық тапсырманы орындауда магнит өрісі параметрі ($\Delta Z_{\text{д}}$) мәліметтілігінің мысалы (П.Н. Кобзарь бойынша) [4].

Figure 2. An example of the informativeness of the magnetic field parameter ($\Delta Z_{\text{д}}$) when solving a geological problem (according to P.N. Kobzar) [4].

Условные обозначения: 1 – рыхлые отложения мезо-кайнозоя (плотность – 1,80 г/см³ и магнитная восприимчивость – 0,00·10⁻⁶ СГС); 2 – конгломераты, песчаники и аргиллиты верхнепалеозойские (2,64 и 0,00); 3 – преимущественно красноватые вулканогенные породы основного, реже среднего состава верхнепалеозойские (2,70 и 500); 4 – зеленоцветные вулканогенные породы основного, реже среднего состава верхнеюрские (2,76 и 1200); 5 – известковистые вулканогенно-осадочные толщи средневишне-нижнеюрские (2,70 и 100); 6 – зеленоцветные вулканогенные породы среднего и основного состава средневишнейские (2,72 и 800); 7 – осадочные породы (аргиллиты, алевролиты, известняки и др.) верхнетурне-нижневишнейские (2,64 и 15); 8 – габбро-диориты гранитизированные (2,70 и 900); 9 – руды магнетитовые (3,60 и 60000); 10 – разрывные нарушения послерудные; 11 – направления преобладающих движений блоков.

По данным сейсмических и магнитных методов изучения Земли установлено наличие в земной коре и мантии ферромагнитных включений с разной пространственной ориентацией. Под воздействием напряженности геомагнитного поля внутри Земли происходит процесс магнитострикции ферромагнетиков с повышением температуры и изменением расстояний между атомами. Данный процесс приводит к изменению формы и размеров кристаллического тела: никель сжимается, железо и его сплавы расширяются; у редкоземельных металлов и их сплавов, соединений урана изменения по длине образцов достигают 2-3%. Так происходит деформация породообразующих минералов-ферромагнетиков при намагничивании их в магнитном поле.

Дифференциация горных пород по магнитным свойствам – способности их реагировать на намагничивающее

поле широко используется при обогащении руды, намного в меньших масштабах такой контраст также можно использовать как способ их разрушения [3].

Палеомагнетизм и геохронология. Результаты палеомагнитных исследований эволюции геомагнитного поля и остаточной намагниченности (J_r) могут свидетельствовать о геологических процессах (например, об эндогенной активности определенной эры) прошлого, может быть показателем условий осадконакопления или обеспечить информацией построение магнитостратиграфического разреза на территориях исследования. Исследование материалов из культурных горизонтов многослойного археологического памятника обеспечивает рядом данных, следующих друг за другом по временной шкале, что весьма важно для построения достоверной картины изменения древнего геомагнитного поля.

На примере одного археологического памятника Восточной Сибири определено, что геомагнитное поле в последние тысячелетия меняется с характерным временем в несколько тысячелетий. Так с VII по середину IV тыс. до нашей эры (н.э.) происходит понижение, далее с III по I тысячелетий до н.э. наблюдается повышение значений T на несколько десятков микроТесла (мкТл). Подтверждены периодичный характер изменения магнитного поля Земли. За последнее три тысячелетия наблюдается понижение напряженности геомагнитного поля. Возрасты разных слоев памятника по радиоуглеродному методу определения возраста отложений [5].

Для изучения эволюции Западно-Иберийская окраины в мезо-кайнозое и влияния в ней соляной тектоники были изучены палеомагнитные данные юрских карбонатов, включающих покровные породы диапировой системы. Анализ палеомагнитных компонентов, переносимых магнетитом, и расчеты направления перемагничивания подтвердили роль мезозойской соляной тектоники в современном структурировании этого сектора Лузитанского бассейна [6].

Параметры геомагнитного поля как индикаторы локации природных явлений. Актуальным остается выявление геофизических (магнитных) и других предвестников опасного для человечества природного явления как землетрясение.

Многими исследователями отмечены пространственно-временные изменения напряженности магнитного поля (T) при воздействии упругих избыточных напряжений на горные породы вблизи эпицентральных зон. Причинами такого эффекта могут быть изменение ориентации магнитных моментов ферромагнетиков и остаточной намагниченности горных пород под воздействием избыточных напряжений (Трухин, 1973) или два основных механизма возникновения предвестников в стационарном геомагнитном поле – тектономагнитный (пьезомагнитный) и электрокинетический эффекты (Rikitake T., 1979; Fitterman D.V., 1978) в зависимости от направления главных напряжений в очаговой зоне землетрясений (Рзаев, 2005) [7, 8]. Результаты использования множественной регрессии для анализа предварительного исследования взаимосвязи между ультранизкочастотными магнитными пульсациями Pc4 (6,7-22 МГц) и Pc5 (1,7-6,7 МГц), параметрами

солнечного ветра и геомагнитными индексами показали признаки предвестников землетрясений в регионах низких широт [9]. Также выделена проблема выявления сейсмомагнитного эффекта, возникающего в результате индуцированных напряжением модуляций намагниченности (J). В качестве причины приводятся естественные вариации магнитных возмущений [10].

На данное время учеными получены более достоверные результаты по локализации сейсмоактивных территорий, в том числе, с применением данных геомагнитного поля. Анализ проводился по границам тектонических плит дивергентного (спрединг) и конвергентного (субдукция или орогены) типов, куда приурочены сейсмоактивные зоны (рисунок 3).

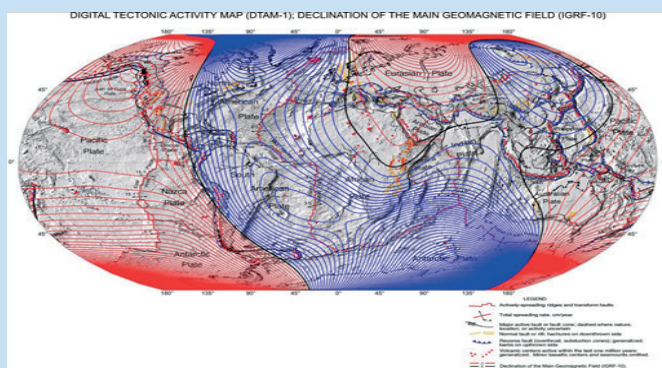


Рис. 3. Карта тектонической активности Земли (DTAM), совмещенная с картой углов геомагнитного склонения D [11].

Сурет 3. Жердің тектоникалық белсенділігінің (DTAM) геомагниттік бұрылу бұрыштарымен D біріктірілген картасы [11].

Figure 3. Earth tectonic activity map (DTAM), combined with a map of geomagnetic declination angles D [11].

Расчеты, пространственный анализ тектонической карты и мировой карты изогон проведены учеными Института сейсмологии РК (Хачикян Г.Я. и др.). Карта на рисунке 3 получена распределением значений (отрицательные – синими, положительные – красными) угла магнитного склонения D с помощью ГИС-технологий. Результаты позволили выявить некоторые закономерности в пространственных положениях границ сеймотектонических плит и изогон D :

- основное количество землетрясений – около 16 000 – происходит в тех регионах планеты, где значения углов геомагнитного склонения сосредоточены вблизи нуля и изменяются примерно от -3° до $+4^{\circ}$ (рисунок 4);

- только 12% всей длины границ дивергентного типа приходится на регионы с теми же значениями D . Остальная длина границ дивергентного типа приходится на регионы с большими углами геомагнитного склонения как положительными, так и отрицательными (рисунок 5);

- основное число землетрясений происходит в регионах с конвергентными границами тектонических плит;

- существует тесная взаимосвязь между сейсмическими, тектоническими процессами и структурой главного магнитного поля Земли.

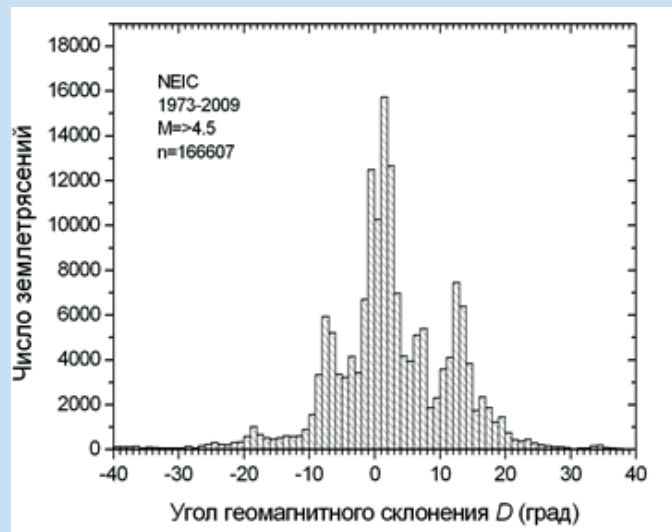


Рис. 4. Гистограмма распределения числа землетрясений с магнитудой $M \geq 4.5$, в зависимости от значений угла геомагнитного склонения [11].

Сурет 4. Геомагниттік бұрылу бұрышының мәндері мен магнитудасы $M \geq 4.5$ жерсілкінісі санының байланыс гистограммасы [11].

Figure 4. Histogram of the distribution of the number of earthquakes with magnitude $M \geq 4.5$, depending on the values of the geomagnetic declination angle [11].

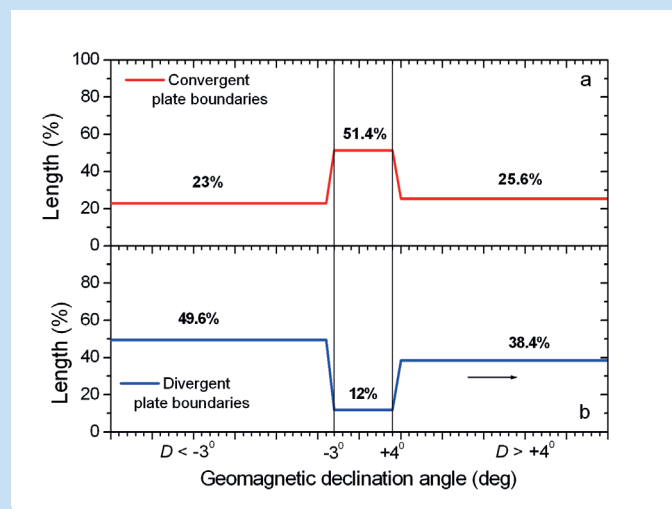


Рис. 5. Длина в процентах границ тектонических плит дивергентного (а) и конвергентного (б) типов в регионах с малыми углами геомагнитного склонения D (от -3° до $+4^{\circ}$), в регионах с $D < -3^{\circ}$ и регионах с $D > +4^{\circ}$ [11].

Сурет 5. Геомагниттік бұрылу бұрыштары D (-3° -дан $+4^{\circ}$ -қа дейін), $D < -3^{\circ}$ және $D > +4^{\circ}$ аймақтардағы дивергентті (а) және конвергентті (б) тектоникалық плиталардың шекараларының пайыздық ұзындықтары [11].

Figure 5. Length in percentage of boundaries of tectonic plates of divergent (a) and convergent (b) types in regions with small geomagnetic declination angles D (from -3° to $+4^{\circ}$), in regions with $D < -3^{\circ}$ and regions with $D > +4^{\circ}$ [11].

Заключение и вывод

Анализ и обобщение результатов опубликованных и фондовых работ, собственно проведенных исследований и оценка современного состояния изученности темы показали, что:

1. Исследования в геонауках с привлечением данных магнитных величин (магнитных свойств пород и сред, характера пространственного/дистанционного распределения значений геомагнитного поля) имеют фундаментальное и прикладное значения;

2. Существует необходимость разработки новых методических приемов в установлении петрофизических свя-

зей между наблюдаемым магнитным параметром (свойство и поле) и изучаемым свойством среды и/или природных явлений.

Благодарность

Данная статья финансировалась Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по проекту ИРН №АР19679336, тема: «Разработка методов повышения эффективности использования геомагнитных вариаций в качестве предвестников землетрясений», ТОО «Институт ионосферы» (г. Алматы, Казахстан).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тихвинский Л. История Китая с древнейших времен до начала XXI века: в 10 томах. / Гл. ред. С.Л. Тихвинский: Том. IV. Период Пяти династий, империя Сун, государства Ляо, Цзинь, Си Ся (907-1279). / Отв. ред. И.Ф. Попова. – Москва: Наука, Восточная литература. – 2016. – Т. IV. – С. 942 (на русском языке)
2. Логачев А.А., Захаров В.П. Магниторазведка. // Ленинград: Недра. – 1979. – С. 351 (на русском языке)
3. Порцевский А.К., Катков Г.А. Основы физики горных пород, геомеханики и управления состоянием массива. // Москва, МГОУ. – 2004. – С. 120(на русском языке)
4. Шарапатов А. Особенности глубинного строения Торгайской палеорифтовой структуры и критерии прогноза магнетитовых месторождений по геофизическим данным. // Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. – Алматы. – 2010. – С. 97 (на русском языке)
5. Бураков К.С., Начасова И.Е. Напряженность геомагнитного поля в X-I тыс. до н.э. // Материалы семинара «Палеомагнетизм и магнетизм горных пород: теория, практика, эксперимент». Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. – 2011. – С. 291 (на русском языке)
6. Pablo Calvín, Belén Oliva-Urcia, Jose C. Kullberg, Sara Torres-López, Antonio Casas-Sainz, Juan J. Villalain, Ruth Soto. Применение магнитных методов для определения эволюции реактивных диапиров: на примере Лузитанского бассейна. // Тектонофизика. – № ст.230088. – 2023. – Т. 8685 (на английском языке)
7. Исаева М.И., Рзаев А.Г. Магнитные свойства и сейсмомагнитный эффект горных пород Шеки-Шамхинской сейсмоактивной зоны. // Известия академии наук Азербайджана, серия «Наука о Земле». – 2006. – №2. – С. 38-41 (на русском языке)
8. Белослюдцев О.М., Узбеков Н.Б., Жарасова С.Б., Мусаев Е.М., Узбекова С.Ж., Раймбеков Б.К. Геомагнитные аномалии накануне землетрясений в Северном Тянь-Шане. // Вестник КазНТУ, науки о Земле. – Алматы: КазНТУ имени К.И. Сатпаева. – 2013. – №6. – С. 3-11 (на русском языке)
9. Syed Zafar S. N. A., Umar, Roslan, Sabri N. H., Jusoh M. H., Yoshikawa A., Abe S. and Uozumi T. Статистический анализ взаимосвязи между УНЧ-волнами Pc4 и Pc5, солнечными ветрами и геомагнитными бурями для прогнозирования предвестников сигнатур землетрясений в регионах низких широт. // Серия конференций IOP: Науки о Земле и окружающей среде. – № ст.012010. – 2021. – Т. 880. – Вып. 110 (на английском языке)
10. Sharma, B., Chingtham, P., Prajapati, S.K. В поисках сейсмомагнитных сигналов умеренных землетрясений Северо-Западных Гималаев. // Журнал наук о системе Земли. – 2022. – Т. 131. – Вып. 4. – № ст. 256 (на английском языке)
11. Хачикян Г.Я., Аширов Б.М., Жакупов Н.С., Кадырханова Н.Ж., Жанабаева С.Б., Джанабилова С. Главное магнитное поле, границы тектонических плит и сейсмичность Земли. // Известия научно-технического общества «КАХАК». – 2011. – №3(33). – С. 100-103 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. С.Л. Тихвинский. Қытайдың көне заманнан 21 ғасырдың басына дейінгі тарихы: 10 томдық. / Ч. ред. С.Л. Тихвинский: том. IV. Бес әулет кезеңі, Сун империясы, Ляо, Цзинь, Си Ся мемлекеттері (907-1279 ж.) / Жауапты ред. И.Ф. Попова. – Мәскеу: Ғылым, Шығыс әдебиеті. – 2016. – Т. IV. – Б. 942 (орыс тілінде)
2. Логачев А.А., Захаров В.П. Магниттік барлау. // Ленинград: Недра. – 1979. – Б. 351 (орыс тілінде)

3. Порцевский А.К., Катков Г.А. Таужыныстардың физикасы, геомеханика және массивтерді мемлекеттік басқару негіздері. // Мәскеу, МГОУ. – 2004 – Б. 120 (орыс тілінде)
4. Шарapatov Ә. Торғай палеорифт құрылымының терең құрылысының ерекшеліктері және геофизикалық мәліметтер негізінде магнетит кенорындарын болжау критерийлері. // Геология-минералогия ғылымдарының кандидаты ғылыми дәрежесін алу үшін диссертация. – Алматы. – 2010. – Б. 97 (орыс тілінде)
5. Бураков К.С., Начасова И.Е. Біздің дәуірімізге дейінгі X-I мыңжылдықтағы геомагниттік өрістің күші. // «Таужыныстарлық палеомагнетизмі және магнетизмі: теория, тәжірибе, эксперимент» семинар материалдары. РҒА О. Ю. Шмидт атындағы Жер физикасы институты. – 2011. – Б. 291 (орыс тілінде)
6. Pablo Calvín, Belén Oliva-Urcia, Jose C. Kullberg, Sara Torres-López, Antonio Casas-Sainz, Juan J. Villalain, Ruth Soto. Reaktivті diapirлердің эволюциясын анықтау үшін магниттік әдістерді қолдану: Луситания бассейнінің мысалында / Тектонофизика. – 2023. – Т. 8685. – № Мақ.230088 (ағылшын тілінде)
7. Исаева М.И., Рзаев А.Г. Шеки-Шамахи сейсмоактивті аймақ тау жыныстарының магниттік қасиеттері және сейсмомагниттік әсері. // Әзірбайжан Ғылым академиясының хабарлары, «Жер туралы ғылымдар» сериясы. – 2006. – №2. – Б. 38-41 (орыс тілінде)
8. Белослюдов О.М., Өзбеков Н.Б., Жарасова С.Б., Мұсаев Е.М., Өзбекова С.Ж., Райымбеков Б.К. Солтүстік Тянь-Шаньдағы жерсілкініс қарсаңындағы геомагниттік аномалиялар. // ҚазҰТУ Хабаршысы, Жер туралы ғылымдар. – Алматы: Қ.И.Сәтбаев атындағы ҚазҰТУ. – 2013. – №6. – Б. 3-11 (орыс тілінде)
9. Syed Zafar S. N. A., Umar, Roslan, Sabri N. H., Jusoh M. H., Yoshikawa A., Abe S. and Uozumi T. Төмен ендік аймақтарындағы жерсілкіністің прекурсорлық белгілерін болжау үшін Pc4 және Pc5 УТЖ толқындары, «күн желдері» және геомагниттік дауылдар арасындағы байланысты статистикалық талдау. // IOP конференциялар сериясы: Жер және қоршаған орта туралы ғылым. – 2021. – Т. 880. – Шығ. 110. – № мақ.012010 (ағылшын тілінде)
10. Sharma, B., Chingtham, P., Prajapati, S. K. Гималайдың солтүстік-батысындағы орташа жер сілкінісінің сейсмомагниттік сигналдарын іздеу. Жер жүйесі туралы ғылымдар журналы. – 2022. – Т. 131. – Шығ. 4. – № мақ.256 (ағылшын тілінде)
11. Хачикян Г.Я., Аширов Б.М., Жакупов Н.С., Қадырханова Н.Ж., Жаңабаева С.Б., Жанабиллова С. Негізгі магнит өрісі, тектоникалық плиталардың шекаралары және Жердің сейсмикалық деңгейі. // «КАХАК» ғылыми-техникалық қоғамының хабарлары. – №3(33). – 2011. – Б. 100-103 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. S.L. Tikhvinsky. Istoriya Kitaya s drevneishikh vremen do nachala XXI veka: v 10 tomakh. / Gl. red. С.Л. Tikhvinskii: Tom. IV. Period Pyati dinastii, imperiya Sun, gosudarstva Lyao, Tszin', Si Sya (907-1279). / Otv. red. I.F. Popova [History of China from ancient times to the beginning of the 21st century: in 10 volumes. / Ch. ed. S.L. Tikhvinsky: Vol. IV. Period of the Five Dynasties, Song Empire, states of Liao, Jin, Xi Xia (907-1279). / Rep. ed. I.F. Popova.] Moskva: Nauka, Vostochnaya literatura = Moscow: Science, Oriental Literature – 2016. – P. 942 (in Russian)
2. Logachev A.A., Zakharov V.P. Magnitorazvedka [Magnetic exploration]. // Leningrad: Nedra = Leningrad: Nedra. – 1979. – P. 35 (in Russian)
3. Portsevsky A.K., Katkov G.A. Osnovy fiziki gornyykh porod, geomekhaniki i upravleniya sostoyaniem massiva [Fundamentals of rock physics, geomechanics and massif state management]. Moscow, MGOU = Moskva, MGOU. – 2004. – P. 120 (in Russian)
4. Sharapatov A. Osobennosti glubinnogo stroeniya Torgaiskoj paleoriftovoi struktury i kriterii prognoza magnetitovykh mestorozhdenii po geofizicheskim dannym [Features of the deep structure of the Torgai paleorift structure and criteria for forecasting magnetite deposits based on geophysical data]. // Dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni kandidata geologo-mineralogicheskikh nauk = Dissertation for the scientific degree of candidate of geological and mineralogical sciences. – Almaty, 2010. – P. 97 (in Russian)
5. Burakov K.S., Nachasova I.E. Napryazhennost' geomagnitnogo polya v Kh-I tys. do n.e. [Geomagnetic field strength in the X-I millennium BC.]. // Materialy seminar «Paleomagnetizm i magnetizm gornyykh porod: teoriya, praktika, eksperiment». Institut fiziki Zemli im. O.Yu. Shmidta RAN = Materials of the seminar «Palaeomagnetism and magnetism of rocks: theory, practice, experiment». Institute of Physics of the Earth named after. O. Yu. Schmidt RAS. – 2011. – P. 291 (in Russian)
6. Pablo Calvín, Belén Oliva-Urcia, Jose C. Kullberg, Sara Torres-López, Antonio Casas-Sainz, Juan J. Villalain, Ruth Soto. Applying magnetic techniques to determine the evolution of reactive diapirs:

- A case study of the Lusitanian basin / Tectonophysics. – 2023. – Vol. 8685. – Article №230088 (in English)*
7. Isaeva M.I., Rzaev A.G. *Magnitnye svoistva i seismomagnitnyi effekt gornyx porod Sheki-Shamakhinskoi seismoaktivnoi zony [Magnetic properties and seismomagnetic effect of rocks of the Sheki-Shamakhi seismoactive zone]. // Izvestiya akademii nauk Azerbaidzhana, seriya «Nauk o Zemle» = News of the Academy of Sciences of Azerbaijan, series «Earth Sciences». – 2006. – №2. – P. 38-41 (in Russian)*
 8. Beloslyudtsev O.M., Uzbekov N.B., Zharasova S.B., Musaev E.M., Uzbekova S.Zh., Raimbekov B.K. *Geomagnitnye anomalii nakanune zemletryaseni v Severnom Tyan'-Shane. [Geomagnetic anomalies on the eve of earthquakes in the Northern Tien Shan]. // Vestnik KazNTU, nauki o Zemle = Bulletin of KazNTU, Earth Sciences. – Almaty: KazNTU named after K.I. Satbayev. – 2013. – №6. – P. 3-11 (in Russian)*
 9. Syed Zafar S. N. A., Umar, Roslan, Sabri N. H., Jusoh M. H., Yoshikawa A., Abe S. and Uozumi T.A. *statistical analysis of the relationship between Pc4 and Pc5 ULF waves, solar winds and geomagnetic storms for predicting earthquake precursor signatures in low latitude regions. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 880. – Issue 110. – Article №012010 (in English)*
 10. Sharma, B., Chingtham, P., Prajapati, S.K. *In a search for seismomagnetic signals of NW Himalayan moderate earthquakes]. // Journal of Earth System Science. – 2022. – Vol. 131. – Issue 4. – Article №256 (in English)*
 11. Khachikyan G.Ya., Ashirov B.M., Zhakupov N.S., Kadyrkhanova N.Zh., Zhanabaeva S.B., Dzhanabilova S. *Glavnoe magnitnoe pole, granitsy tektonicheskikh plit i seismichnost' Zemli [Main magnetic field, boundaries of tectonic plates and seismicity of the Earth]. // Izvestiya nauchno-tehnicheskogo obshchestva «KAKHAK» = News of the scientific and technical society «KAKHAK». – 2011. – №3(33). – P. 100-103 (in Russian)*

Сведения об авторах:

Шарапатов А., кандидат геолого-минералогических наук, ассоциированный профессор кафедры Геофизики КазННТУ им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан), a.sharapatov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0003-2578-3817>

Жумабаев Б.Т., кандидат физико-математических наук, главный научный сотрудник Института ионосферы (г. Алматы, Казахстан), beibit.zhu@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8402-7934>

Садуов А., докторант кафедры Геофизики КазННТУ им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан), a.saduov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0003-1501-7772>

Асирбек Н., магистр технических наук, старший преподаватель кафедры Геофизики КазННТУ им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан), n.assirbek@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0001-9803-4011>

Авторлар туралы мәліметтер:

Шарапатов Ә., геология-минералогия ғылымдарының кандидаты, Сәтбаев Университеті Геофизика кафедрасының қауымдастық профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

Жұмбаев Б.Т., физика-математика ғылымдарының кандидаты, Ионосфера институтының бас ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан)

Садуов Ә., докторант, Сәтбаев Университетінің Геофизика кафедрасы (Алматы қ., Қазақстан)

Әсірбек Н., техника ғылымдарының магистрі, Сәтбаев Университеті Геофизика кафедрасының аға оқытушысы (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Sharapatov A., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor of the Department of Geophysics of Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Zhumabayev B.T., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Chief Researcher at the Institute of the Ionosphere (Almaty, Kazakhstan)

Saduov A., PhD student of the Department of Geophysics of Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Assirbek N., Master of technical sciences, Senior-lecturer of the Department of Geophysics of Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)