

УДК 551.243.4

**СПИРАЛЕВИДНЫЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ТОНКОСЛОИСТОГО МАТРИКСА —
НОВАЯ РАЗНОВИДНОСТЬ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ
В ЗОНАХ СДВИГОВОГО ТЕЧЕНИЯ***

И. А. Горбунов¹, В. В. Балаганский^{1,2}, С. В. Мудрук^{1,2}

¹ФГБУН Геологический институт КНЦ РАН

²ФГБОУ Мурманский государственный технический университет

Аннотация

В тонкослоистых парасланцах Кейвского террейна установлены микроstructures, представляющие собой спирали, в которые закручены тонкие слои матрикса. Они ограничены двумя системами сланцеватости. Одна из них интерпретируется как *C*-плоскости, параллельные слоистости, а другая — как *S*-плоскости. При этом спиралевидные микроstructures находятся в ядрах резко асимметричных складок. Моноклиная симметрия этих структур позволяет считать их новой разновидностью кинематических индикаторов в зонах сдвигового течения.

Ключевые слова:

структурная геология, кинематические индикаторы, зоны сдвигового течения.

**SPIRAL-SHAPED MICROSTRUCTURES IN THIN-LAYERED ROCK MATRIX
AS A NEW SPECIES OF KINEMATIC INDICATORS IN SHEAR ZONES**

Il'ya A. Gorbunov¹, Victor V. Balagansky^{1,2}, Sergey V. Mudruk^{1,2}

¹ Geological Institute of the KSC of the RAS

² Murmansk State Technical University

Abstract

Microstructures that are represented by spirals which are formed by thin layers of matrix have been found in thin-layered parashists in the Keivy terrane. These are limited by two systems of schistosity. One of them is interpreted as *C*-planes that are parallel to bedding, and other as *S*-planes. The spiral-shaped microstructures are located in the cores of prominently asymmetric folds. The monoclinic symmetry of these microstructures allows classifying them as a new species of kinematic indicators in shear zones.

Keywords:

structural geology, kinematic indicators, shear zones.



Введение

Надвиговые движения часто сопровождаются образованием зон сдвигового течения, в которых существенно преобладает деформация простого сдвига, которая является некоаксиальной [1–3]. Отличительной чертой этой деформации является то, что она приводит к образованию макро- и

микроstructures с моноклиной симметрией. Эти структуры служат кинематическими индикаторами и позволяют реконструировать характер (знак) тектонических движений,

*Документация пластин, изготовление шлифов и построение блок-диаграммы проводились в рамках темы НИР ГИ КНЦ РАН № 0231-2015-0004, а интерпретация всех данных была выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-05-01031А).

т. е. происходили ли эти движения вдоль линии падения или же простираются плоскости сдвигового течения. В первом случае движения будут соответствовать таковым при взбросах и надвигах, а во втором — при сдвигах (во втором случае речь идет о типе разлома, а не о типе деформации). Среди известных в литературе кинематических индикаторов выделяются δ -структуры вращения [1–3]. Их основой являются жесткие включения, которые представлены порфириобластами и/или порфирикластами. При сдвиговом течении параллельно слоям эти включения испытывают вращение, в которое вовлекаются непосредственно окаймляющие их слои.

В породах Кейвского террейна авторами была установлена серия спиралей, образованных несколькими слоями в тонкослоистом кианит-ставролит-слюдяном сланце. От описанных выше δ -структур их отличает вовлечение во вращение нескольких слоев матрикса при отсутствии порфириобластов и порфирикластов, генерирующих вращение при сдвиговом течении параллельно слоистости. Этот факт позволил выделить новую разновидность кинематических индикаторов — спиралевидные микроструктуры матрикса. В предлагаемой статье дается краткое описание этих спиралевидных структур и сделаны предварительные выводы об их генезисе.

Геологическая обстановка

Кейвский террейн является северо-восточным форландом палеопротерозойского Лапландско-Кольского коллизионного орогена (рис. 1, а). Кейвский парасланцевый пояс расположен вдоль северо-восточной окраины этого террейна (рис. 1, б). Он отличается повсеместным развитием кинематических индикаторов, свидетельствующих о крупномасштабных надвиговых движениях в северном и северо-восточном направлениях (рис. 1, б). Эти надвиги связываются с коллизионными событиями во время Лапландско-Кольской орогении 1.9–2.0 млрд лет назад [4].

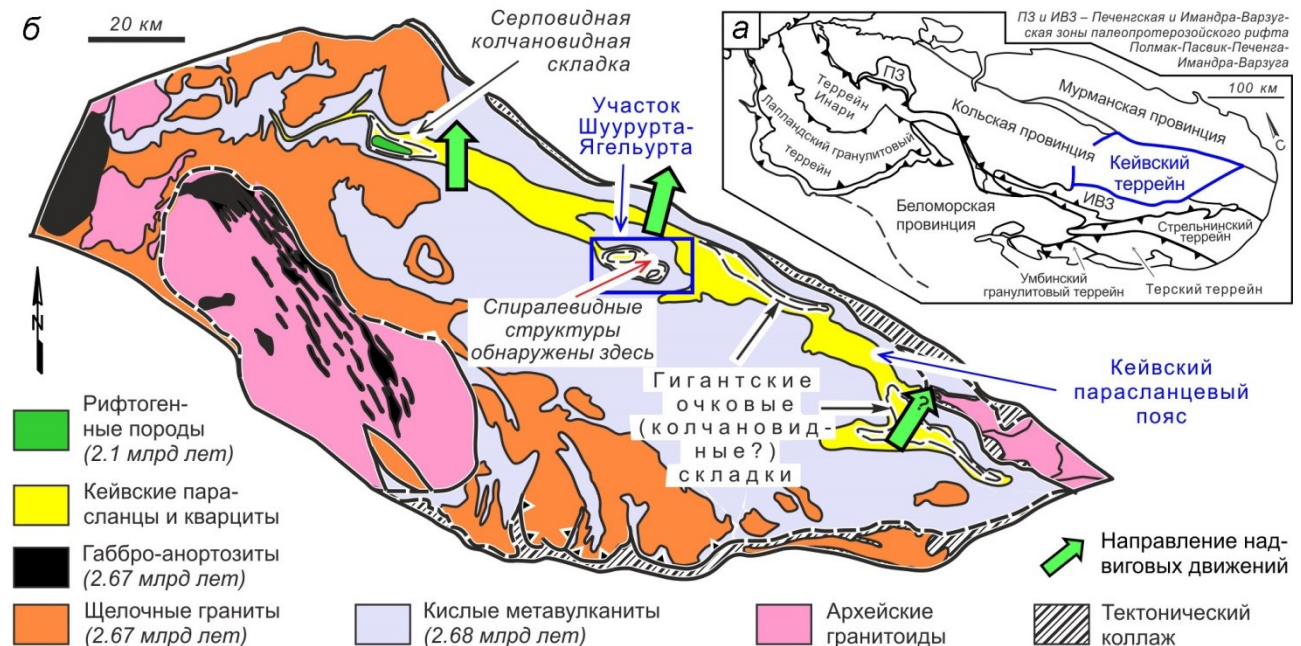


Рис. 1. Схема тектонического районирования северной и северо-восточной частей Балтийского щита: а — по В. В. Балаганскому [5] с изменениями; б — Геологическая карта Кейвского террейна (по работе [6])

На участке Шуурурта — Ягельурта (рис. 1, б) широко развиты два типа кинематических индикаторов: S - S -структуры, образованные игольчатыми кристаллами кианита, и складки с криволинейными шарнирами [4]. В пределах всего участка развита линейность по кианиту

и реже по ставролиту, погружающаяся к северу и северо-северо-востоку преимущественно под пологими углами. Криволинейные шарниры в целом расположены перпендикулярно линейности. Угол искривления шарниров не превышает 90° , но при этом часть шарниров ориентированы под острым углом относительно линейности. Эти наблюдения предполагают наличие колчановидных складок, у которых угол искривления шарниров превышает 90° [3].

Спиралевидные структуры

Эти структуры были обнаружены в мелко- и среднезернистых кейвских ставролит-кианит-кварц-мусковитовых парасланцах. Они расположены сериями между двумя системами сланцеватости. Плоскости сланцеватости одной из них параллельны слойкам и интерпретируются как *S*-плоскости, а плоскости сланцеватости другой системы расположены косо по отношению к слоистости и рассматриваются как *S*-плоскости (рис. 2).

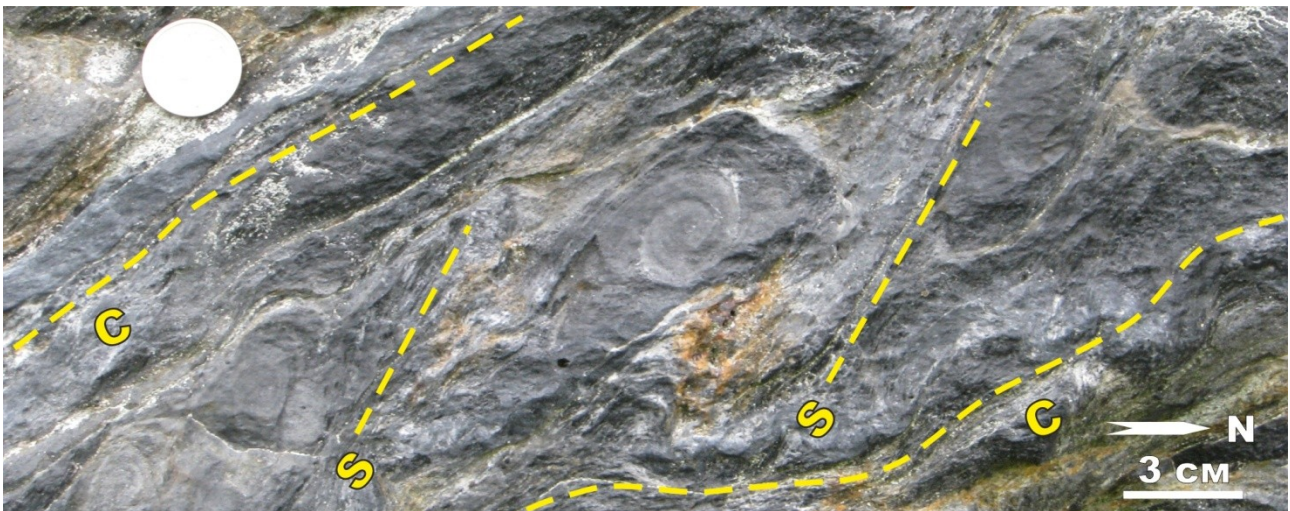


Рис. 2. Расположение спиралевидных структур тонкослоистого матрикса относительно двух систем сланцеватости

Спиралевидные структуры изучались в ориентированных образцах. Один из них был распилен на 8 пластин. Размеры каждой из пластин составляют 8.5×14 см, их толщина варьирует от 0.5 до 1 см, а ширина пропилов составляет ~ 2 мм. Плоскости пластин (всего 16 плоскостей) в целом перпендикулярны сланцеватости и параллельны линейности, т. е. они отвечают плоскости *XZ* эллипсоида деформации (рис. 3, *a*). Одна из этих плоскостей показана на рис. 3, *б*. Подобные спиралевидные структуры обычно наблюдаются внутри порфиробластов граната и известны как структуры снежного кома [3]. В описываемом нами случае они представляют собой спирали, в которые закручены тончайшие слойки парасланцев, резко отличающихся по содержанию углеродистого вещества и часто содержащих удлиненные до игольчатых призматические кристаллы кианита и реже ставролита. При этом изометричные или близкие к ним порфиробласты или порфирокласты полностью отсутствуют, а спиралевидные структуры тесно связаны с асимметричными складками сдвигового течения, располагаясь в их ядрах (рис. 3, *б*).

На рис. 3, *б* желтым пунктиром выделена подошва слойка безуглеродистого кварц-двуслюдяного парасланца с порфиробластами ставролита, смятого в асимметричную складку, причем этот слоёк наблюдается в каждой пластине. Морфология подошвы слойка изображена на блок-диаграмме (рис. 4). Эта же блок-диаграмма иллюстрирует криволинейность шарниров асимметричных складок сдвигового течения и тот факт, что отдельные складки затухают вдоль шарнира. Криволинейность шарниров такого типа возникает на начальной стадии образования

колчановидных складок в зоне сдвигового течения, когда угол искривления шарниров еще не достигает 90° и складки еще не являются колчановидными согласно определению в работе [3].

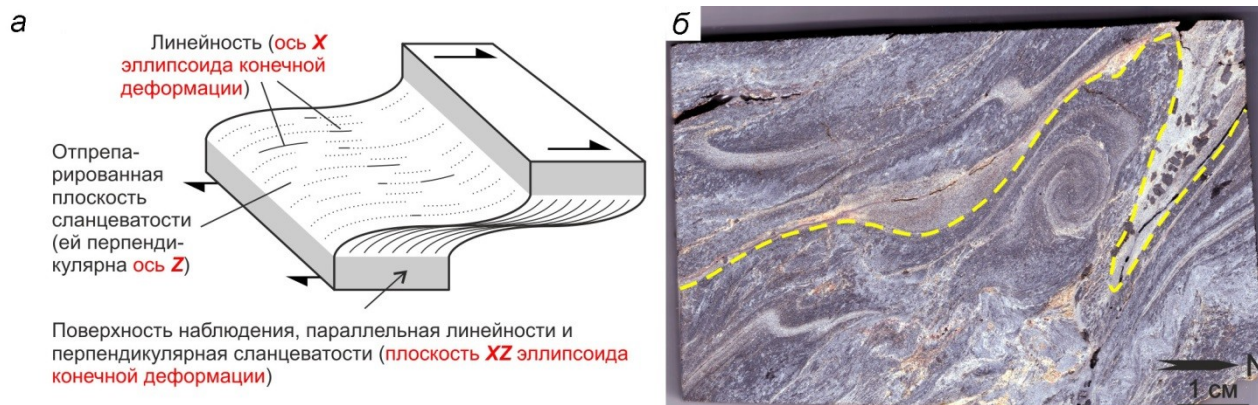


Рис. 3. Поверхность, на которой следует наблюдать кинематические индикаторы характера (знака) движений в зонах сдвигового течения (а — по работе [1]). Плоскость одной из пластин, на которые был разрезан образец, перпендикулярна оси Y и плоскости XZ эллипсоида конечной деформации (желтый пунктир маркирует подошву слойка мусковитового парасланца) — б

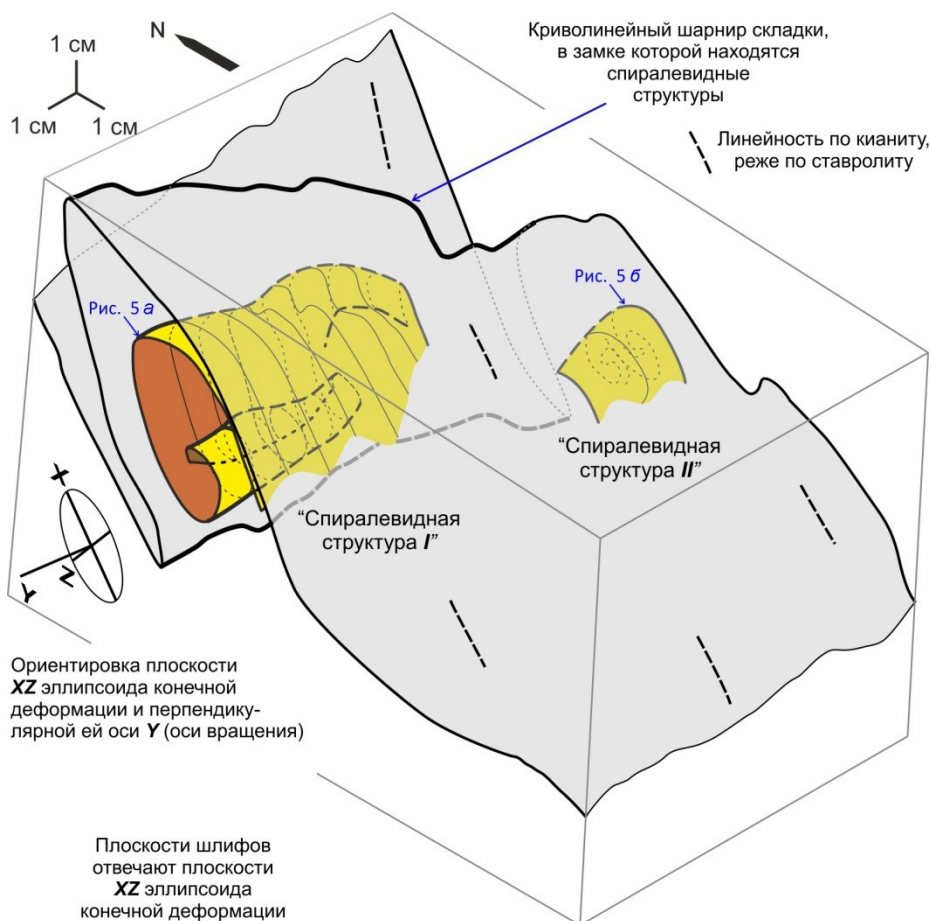


Рис. 4. Блок-диаграмма, иллюстрирующая строение спиралевидных структур матрикса, их пространственные соотношения с асимметричными складками и морфологию подошвы слойка мусковитового парасланца, отмеченного на рис. 3, б

При изучении пластин были установлены две спиралевидные структуры, схематично изображенные на блок-диаграмме и обозначенные индексами *I* и *II* на рис. 4. Они расположены в замке одной и той же асимметричной сжатой складки сдвигового течения с криволинейным шарниром. Их длинные оси (т. е. оси вращения) ориентированы перпендикулярно линейности и отвечают положению оси *Y* эллипсоида деформации, а также оси *Y* складок с криволинейными шарнирами (обозначение осей складок дается по работе [7]). Параллельно этой оси в целом расположены криволинейные шарниры асимметричных складок (рис. 4).

Для выявления морфологии этих структур и деталей их внутреннего строения перпендикулярно их длинным осям были выпилены серии шлифов (в среднем размер шлифов равен 3 × 2.5 см). Плоскости шлифов, как и пластин, отвечают плоскостям *XZ* эллипсоида деформации. Характер строения спиралей, наблюдаемый во всех деталях в шлифах (рис. 5), указывает на то, что вращение, приведшее к образованию спиралей, происходило при перемещении вышележащих слоев тонкослоистого матрикса в северном направлении. Этот характер движения соответствует общему кинематическому плану, установленному по классическим кинематическим индикаторам как в обнажении, так и на всем участке Ягельурта — Шуурурта.

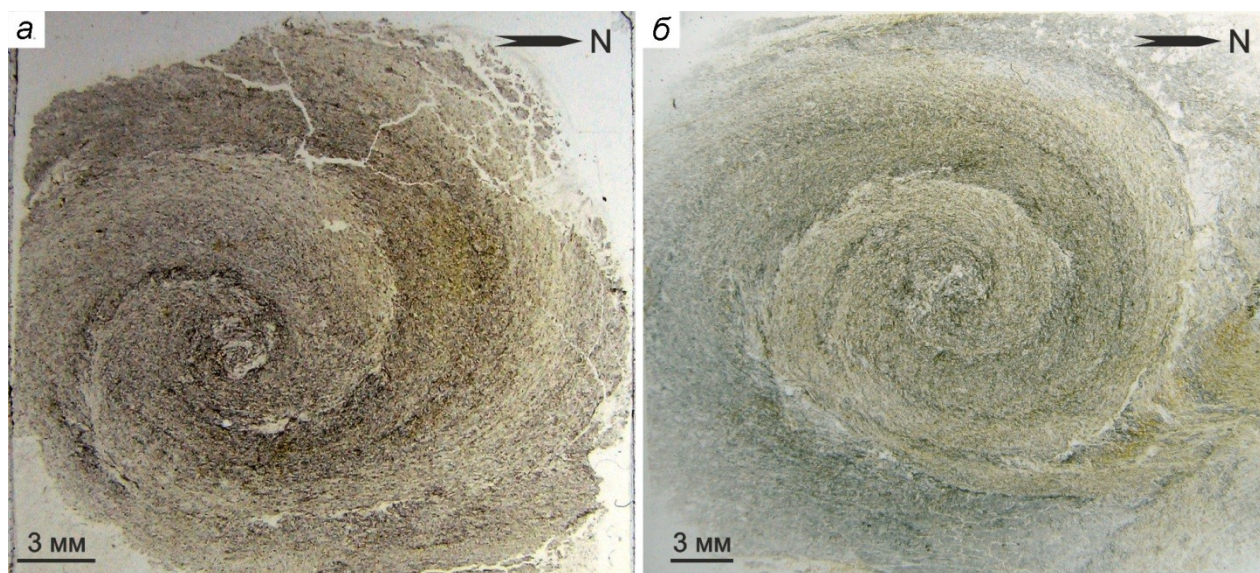


Рис. 5. Детали строения спиралевидных структур матрикса, наблюдаемые в шлифах: *а* и *б*— шлифы, которые выпилены соответственно из спиралевидных структур *I* и *II*, показанных на рис. 4

Заключение

В кейвских парасланцах установлена новая разновидность индикаторов кинематики движений в пластических сдвиговых зонах — спиралевидные структуры матрикса. Пространственно эти структуры тесно связаны с асимметричными складками с криволинейными шарнирами, характерными для зон пластического сдвигового течения. Неясным пока остается механизм образования спиралевидных структур. Спиралевидные структуры, которые наблюдаются в порфиробластах, образуются в результате вращения, вызванного смещением слойков, прилегающих к порфиробластам с двух сторон, в противоположных направлениях. Такое смещение и связанное с ним вращение порфиробластов связано с деформацией простого сдвига [1–3]. В рассматриваемом случае порфиробласты, которые могли бы инициировать вращение, отсутствуют. Для выяснения причины вращения и закручивания в спирали тонких слойков матрикса необходимы дальнейшие исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Hanmer S., Passchier C.* Shear-sense indicators: a review. *Geol. Surv. Can. Paper* 90–17, 1991. 72 p.
2. *Passchier C. W., Trouw R. A. J.* *Microtectonics*. Berlin, etc.: Springer Verlag, 1998.
3. *Ramsay J. G., Huber M. I.* The techniques of modern structural geology. Vol. 2. *Folds and Fractures*. London, etc.: Academic Press, 1987. P. 309–700.
4. Альпинотипная тектоника в палеопротерозойском Лапландско-Кольском орогене / С. В. Мудрук [и др.] // *Геотектоника*. 2013. № 4. С. 13–30.
5. The Lapland-Kola Orogen: Palaeoproterozoic collision and accretion of the northern Fennoscandian lithosphere / J. S. Daly [et al.] // *European Lithosphere Dynamics*. Geological Society, London, *Memoirs*, 32, 2006. P. 579–598.
6. Балаганский В. В., Раевский А. Б., Мудрук С. В. Нижний докембрий Кейвского террейна, северо-восток Балтийского щита: стратиграфический разрез или коллаж тектонических пластин? // *Геотектоника*. 2011. № 2. С. 32–48.
7. *Alsop G. I., Holdsworth R. E.* The three dimensional shape and localisation of deformation within multilayer sheath folds // *Journal of Structural Geology*. 2012. Vol. 44. P. 110–128.

Сведения об авторах

Горбунов Илья Александрович — младший научный сотрудник Геологического института КНЦ РАН
E-mail: gorbunov51@yandex.ru

Балаганский Виктор Валентинович — доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией Геологического института КНЦ РАН; профессор Мурманского государственного технического университета

E-mail: balagan@geoksc.apatity.ru

Мудрук Сергей Владимирович — кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник Геологического института КНЦ РАН; доцент Мурманского государственного технического университета

E-mail: mudruksergey@mail.ru

Author Affiliation

Il'ya A. Gorbunov — Junior Researcher of the Geological Institute of the KSC of the RAS

E-mail: gorbunov51@yandex.ru

Victor V. Balagansky — Dr. Sci. (Geology & Mineralogy), Head of Laboratory at the Geological Institute of the KSC of the RAS; Professor at the Murmansk State Technical University

E-mail: balagan@geoksc.apatity.ru

Sergey V. Mudruk — PhD (Geology & Mineralogy), Researcher of the Geological Institute of the KSC of the RAS; Associate Professor at the Murmansk State Technical University

E-mail: mudruksergey@mail.ru

Библиографическое описание статьи

Горбунов, И. А. Спиралевидные микроструктуры тонкослоистого матрикса — новая разновидность кинематических индикаторов в зонах сдвигового течения / *И. А. Горбунов, В. В. Балаганский, С. В. Мудрук* // *Вестник Кольского научного центра РАН*. — 2016. — № 4 (27). — С. 10–15.

Reference

Gorbunov Il'ya A., Balagansky Victor V., Mudruk Sergey V. Spiral-Shaped Microstructures in Thin-Layered Rock Matrix as a New Species of Kinematic Indicators in Shear Zones. *Herald of the Kola Science Centre of the RAS*, 2016, vol. 4 (27), pp. 10–15. (In Russ.).