



## РЕГИОНАЛЬНЫЕ ЛИНЕАМЕНТНЫЕ ЗОНЫ ИРАНА И ПОЛОЖЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ Cu, Pb, Zn И Fe

А. СОХРАБИ<sup>1</sup>, С. БЕЙГИ<sup>1,\*</sup>, И.В. ТАЛОВИНА<sup>1</sup>, А.А КРУГЛОВА<sup>2</sup>, Н.С. КРИКУН<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет»

2, 21-я линия, Васильевский остров, г. Санкт-Петербург 199106, Россия

<sup>2</sup> ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского»  
74, Средний пр., г. Санкт-Петербург 199106, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Крупномасштабные геологические структуры, такие как линеаменты, представляет большой научный интерес в связи тем, что позволяют прогнозировать наличие рудных полей. **Цель** данного исследования определить связь между рудными месторождениями, линеаментами и крупномасштабными разломами в Иране с использованием спутниковых снимков, цифровой модели рельефа и структурных карт.

**Материалы и методы.** В данном исследовании была составлена карта линеаментов Ирана, которые выделялись как автоматически, так и вручную. Для проверки взаимного пространственного распределения рудных месторождений и линеаментов была подготовлена база данных отработанных и эксплуатируемых месторождений, основанная на материалах изданных карт, опубликованных статей и отчетов о рудных месторождениях Ирана.

**Результаты.** Анализ линеаментов на геологических картах указывают на наличие четырех доминирующих направлений простирания крупных и малых линеаментов. На разработанной карте линеаментов показаны основные продольные разломы северо-западного простирания, которые параллельны основному простиранию орогенного пояса Загрос, разломы субширотного и субмеридионального простирания, которые имеют диагональное расположение, и поперечные разломы северо-восточного простирания. В результате объединения выходных данных карты линеаментов и карты месторождений полезных ископаемых с помощью программного обеспечения ArcGIS была получена «Комбинированная карта линеаментов и месторождений меди, свинца, цинка и железа в Иране». С помощью кумулятивных методов в программном обеспечении ArcGIS была проанализирована зависимость между количеством рудных месторождений и расстоянием от линеаментов.

**Заключение.** Около 90% и 50% рудных месторождений расположены на расстоянии менее 15 км и 5 км, соответственно, от центральной линии ближайшего линеамента. Прослеживается прямая зависимость между плотностью линеаментов и наличием месторождений. Результаты данной работы демонстрируют, что используемый в этом исследовании подход может быть применим для оценки перспектив рудных полей в труднодоступных и слабоизученных регионах.

**Ключевые слова:** линеаменты, геопространственные данные, металлогения Ирана, спутниковые изображения

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-55-12002.

**Для цитирования:** Сохраби А., Бейги С., Таловина И.В., Круглова А.А., Крикун Н.С. Региональные линеаментные зоны Ирана и положение месторождений Cu, Pb, Zn и Fe. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2020;63(2):8—20. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-2-8-20>

Статья поступила в редакцию 31.03.2020  
Принята к публикации 28.07.2020  
Опубликована 10.08.2020

\* Автор, ответственный за переписку

## IRANIAN REGIONAL LINEAMENT ZONES AND THE LOCATION OF Cu, Pb, Zn AND Fe DEPOSITS

ARASH SOHRABI<sup>1</sup>, SOHEYLA BEYGI<sup>1,\*</sup>, IRINA V. TALOVINA<sup>1</sup>, ANNA A. KRUGLOVA<sup>2</sup>, NIKITA S. KRİKUN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Saint-Petersburg Mining University  
2, 21st Line, St. Petersburg 199106, Russia

<sup>2</sup> A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute  
74, Sredny pr., St. Petersburg 199106, Russia

### ABSTRACT

**Background.** Large-scale geological structures, such as lineaments, are of great research interest due to their potential to mark the presence of ore fields.

**Aim.** To determine the relationship between ore deposits, lineaments and large-scale faults in Iran using satellite imagery, digital relief modelling and structural mapping.

**Materials and methods.** In this study, we compiled a map of lineaments in the Iran, which were determined both automatically and manually. A database of the distribution of ore deposits and lineaments was compiled from available maps, publications and reports on ore deposits in Iran. These maps were overlaid to study the relationship between the locations of the lineaments, faults and ore deposits.

**Results.** An analysis of the lineaments revealed on geological maps indicates the presence of four dominant strike directions of large and small lineaments. The developed lineament map shows the main northwest trending longitudinal faults, which are parallel to the main strike of the Zagros orogenic belt; sublatitudinal and submeridional trending oblique faults; northeast trending transverse faults. A “Combined map of lineaments and deposits of copper, lead, zinc and iron in Iran” was compiled by the ArcGis software using maps of lineaments and mineral deposits. The ore deposits identified were analysed to determine the distribution of the distances between each deposit using the counting and cumulative methods the ArcGis software.

**Conclusions.** About 90% and 50% of ore deposits are located at a distance of less than 15 km and 5 km, respectively, from the centre line of the associated lineament. A direct relationship between the density of lineaments and the presence of deposits was observed. The obtained results demonstrate the potential of this method for assessing the prospects of ore fields in hard-to-reach and poorly studied regions.

**Keywords:** lineaments, geospatial data, metallogeny of Iran, satellite image

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**Financial disclosure:** the study was performed as part of the Joint German-Russian Project № 20-55-12002 of the Russian Foundation for Basic Research.

**For citation:** Sohrabi A., Beygi S., Talovina I.V., Kruglova A.A., Krikun N.S. Iranian regional lineament zones and the location of Cu, Pb, Zn and Fe deposits. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(2):8—20. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-2-8-20>

Manuscript received 03 March 2020

Accepted 28 July 2020

Published 10 August 2020

\* Corresponding author

Взаимосвязь между тектоническими процессами и структурами с формированием месторождений полезных ископаемых давно является предметом интереса для многих геологов. Линеаменты — это крупномасштабные структуры планетарного масштаба, которые могут быть связаны с глубинными разломами [2, 4, 5, 18]. Применение различных методов изучения планетарной трещиноватости и линеаментов при поисках и разведке рудных полезных ископаемых дает возможность выявлять и проследивать металлогенические провинции, определять их масштаб, намечать вероятное положение рудных узлов и полей, оконтуривать намеченные рудные узлы и поля и выделять в их пределах возможные максимальные концентрации полезного ископаемого [6]. В рудных провинциях количество линеаментов и дизъюнктивных нарушений может выступать как один из факторов для прогноза месторождений полезных ископаемых. Это связано с тем, что разрывные нарушения зачастую служат подводными каналами для гидротермальных растворов [1, 7].

Иранское плато, за исключением орогенного пояса Загрос на юго-западе и хребта Копетдаг на северо-востоке, составляет центральную часть Альп-Гималайского металлогенического пояса. Геологическая эволюция Ирана включает процессы, протекающие не одну эпоху [13, 19, 30]. Раннебайкальский тектогенез привел к формированию крупных скоплений железа и цинка, свинца и серебра в Центральном, Северо-Западном и Юго-Восточном Иране. Результатом проявления последующих эпох складчатости, вплоть до раннекиммерийской, стало формирование месторождений цинка, свинца, серебра, железа, меди, олова и вольфрама в северо-западных окраинах Альборзских гор, вдоль зоны Санандадж — Сирджан и в восточной части Ирана [23] (рис. 1). Киммерийский тектогенез характеризуется образованием цинково-свинцово-серебряной минерализации почти на всем Иранском плато. Наибольшее количество месторождений этих элементов обнаружено в районе Малайер — Исфахан, помимо этого, в той или иной мере объекты данного типа встречаются по всему центральному Ирану [25, 27]. В это же время были сформированы различные месторождения железных руд. Ранние стадии альпийского тектогенеза привели к интенсивному формированию месторождений меди, золота, свинца-цинка-серебра и железа на Иранском плато [10, 15].

Целью данного исследования является определение взаимосвязи между рудными месторождениями и линеаментами и региональными разломами

в Иране по спутниковым снимкам, цифровой модели рельефа и структурным картам. Такого рода исследования могут применяться при прогнозе перспективности рудных полей в удаленных или слабоизученных районах.

Задачи данного исследования: 1) выявить разрывные нарушения Ирана, используя технологии дистанционного зондирования; 2) определить местоположение и охарактеризовать минеральный состав основных металлогенических провинций региона; 3) выявить взаимосвязь между характеристиками линеаментов с месторождениями полезных руд Ирана.

## Металлогения

### *Месторождения железа*

Несмотря на то что в Иране расположено большое количество месторождений железа (рис. 1), основной объем железной руды поступает с трех месторождений в центре, на северо-востоке и юго-востоке Ирана. Центральное-Иранская железорудная провинция связана с развитием зоны Кашмер — Керман. Провинция имеет дугообразную форму длиной более 1000 км и шириной до 80 км [29, 31]. Железорудная провинция Бафк расположена в центральной части Кашмер-Керманской зоны и является местом размещения основных железистоокисных руд ( $\approx 1,8$  Gt; NISCO, 1980 г.) [17, 22].

### *Медные месторождения*

Формирование крупных месторождений медной руды произошло в пределах вулканоплутонического пояса, существовавшего в позднем олигоцене-миоцене [12]. Сейчас данная зона простирается через Турцию на Балканы и известна как Северо-Анатолийский металлогенический пояс. Важными иранскими порфирированными месторождениями меди являются Сар Чешме, Мейдук, Алиабад и Даре зерешк в Уромие-Дохтар и месторождение Сунгун в провинции Ахар Арасбаран [17].

### *Свинцово-цинковые месторождения*

Месторождения свинца и цинка распространены почти по всему Иранскому плато. В настоящее время известно около 600 свинцово-цинковых месторождений. Даже в горах Загрос, бедных на полиметаллическое оруденение, есть одно свинцово-цинковое месторождение (Кух-Сормех). Только малая часть из них (около десяти) разведана и эксплуатируется [17, 24]. Провинции с наибольшим потенциалом для цинк-свинцовой минерализации — это Центральный Иран и пояс Санандадж — Сирджан. Однако в настоящее

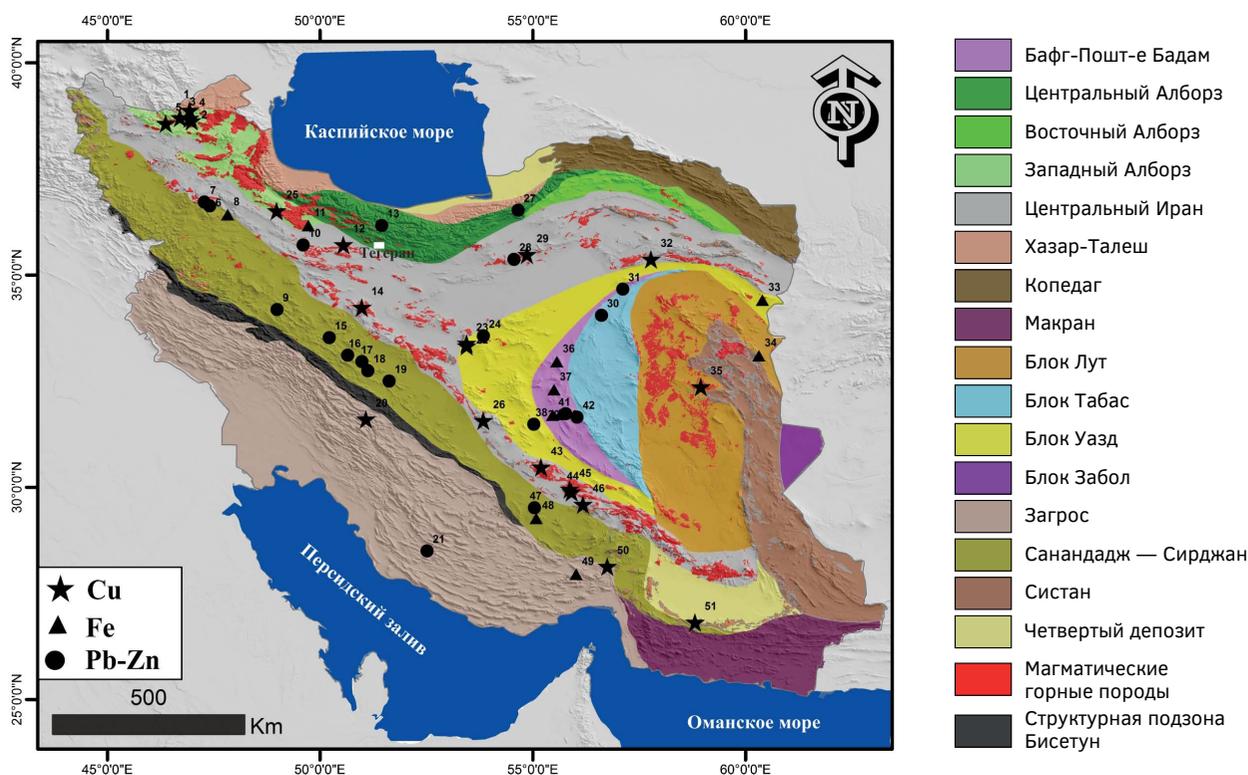


Рис. 1. Геолого-структурная карта Ирана (модифицированная из [11]) и крупных рудных месторождений  
 Fig. 1. Geological-structural map of Iran (modified from [11]) and major ore deposits

время в Иране также известны многочисленные месторождения несulfидного цинка [14]. Считают, что большая часть несulfидных месторождений цинка сформировалась в карбонатных породах юрского и мелового периодов в пределах главной Иранской плиты [8, 20].

#### Методы исследования

Линеаменты выделялись с использованием спутниковых изображений и цифровой модели рельефа (ЦМР). Для сопоставления выделенных линеаментов и региональных разломов использовались мелкомасштабные геологические карты [28]. В ходе исследования использовались данные дистанционного зондирования Ирана, которые доступны в виде 80 информационных сцен из Landsat ETM<sup>+</sup> 7 (данные 2001 г.), закодированных с помощью Ран 155–169 и строк 33–42, имеющих пространственное разрешение 30 м. Существует много подходящих методов для извлечения структурных особенностей из данных дистанционного зондирования. В нашем случае структурные карты воспроизводились путем обсервационной интерпретации и ручного и автоматического распознавания линеаментов. Изо-

бражения были обработаны с помощью программного обеспечения Geomatica 2015.

Цифровая модель рельефа представляет собой цифровое отображение рельефа земной поверхности и состоит из выборочного набора высотных отметок для ряда позиций на Земле с равномерно распределенными интервалами. Чтобы использовать эти данные для определения линеаментов Ирана, точечные объекты (x, y и z) из данных топографической миссии челнока (STRM) с высотой 90 м (свободно доступны из США) были использованы для создания ЦМР. Эти преобразования были выполнены программным обеспечением ArcGIS 10.

Для определения пространственных взаимосвязей между рудными месторождениями и линеаментами, помимо цифровой карты линеаментов, требуется «База данных рудных месторождений Ирана», содержащая сведения о местоположении действующих и заброшенных месторождений и их запасах или ресурсах в зависимости от стадии разведки или поиска. База данных была составлена на основе геологических карт и информации, предоставленной Геологической службой Ирана (GSI) [20]. Интегральным результатом этих данных является созданная с помощью программного

обеспечения ArcGIS «Комбинированная карта линеаментов и месторождений меди, свинца, цинка и железа в Иране» масштаба 1:2 500 000.

#### ***Линеаменты и рудные месторождения***

Взаимоотношение между линеаменами и рудными месторождениями представляет интерес для многих геологов [3]. Поскольку существуют разные предположения относительно определения линеаментов, известны также разные идеи относительно отношений между линеаменами и рудными месторождениями. Некоторые авторы [16] игнорируют логическую связь между шириной линеаментов (более нескольких десятков километров) и размерами месторождений полезных ископаемых (обычно менее 10 км<sup>2</sup>) в качестве полезного ориентира для прогноза месторождений полезных ископаемых.

Согласно [31], трещины и разломы в горных породах благоприятствуют формированию рудных минералов, так как зачастую являются подводящими каналами для гидротермальных растворов. Районы с высокими концентрациями или пересечениями этих структур могут быть пригодны для проникновения рудообразующих растворов и последующей минерализации. Недавнее понимание многими геологами важности использования линеаментов для прогноза рудных месторождений основано на идее, что линеаменты представляют собой поверхностные следы глубинных разломов [26].

#### **Результаты исследования**

##### ***Разломы и линеаменты Ирана***

Региональные разломы являются результатом горизонтальных и вертикальных движений блоков, составляющих земную кору Ирана. Они имеют различную кинематику и масштаб и служат границами для тектонических структур первого, второго и третьего порядка, которые формировались на территории Ирана в течение его продолжительной геологической эволюции. Исключив ложные линеаменты, путем сопоставления их с разломами, отмеченными на мелкомасштабных геологических картах Ирана, мы предположили, что большинство линеаментов, нанесенных на карту, являются следами глубинных разломов (рис. 2А).

Большая часть рудных месторождений Ирана сосредоточена в зонах разломов или контролируется разломами. Выделяются четыре основных направления простирания разломов Ирана: это субширотное; северо-запад, северо-восток и субмеридиональное, как показано на рисунках 2Б, В.

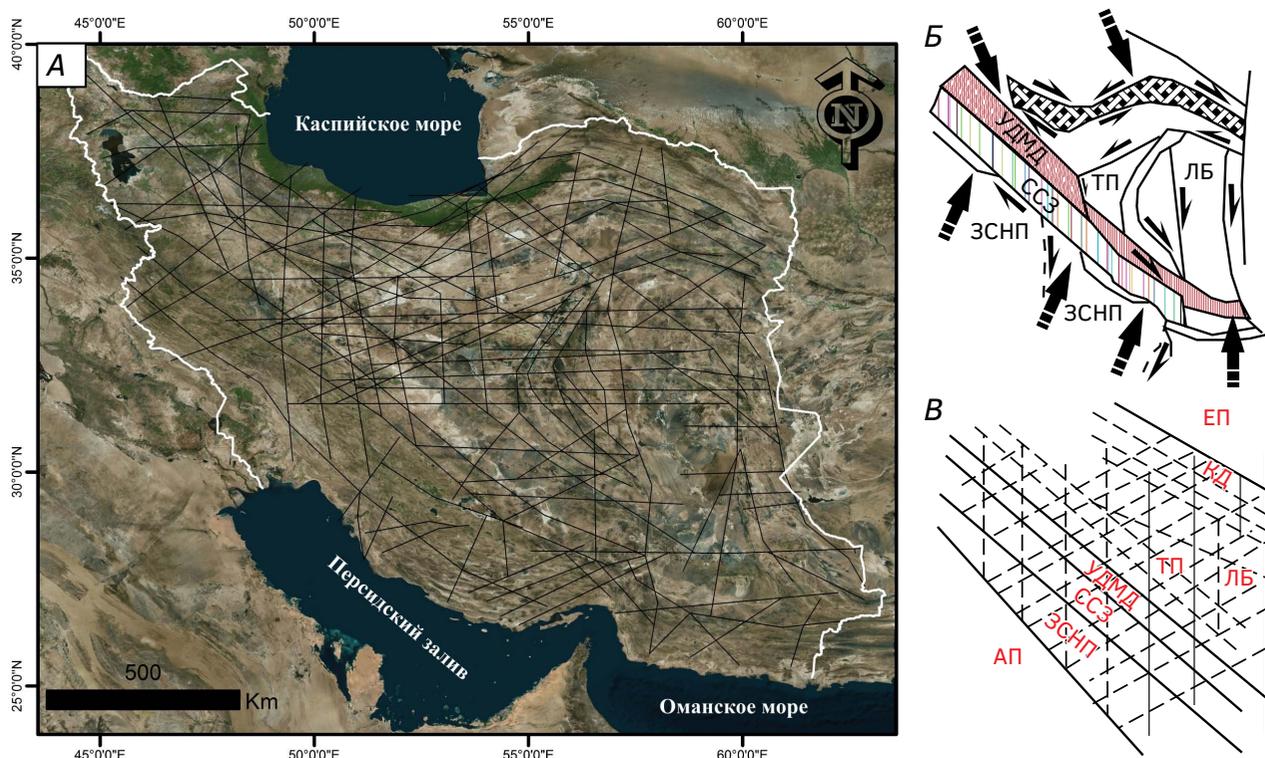
Краткие характеристики этих дизъюнктивных нарушений следующие. I. Субширотное простирание характерно для правосторонних сдвигов, оставшихся от катангийского тектогенеза, что согласуется с ориентацией Лутского региона, Восточного Ирана и разломов Найбанда и Базмана. II. Нарушения северо-западного тренда сформировались во время альпийского тектогенеза и совпадают с ориентацией орогенных поясов Загрос, Санандаж — Сирджан, вулканического пояса Уромие — Дохтар и Западного Альборза. III. Простирания север-восток имеют разломы с левосторонней сдвиговой кинематикой, они образовались с открытием Неотетисского океана в пермский и триасовый периоды, эта категория параллельна депрессиям Альборз и Деште-Кавир. IV. Ориентация субмеридиональная в основном соответствует молодым разломам и менее типична для региональных разломов Ирана.

##### ***Связь между линеаменами и рудными месторождениями в Иране***

Для определения взаимосвязей между рудными месторождениями и линеаменами требуются две серии данных: «Цифровая карта линеаментов Ирана» и «База данных рудных месторождений Ирана», содержащая местоположение месторождений и их ресурсы/запасы. Результатом интеграции этих данных является «Комбинированная карта линеаментов Ирана и месторождений меди, свинца, цинка и железа», которая показана на рисунке 3 (А, В, Д).

Для изучения взаимосвязи между линеаменами и рудными месторождениями Ирана информация о размерах и ресурсах/запасах месторождений и их расстоянии от линеаментов была обработана в программном обеспечении ArcGIS 10 (рис. 3Г, Е). Граничная зона была определена как 15 км от каждой стороны линеаментов, имея общую ширину в поперечном направлении 30 км [26], что применимо для больших линеаментов.

Рисунок 3А иллюстрирует взаимное расположение 889 месторождений медной руды с линеаменами. Месторождения меди расположены по разным направлениям, но ориентация на северо-запад является преобладающей. Некоторые скопления месторождений меди в Западном Иране в вулcano-плутонических поясах Уромие — Дохтар, Арасбаран и в центральной и северной частях Восточного Ирана демонстрируют высокую прямую зависимость с зонами сгущения и пересечения линеаментов. Эти скопления обычно располагаются между близлежащими линеаменами,

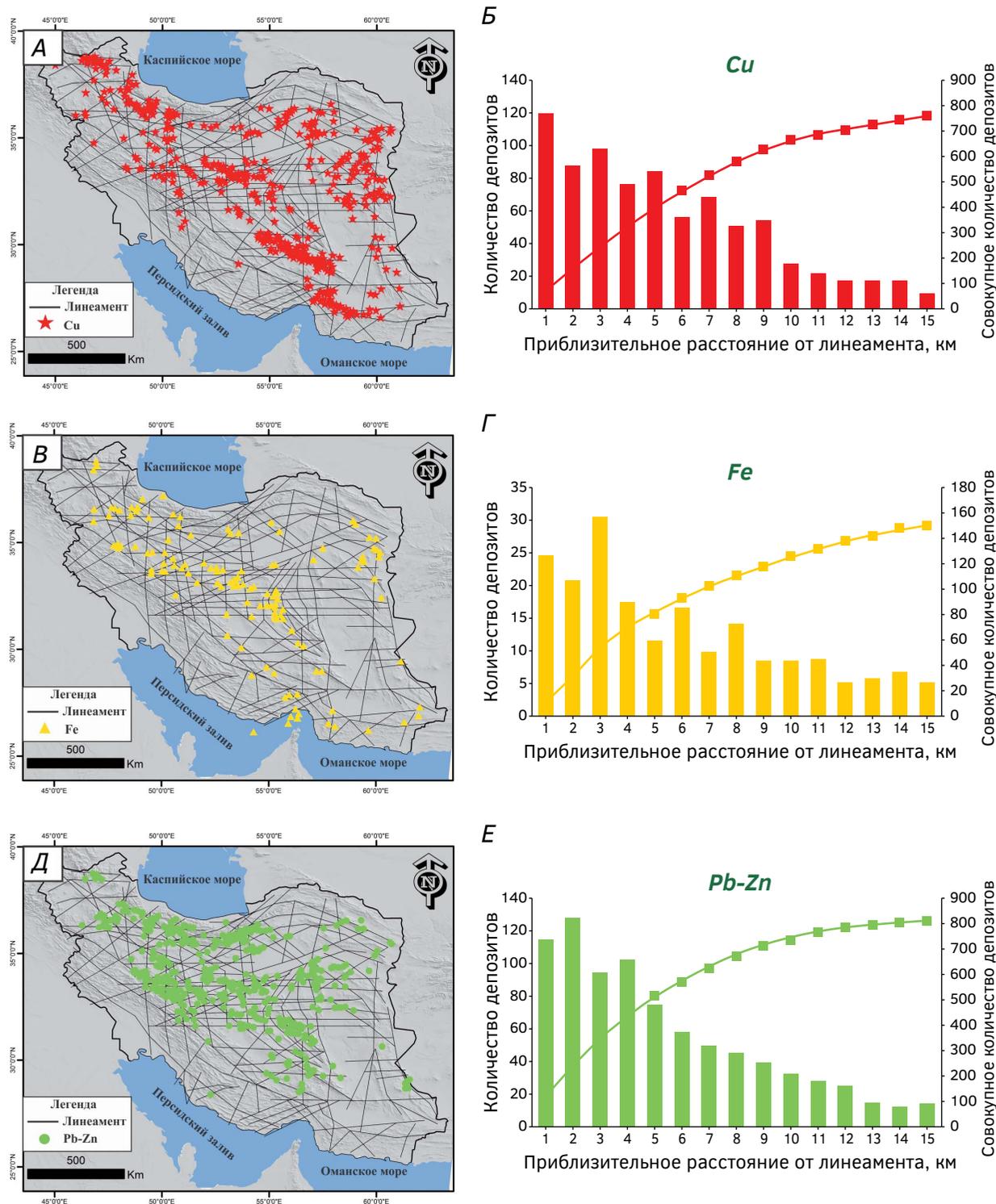


**Рис. 2.** А — карта линейментов Ирана, полученная по данным спутниковых изображений и ЦМР; Б — основные ориентации разломов фундамента (толстые линии), современные разломы (тонкие линии) и характерные особенности основных структурно-осадочных зон; В — роль разломов в разделении геологических зон Ирана (адаптировано из [5]); сокращения: ЗСНП: надвиговый пояс Засад-Содар, ССЗ: зона Санандадж — Сирджан, УДМД: магматическая дуга Уромие — Дохтар, ЛБ: Лут Блок, ТП: подзона Табас, КД: Копетдаг, АП: Аравийская плита, ЕП: Евразийская плита

**Fig. 2.** А — Lineament map of Iran obtained from satellite images and elevation model data (DEM). Б — The main orientations of the basement faults (thick lines), present faults (thin lines), and the characteristic features of the main structural-sedimentary zones). В — The role of faults in dividing the geological zones of Iran (adapted from [5]); abbreviations: ZFTB: Zagros Fold and Thrust Belt, SSZ: Sanandaj-Sirjan Zone, UDMA: Urumieh-Dokhtar Magmatic Arc, LB: Lut Block, TS: Tabas Subzone, KD: Kopet-Dagh, AP: Arabian Plate, EP: Eurasia Plate)

их пересечениями и в зонах прямоугольной или квадратной формы, ограниченных линейментами. Такого рода скопления на западе Ирана встречаются чаще, чем на востоке. В большинстве случаев медные месторождения распределены линейно вдоль линейментов. В более чем половине мест пересечений линейментов или в зонах вблизи пересечений находятся месторождения. Как показано на рисунке 3Б, число объектов уменьшается с увеличением расстояния от линейментов. 801 из 889 месторождений меди (более 89%) находятся на расстоянии менее 15 км от линейментов или в местах их пересечений. Более 50% ближе 5 км к линейментам. Очевидный разрыв происходит на расстоянии 9 км на кумулятивной кривой, показывающей значительное сокращение количества рудных объектов.

На рисунке 3В показано расположение 203 месторождений железа с линейментами. Основной тенденцией месторождений железной руды является северо-западное направление. С пересечением линейментов в Центральном Иране совпадают скопления месторождений железа, это в меньшей степени относится и к Западному Ирану. Месторождения железной руды в других структурных зонах Ирана также показывают некоторую связь с положением линейментов. Из рисунка 3Г видно, что количество железорудных объектов уменьшается с увеличением расстояния от линейментов. 181 из 203 месторождений железа (более 90%) находятся в пределах диапазона 15 км, из которых 50% из них ближе чем 5 км к линейментам. Если рассматривать кумулятивную диаграмму, на расстоянии 6 км на кривой наблюдается разрыв,



**Рис. 3.** Пространственное распределение месторождений (А) меди, (В) железа, (Д) свинца и цинка на карте линеаментов Ирана с гистограммами и кумулятивными картами ресурсов и месторождений для (Б) меди, (Г) железа (Е) свинца и цинка, исходя из расстояния от линеаментов Ирана

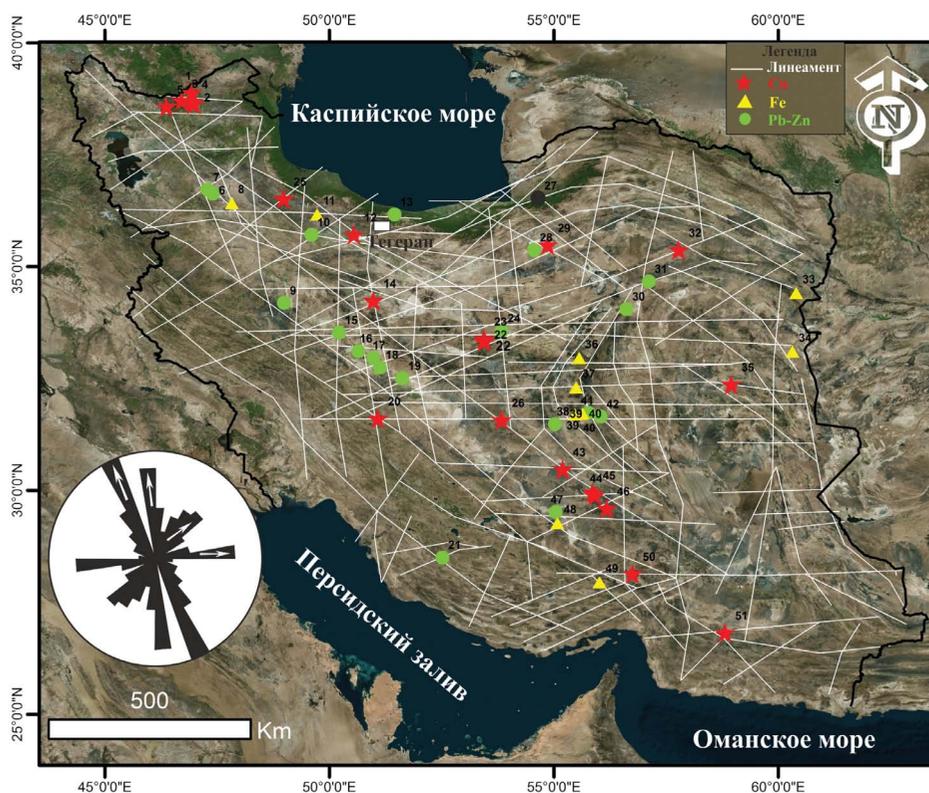
**Fig. 3.** Spatial distribution of deposits (A) copper, (B) iron, (D) lead and zinc on the map of lineaments of Iran, with histograms and cumulative charts of the mineral reserves for (B) copper, (G) iron (E) lead and zinc, based on distance from lineaments of Iran

за пределами которого уменьшается количество месторождений железной руды.

На рисунке 3Д показано распределение 891 месторождения свинца и цинка и линейментов. Распределение данных месторождений в Иране имеет V-образную форму с юга на север Ирана. Эти объекты более всего тяготеют к линейментам северо-восточного и северо-западного простираний; также есть небольшая взаимосвязь с линейментами субмеридионального простирания. В местах пересечений линейментов находятся скопления месторождений свинца и цинка. Они чаще всего встречаются в центральных частях Ирана

и в большинстве случаев заканчиваются по зонам простирания линейментов. На рисунке 3Е показано, что число месторождений свинца и цинка имеет тенденцию к снижению с увеличением расстояния от линейментов. 841 из 891 объекта (более 94%) находятся в пределах 15 км, а более 50% ближе чем 4 км к линейментам.

Для более глубокого изучения связи между рудными месторождениями и линейментами некоторые крупные месторождения в металлогенических зонах Ирана были проанализированы отдельно (рис. 4). Большинство из этих месторождений расположены в зонах пересечения



**Рис. 4.** Карта распределения крупных месторождений меди, железа, свинца и цинка Ирана и их связь с основными линейментами: 1) Масджид Даги, 2) Мазраех, 3) Сунгон, 4) Энджерд, 5) Астамал, 6) Ангуран, 7) Алам Канди, 8) Шахрак, 9) Ахангаран, 10) Хафт Эмарат, 11) Шамс-Абад, 12) Джару, 13) Дона, 14) Вешнаве, 15) Дарре Нокре, 16) Лакан, 17) Хосейн Абад, 18) Анжире Тиран, 19) Иранкух, 20) Дех Мадан, 21) Кух-е-Сурмех, 22) Мескани, 23) Талмеси, 24) Нахлак, 25) Али Абад, 26) Даррех Зерешк, 27) Мужен, 28) Хан Джар, 29) Ча Муса, 30) Ча Собр, 31) Озбак Кух, 32) Такнар, 33) Санган, 34) Газик, 35) Калех Зари, 36) Робат Пош Бадам, 37) Чадор Малу, 38) Мехди Абад, 39) Коушк, 40) Сечахун, 41) Чогарт, 42) Ча Мир, 43) Мейдук, 44) Даррех-Зар, 45) Сар Чешме, 46) Чахар Гонбад, 47) Чах Газ, 48) Гол Гоар, 49) Танг-э-Зах, 50) Шейх Аали, 51) Рамешк

**Fig. 4.** Distribution map of significant copper, iron, lead and zinc deposits of Iran and their relation with the major lineaments. 1) Masjed Daghi, 2) Mazraeh, 3) Songon, 4) Anjerd, 5) Astamal, 6) Anguran, 7) Alam Kandi, 8) Shahrak, 9) Aghdarreh, 10) Haft Emarat, 11) Shams Abad, 12) Jarou, 13) Dona, 14) Veshnaveh, 15) Darreh Noqreh, 16) Lakan, 17) Hosein Abad, 18) Anjeereh Tiran, 19) Irankuh, 20) Deh Madan, 21) Kuh-e-Surmeh, 22) Meskani, 23) Talmesi, 24) Nakhlak, 25) Ali Abad, 26) Darreh Zereshk, 27) Moujen, 28) Khan Jar, 29) Chah Mousa, 30) Chah Sorb, 31) Ozbak Kuh, 32) Taknar, 33) Sangan, 34) Gazik, 35) Qaleh Zari, 36) Robot Posht Badam, 37) Chador Malu, 38) Mehdi Abad, 39) Khoushk, 40) Sechahoon, 41) Choghart, 42) Chah Mir, 43) Meiduk, 44) Darreh Zar, 45) Sar Cheshmeh, 46) Chahar Gonbad, 47) Chah Gaz, 48) Gol Gohar, 49) Tang-e-Zagh, 50) Sheikh Aali, 51) Rameshk

или сгущения линеаментов. Граничные зоны на расстояниях 1, 5, 10 и 15 км от линеаментов были определены для расчета зависимости этих рудных месторождений от линеаментов.

Месторождения меди на западе Ирана расположены на одной линии с линеамен-тами северо-восточного и северо-западного простираний и в зонах пересечения с линеамен-тами субмери-дионального простирания. Крупные месторожде-ния меди на западе Ирана в основном являются порфировыми или скарновыми. Из 31 месторо-ждения 19 находятся на расстоянии 15 км от ли-неаментов, тогда как 12 — ближе 5 км.

Крупные месторождения железа расположены в южной части Ирана и находятся на одной линии с линеамен-тами северо-западного простирания, а также расположены на их пересечениях с ли-неамен-тами восточного простирания. Месторо-ждения железа в южной половине Ирана в основ-ном магматические и скарновые. Из 9 крупных объектов 8 находятся на расстоянии 15 км, причем 6 находятся ближе 5 км. Только одно месторожде-ние пространственно не связано с линеамен-тами.

Месторождения свинца и цинка в северной по-ловине и западной части Ирана находятся на одной линии с линеамен-тами северо-западного простира-ния и преимущественно расположены на их пере-сечениях с линеамен-тами субмеридионального простирания. Большинство месторождений свинца и цинка в Иране относятся к типам MVT (свинцо-во-цинковые в карбонатных комплексах, миссисип-ский), SEDEX (колчеданные в терригенных и терри-генно-карбонатных комплексах) и несulfидным [9, 21, 25]. Из общего числа 21 крупного месторо-ждения свинца и цинка 20 расположены на рассто-янии 15 км, из них 18 ближе чем 5 км, и только одно не расположено на линии.

Основываясь на полученных статистических данных, можно заключить, что большинство круп-ных рудных месторождений в Иране приурочено

к линеамен-там или зонам их пересечений. Эта схема особенно верна для месторождений свинца и цинка. Возможно, что линеамен-ты с северо-за-падным и северо-восточным простиранием игра-ют наиболее важную роль в размещении месторо-ждений этих элементов в Иране.

### Выводы

Геопространственные данные в региональ-ном масштабе, такие как спутниковые изображения, геологические и геоструктурные карты, а также цифровая модель рельефа (ЦМР), были необходи-мы для понимания и подготовки предварительной карты линеаментов Ирана. На основании этих ис-следований было выяснено, что линеамен-ты Ира-на простираются в нескольких основных направ-лениях: в северо-восточном и северо-западном и, в меньшей степени, в северном и восточном. Простирание этих линеаментов совпадает с глав-ными разломами и структурными зонами Ирана.

Сопоставление баз данных месторождений свинца и цинка, меди, железа с линеаментной картой Ирана показывает, что более 90% руд-ных месторождений расположены на рассто-янии менее 15 км от центральной линии линеамен-тов. Около 50% линеаментов расположены менее чем в 5 км. Таким образом, мы обнаружили, что большинство рудных месторождений рас-положены вблизи линеаментов или в местах их пересечения. Установлено, что связь между ме-сторождениями свинца и цинка с линеамен-тами и их пересечениями более очевидна, чем у место-рождений меди и железа. Можно предположить, что линеамен-ты с северо-восточным и северо-за-падным простираниями сыграли немаловаж-ную роль в формировании рудных месторождений в Иране. Основываясь на данном исследовании, зоны пересечения линеаментов можно считать по-лезными для будущей оценки перспективных руд-ных полей Ирана.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Буханова Д.С. Типоморфные характеристики медно-порфирового оруденения // Материалы X региональной молодежной научной конференции «Исследования в области наук о Земле». 28—29 ноября 2012 г. Петропавловск-Камчатский: Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, 2012. С. 5—18.
2. Гусев А.В., Печенкин М.М., Таловина И.В. Блоковое строение Северо-Онежского синклинали Фенноскандинавского щита по комплексным геолого-геофизическим данным // Горный информа-ционно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2016. № 2. С.188—194.
3. Жиров Д.В., Климов С.А., Пантелеев А.В., Жирова А.М. Выделение факторов контроля геодинамических опасностей на примере 3D геолого-структурной модели природотехнической системы «Рудник Расвумчоррский — карьер Центральный» (Хибины) // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2016. № 7. С. 200—226.

4. Изосов Л.А., Ли Н.С. Линеаментный анализ при тектонических и металлогенических построениях в Япономорском регионе // Региональные проблемы. 2014. Т. 17. № 1. С. 9—14.
5. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4. С. 56—56.
6. Методическое руководство по изучению планетарной трещиноватости и линеаментов (под редакцией С.С. Шульца). Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1977. 136 с.
7. Рычагов С.Н. Гигантские газо-гидротермальные системы и их роль в формировании пародоминирующих геотермальных месторождений и рудной минерализации // Вулканология и сейсмология. № 2. 2014. С. 69—92.
8. Bazargani-Guilani K., Nekouvaght Tak M.A., Faramarzi M. Pb-Zn deposits in Cretaceous carbonate host rocks, northeast Shahmirzad, Central Alborz, Iran // Australian Journal of Earth Sciences. 2011. Vol. 58. № 3. P. 297—307.
9. Boni M., Gilg H.A., Balassone G., Schneider J., Allen C.R. Moore F. Hypogene Zn carbonate ores in the Angouran deposit, NW Iran // Mineralium Deposita. 2007. Vol. 42. № 8. P. 799—820.
10. Carranza E.J.M. Geologically — Constrained Mineral Potential Mapping // PhD Thesis. Delft University of Technology. The Netherlands, 2002. P. 480.
11. Chernicoff C.J., Richards J.P., Zappettini E.O. Crustal lineament control on magmatism and mineralization in northwestern Argentina: geological, geophysical, and remote sensing evidence // Ore Geology Reviews. 2002. Vol. 21. P. 127—155.
12. Cooke D.R., Hollings P., Walshe J.L. Giant porphyry deposits: characteristics, distribution, and tectonic controls // Economic geology. 2005. Vol. 100. № 5. P. 801—818.
13. Cox S.F., Knackstedt M.A., Braun J. Principles of structural control on permeability and fluid flow in hydrothermal systems // Economic Geology. 2001. Vol. 14. P. 1—24.
14. Daliran F., Pride K., Walther J., Berner Z.A., Bakker R.J. The Angouran Zn (Pb) deposit, NW Iran: evidence for a two stage, hypogene zinc sulfide-zinc carbonate mineralization // Ore Geology Reviews. 2013. Vol. 53. P. 373—402.
15. Ekneligoda T.C., Henkel H. Interactive spatial analysis of lineaments // Journal of Computers and Geosciences. 2010. Vol. 36. № 8. P. 1081—1090.
16. Gilluly J. Lineaments ineffective guides to ore deposits // Economic Geology. 1976. Vol. 71. № 8. P. 1507—1514.
17. Ghorbani M. Economic Geology of Iran // GSI Publisher. 2002. 700 p (In Persian).
18. Gorelikov V.G., Lykov Yu.V., Baatarkhuu G. Analytical and Experimental Study of the Mechanisms of Diamond Bits Interaction with Rocks in the Wellbore During Sinking Processes // International Journal of Applied Engineering Research. 2016. Vol. 11. № 10. P. 7012—7016.
19. Hu X., Garzanti E., Wang J., Huang W., An W., Webb A. The timing of India-Asia collision onset—Facts, theories, controversies // Earth-Science Reviews. 2016. Vol. 160. P. 264—299.
20. Lotfi M., Mir Mohammad Sadeghi M., Omrani S.J. Mineral Distribution Map of Iran (Scale: 1:1,000,000) // Geological Survey Iran. 1993.
21. Meshkani S.A., Mehrabi B., Yaghubpur A., Alghalandis Y.F. The application of geochemical pattern recognition to regional prospecting: a case study of the Sanandaj-Sirjan metallogenic zone, Iran // journal of geochemical exploration. 2011. Vol. 108. № 3. P. 183—195.
22. Mollai H., Sharma R., Pe-Piper G. Copper mineralization around the Ahar batholith, north of Ahar (NW Iran): evidence for fluid evolution and the origin of the skarn ore deposit // Ore Geology Reviews. 2009. Vol. 35. P. 401—414.
23. Nogol Sadat M.A.A. Les Zones de décrochement ET les virgations structural en Iran. Consequences des resultants de l'analyse structurale de lareigon de Qom. Thses Univ.Scientifique ET Medicate de Grenoble. 1978. P. 201.
24. Rajabi A., Rastad E., Canet C. Metallogeny of Cretaceous carbonate-hosted Zn-Pb deposits of Iran: geotectonic setting and data integration for future mineral exploration // International Geology Review. 2012. Vol. 54. № 14. P. 1649—1672.
25. Rastad E., Fontbote L., Amistutz G.C. Relation between tidal flat facies and diagenetic ore fabrics in the strat- aband Pb-Zn-(Ba-Cu) deposits of Irankuh, Esfahan, West Central-Iran // Revista del Institu to de Investigaciones Geological Diputation provincial Universidad de Barcelona. 1980. Vol. 34. P. 311—323.
26. Richards J.P. Lineaments revisited // Society econ geological newsletter. 2000. Vol. 42. № 1. P.14—20.
27. Romer R.L., Kroner U. Phanerozoic tin and tungsten mineralization — tectonic controls on the distribution of enriched protoliths and heat sources for crustal melting // Gondwana Research. 2016. Vol. 31. P. 60—95.
28. Sahandi M.R., Soheily M., Sadeghi M., Delavar S.T., Jafari Rad A. Geological Map of Iran, 1:1,000,000 // Geological Survey of Iran. Tehran: Unpublished, 2002.
29. Shafiei B. Lead isotope signatures of the igneous rocks and porphyry copper deposits from the Kerman Cenozoic magmatic arc (SE Iran), and their magmatic-metallogenetic implications // Ore Geology Reviews. 2010. Vol. 38. P. 27—36.
30. Torsvik T.H., Cocks L.R.M. Gondwana from top to base in space and time // Gondwana Research. 2013. Vol. 24. № 3—4. P. 999—1030.
31. Tosdal R.M., Richards J.P. Magmatic and structural controls on the development of porphyry Cu, Mo, Au deposits // Society of Economic Geologists. 2001. Vol. 14. P. 157—181.

## REFERENCES

1. Bukhanova D.S. Typomorphic characteristics of porphyry copper mineralization. Proceedings of the X Regional Youth Scientific Conference "Research in the field of earth sciences". Petropavlovsk-Kamchatsky: Institute of Volcanology and Seismology, 2012. P. 5—18 (In Russian).
2. Gusev A.V., Pechenkin M.M., Talovina I.V. Block structure of the north onega synclinorium fennoscandian shield according To Complex Geological-geophysical data. Mining informational and analytical bulletin, 2016. № 2. P. 188—194 (In Russian).
3. Zhiron D.V., Klimov S.A., Pantelev A.V., Zhiron A.M. Allocation of factors controlling geodynamic hazards on the example of a 3D geologic-structural model of the natural resource system "Rasnik Rasvumchorkarny Tsentral" (Khibiny). Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal), 2016. № 7. P. 200—226 (In Russian).
4. Izosov L.A., Li N.S. Lineament Analysis at Tectonic and Metallogenic Structures in the Japan Sea Region. Regional Problems. 2014. Vol. 17. № 1. P. 9—14 (In Russian).
5. Kopylov I.S. Theoretical and applied aspects of the theory of geodynamic active zones. Modern problems of science and education, 2011. № 4. P. 56—56 (In Russian).
6. Methodological Guide to the Study of Planetary Fracture and Lineaments (edited by S.S. Schultz). Leningrad: Publishing house of Leningrad University, 1977. 136 p. (In Russian).
7. Rychagov S.N. Giant gas-rich hydrothermal systems and their role in the generation of vapor-dominated geothermal fields and ore mineralization. Journal of Volcanology and Seismology, 2014. № 2. P. 69—92 (In Russian).
8. Bazargani-Guilani K., Nekouvaght Tak M.A., Faramarzi M. Pb-Zn deposits in Cretaceous carbonate host rocks, northeast Shahmirzad, Central Alborz, Iran // Australian Journal of Earth Sciences. 2011. Vol. 58. № 3. P. 297—307.
9. Boni M., Gilg H.A., Balassone G., Schneider J., Allen C.R. Moore F. Hypogene Zn carbonate ores in the Angouran deposit, NW Iran // Mineralium Deposita. 2007. Vol. 42. № 8. P. 799—820.
10. Carranza E.J.M. Geologically — Constrained Mineral Potential Mapping // PhD Thesis. Delft University of Technology. The Netherlands, 2002. P. 480.
11. Chernicoff C.J., Richards J.P., Zappettini E.O. Crustal lineament control on magmatism and mineralization in northwestern Argentina: geological, geophysical, and remote sensing evidence // Ore Geology Reviews. 2002. Vol. 21. P. 127—155.
12. Cooke D.R., Hollings P., Walshe J.L. Giant porphyry deposits: characteristics, distribution, and tectonic controls // Economic geology. 2005. Vol. 100. № 5. P. 801—818.
13. Cox S.F., Knackstedt M.A., Braun J. Principles of structural control on permeability and fluid flow in hydrothermal systems // Economic Geology. 2001. Vol. 14. P. 1—24.
14. Daliran F., Pride K., Walther J., Berner Z.A., Bakker R.J. The Angouran Zn (Pb) deposit, NW Iran: evidence for a two stage, hypogene zinc sulfide-zinc carbonate mineralization // Ore Geology Reviews. 2013. Vol. 53. P. 373—402.
15. Ekneligoda T.C., Henkel H. Interactive spatial analysis of lineaments // Journal of Computers and Geosciences. 2010. Vol. 36. № 8. P. 1081—1090.
16. Gilluly J. Lineaments ineffective guides to ore deposits // Economic Geology. 1976. Vol. 71. № 8. P. 1507—1514.
17. Ghorbani M. Economic Geology of Iran // GSI Publisher. 2002. P. 700 (In Persian).
18. Gorelikov V.G., Lykov Yu.V., Baatarkhuu G. Analytical and Experimental Study of the Mechanisms of Diamond Bits Interaction with Rocks in the Wellbore During Sinking Processes // International Journal of Applied Engineering Research. 2016. Vol. 11. № 10. P. 7012—7016.
19. Hu X., Garzanti E., Wang J., Huang W., An W., Webb A. The timing of India-Asia collision onset—Facts, theories, controversies // Earth-Science Reviews. 2016. Vol. 160. P. 264—299.
20. Lotfi M., Mir Mohammad Sadeghi M., Omrani S.J. Mineral Distribution Map of Iran (Scale: 1:1,000,000) // Geological Survey Iran. 1993.
21. Meshkani S.A., Mehrabi B., Yaghubpur A., Alghalandis Y.F. The application of geochemical pattern recognition to regional prospecting: a case study of the Sanandaj-Sirjan metallogenic zone, Iran // journal of geochemical exploration. 2011. Vol. 108. № 3. P. 183—195.
22. Mollai H., Sharma R., Pe-Piper G. Copper mineralization around the Ahar batholith, north of Ahar (NW Iran): evidence for fluid evolution and the origin of the skarn ore deposit // Ore Geology Reviews. 2009. Vol. 35. P. 401—414.
23. Nogol Sadat M.A.A. Les Zones de décrochement ET les virgations structural en Iran. Consequences des resultants de l'analyse structurale de lareigon de Qom. Thses Univ.Scientifique ET Medicate de Grenoble. 1978. P. 201.
24. Rajabi A., Rastad E., Canet C. Metallogeny of Cretaceous carbonate-hosted Zn-Pb deposits of Iran: geotectonic setting and data integration for future mineral exploration // International Geology Review. 2012. Vol. 54. № 14. P. 1649—1672.
25. Rastad E., Fontbote L., Amistutz G.C. Relation between tidal flat facies and diagenetic ore fabrics in the strataband Pb-Zn-(Ba-Cu) deposits of Irankuh, Esfahan, West Central-Iran // Revista del Institu de de Investigaciones Geologica Diputacion provincial Universsidad de Barcelona. 1980. Vol. 34. P. 311—323.
26. Richards J.P. Lineaments revisited // Society econ geological newsletter. 2000. Vol. 42. № 1. P.14—20.

27. Romer R.L., Kroner U. Phanerozoic tin and tungsten mineralization — tectonic controls on the distribution of enriched protoliths and heat sources for crustal melting // *Gondwana Research*. 2016. Vol. 31. P. 60—95.
28. Sahandi M.R., Soheily M., Sadeghi M., Delavar S.T., Jafari Rad A. Geological Map of Iran, 1:1,000,000 // Geological Survey of Iran. Tehran: Unpublished, 2002.
29. Shafiei B. Lead isotope signatures of the igneous rocks and porphyry copper deposits from the Kerman Cenozoic magmatic arc (SE Iran), and their magmatic–metallogenetic implications // *Ore Geology Reviews*. 2010. Vol. 38. P. 27–36.
30. Torsvik T.H., Cocks L.R.M. Gondwana from top to base in space and time // *Gondwana Research*. 2013. Vol. 24. № 3—4. P. 999—1030.
31. Tosdal R.M., Richards J.P. Magmatic and structural controls on the development of porphyry Cu, Mo, Au deposits // *Society of Economic Geologists*. 2001. Vol. 14. P. 157–181.

### ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Сохраби А. — разработал концепцию статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Бейги С. — внесла вклад в разработку концепции статьи, провела анализ данных, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Таловина И.В. — внесла вклад в разработку концепции статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Круглова А.А. — выполнила перевод на русский язык и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Крикун Н.С. — присоединился к подготовке текста статьи, внёс вклад в разработку концепции статьи, выполнил перевод на русский язык и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Arash Sohrabi — developed the article concept, prepared the text, approved the final version of the article, and accepted the responsibility for all aspects of the work.

Soheyla Beygi — contributed to the development of the concept of the article, conducted a data analysis, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article, and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Irina V. Talovina — contributed to the development of the concept of the article, finally approved the published version of the article and agrees to assume responsibility for all aspects of the work.

Anna A. Kruglova — translated it into Russian, and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Nikita S. Krikun — joined the preparation of the text of the article, developed the article concept, prepared the text, translated it into Russian, and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Сохраби Араш** — аспирант кафедры исторической и динамической геологии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет»  
2, 21-я линия, Васильевский остров, г. Санкт-Петербург 199106, Россия  
e-mail: [arashshrbi@gmail.com](mailto:arashshrbi@gmail.com)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1643-3225>

**Бейги Соheyла\*** — аспирантка кафедры исторической и динамической геологии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет»  
2, 21-я линия, Васильевский остров, г. Санкт-Петербург 199106, Россия  
e-mail: [beygi.soheyla@yahoo.com](mailto:beygi.soheyla@yahoo.com)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0391-3863>

**Arash Sohrabi** — PhD student, Department of historical and dynamic geology, Saint Petersburg Mining University  
2, 21st Line, St. Petersburg 199106, Russia  
e-mail: [arashshrbi@gmail.com](mailto:arashshrbi@gmail.com)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1643-3225>

**Soheyla Beygi\*** — PhD student, Department of historical and dynamic geology, Saint Petersburg Mining University  
2, 21st Line, St. Petersburg 199106, Russia  
e-mail: [beygi.soheyla@yahoo.com](mailto:beygi.soheyla@yahoo.com)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0391-3863>

**Таловина Ирина Владимировна** — доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующая кафедрой исторической и динамической геологии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет»

2, 21-я линия, Васильевский остров, г. Санкт-Петербург 199106, Россия

e-mail: [i.talovina@gmail.com](mailto:i.talovina@gmail.com)

SPIN-код: 7304-0991

Scopus Author ID: 12767015100

Publons (WoS) Researcher ID: S-2725-2018

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4132-7010>

**Круглова Анна Александровна** — ведущий инженер ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского»

74, Средний пр., г. Санкт-Петербург 199106, Россия

e-mail: [kruglovaanna915@gmail.com](mailto:kruglovaanna915@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6877-625X>

**Крикун Никита Сергеевич** — аспирант кафедры исторической и динамической геологии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет»

2, 21-я линия, Васильевский остров, г. Санкт-Петербург 199106, Россия

e-mail: [nskrikun@gmail.com](mailto:nskrikun@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0350-4987>

**Irina V. Talovina** — Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Head of the Department, Saint Petersburg Mining University

2, 21st Line, St. Petersburg 199106, Russia

e-mail: [i.talovina@gmail.com](mailto:i.talovina@gmail.com)

SPIN: 7304-0991

Scopus Author ID: 12767015100

Publons (WoS) Researcher ID: S-2725-2018

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4132-7010>

**Anna A. Kruglova** — leading engineer, A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute

74, Sredny pr., St. Petersburg 199106, Russia

e-mail: [kruglovaanna915@gmail.com](mailto:kruglovaanna915@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6877-625X>

**Nikita S. Krikun** — PhD student, Department of historical and dynamic geology, Saint Petersburg Mining University

2, 21st Line, St. Petersburg 199106, Russia

e-mail: [nskrikun@gmail.com](mailto:nskrikun@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0350-4987>

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author