

Складки волочения в осадочных породах, вещающих кимберлиты Западной Якутии

Drag folds in sedimentary rocks hosting kimberlites, West Yakutia

Игнатов П. А., Зарипов Н. Р.,
Новиков К. В., Толстов А. В.

Ignatov P. A., Zaripov N. R.,
Novikov K. V., Tolstov A. V.

Складки волочения установлены в осадочных толщах нижнего палеозоя Мирнинского, Накынского и Слюдякарского алмазоносных полей Западной Якутии. Они представлены мелкими антиклинальными формами мощностью от 3–5 до 15–20 см и нарушают прослой мергелей, глинистых известняков и доломитов, расположенные между монолитными пластами карбонатных пород. Ряд складок в виде моноклиналей, флексур и S- или Z-образных складок отражает степень межслоевого смещения сдвиговой природы. Складки волочения входят в ансамбль проявлений сдвиговых зон, включающий микровзбросы, зеркала скольжения с горизонтальными плоскостями борозд скольжения и зоны рассланцевания. Складки волочения отражают места локального растяжения, а зоны рассланцевания – сжатия. По Слюдякарскому полю приведены результаты детального картирования складок волочения и зон рассланцевания в трёх масштабах: по сети наблюдений 20 × 20 м на локальном участке 2 км²; по сети 200 × 200 м на площади 20 км²; по сети 500 × 500 м в пределах территории ~ 100 км². Во всех масштабах ореолы складок волочения ограничиваются зонами рассланцевания. На локальном участке вблизи кимберлитов складки волочения маркируют рудовмещающий разлом, контролирующей длинные оси площадных проекций кимберлитов. На больших площадях ореолы складок волочения составляют 1,2–2 км, что сопоставимо с площадными параметрами кимберлитовых кустов. Ореолы складок волочения отражают узлы пересечения сдвигов, часть которых вмещает кимберлиты. Локальные проявления складок волочения маркируют магистральный сдвиг, вмещающий кимберлитовое тело. Анализ складок волочения в совокупности с другими признаками следует использовать в качестве косвенного поискового признака скрытых сдвигов и участков локального растяжения, контролирующих кимберлиты.

Ключевые слова: складки волочения, зеркала скольжения, картирование, кимберлиты, микровзбросы, рассланцевание, сдвиги.

Drag folds were revealed in Lower Paleozoic sedimentary strata of Mirny, Nakyn and Syuldyukar diamondiferous fields, West Yakutia. They consist of minor anticlinal forms (3–5 to 15–20 cm thick) and cut marl, clayey limestone and dolomite bands located between monolith seams of carbonate rocks. Some folds as monocline, flexures and S- or Z-shaped folds reflect the degree of shear-related interlayer offset. Drag folds are among shear zone occurrences including microfaults, slickensides with slip groove horizontal planes, and schistosity zones. Drag folds reflect local extension points while schistosity zones indicate compression points. For Syuldyukar field, detailed mapping results for drag folds and schistosity zones are provided at 3 scales: across 20 × 20 m observation grid within a local 2 km² site; across 200 × 200 m grid within 20 km² area; across 500 × 500 m grid within ~100 km² territory. For all scales, drag fold halos are restricted to schistosity zones. Within a local site adjacent to kimberlites, drag folds mark ore-hosting fault controlling long axes of kimberlite areal projections. Within large areas, drag fold halos are 1,2–2 km, which compares with kimberlite group areal parameters. Drag fold halos reflect shear junctions, with some of them hosting kimberlites. Local occurrences of drag folds mark a major shear hosting a kimberlite body. Drag fold analysis combined with other evidence should be used as an indirect prospecting indicator of concealed shears and local extension areas controlling kimberlites.

Keywords: drag folds, slickensides, mapping, kimberlites, microfaults, schistosity, shears.

Для цитирования: Игнатов П. А., Зарипов Н. Р., Новиков К. В., Толстов А. В. Складки волочения в осадочных породах, вмещающих кимберлиты Западной Якутии. Руды и металлы. 2021. № 3. 82–91. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10020.

For citation: Ignatov P. A., Zaripov N. R., Novikov K. V., Tolstov A. V. Drag folds in sedimentary rocks hosting kimberlites, West Yakutia. Ores and metals, 2021, № 3, pp. 82–91. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10020.

Введение. Складки волочения – типичный признак пластических деформаций, происходящих в осадочных и метаморфических породах при их горизонтальных смещениях. Они распространены в складчатых областях и часто встречаются в слоях глинисто-сланцевых пород, заключённых в песчаниках и кварцитах [9]. В осадочных породах чехла древних и молодых платформ складки волочения практически не систематизированы и лишь упоминаются.

Вместе с тем складки волочения являются характерным признаком сдвиговых структур. Последние в алмазоносных районах Якутии контролируют положение коренных алмазных месторождений [2, 4, 6, 7]. В этой связи картирование складок волочения может быть дополнительным признаком рудоконтролирующих структур. Такие складки явно указывают на горизонтальные смещения блоков горных пород, что важно для палеотектонических реконструкций. Они относятся к мелким формам с мощностью от 3–5 до 15–30 см и содержат слюдисто-глинистый материал. В естественных обнажениях такие мелкие дислокации в глинистых слоях, как правило, закрыты осыпями, а в карьерах на расстоянии в 2 м практически не видны. Но они отчётливо фиксируются по результатам изучения керна с его полным выходом [6].

Характеристике разновидностей складок волочения, распространённых в алмазоносных полях Западной Якутии, и закономерностям их распространения посвящена данная статья. Складки волочения изучены в терригенно-карбонатных толщах кембрия и ордовика, вмещающих алмазоносные кимберлиты Мирнинского, Накынского и Слюдюкарского полей.

Фактический материал и методы исследования. Складки волочения зафиксированы в мирнинской и холмолохской свитах кембрия и олдондинской свите ордовика, входящих в состав осадочного чехла Мало-Ботуобинского, Ыгыаттинского и Средне-Мархинского алмазоносных районов Западно-Якутской провинции Восточно-Сибирской древней платформы. В частности, они встречаются в разрезах,



Рис. 1. Схема расположения кимберлитовых полей южной части Якутской провинции, [11]:

границы Якутской алмазоносной провинции (ЯАП) во врезке приведены по данным А. Д. Харькина и др. [18]

Fig. 1. Layout of kimberlite fields in the southern part of the Yakutian province [11]

boundaries of the Yakutian diamondiferous province (YDP) shown in the inset are based on the data by A. D. Kharkiv et al. [18]

вскрытых бурением в пределах Мирнинского, Слюдюкарского и Накынского кимберлитовых полей отмеченных районов (рис. 1). Названные поля хорошо изучены. Многочисленные разрезы этих свит вскрыты поисковыми вертикальными скважинами, в абсолютном большинстве которых был практически стопроцентный выход керна.

В разрезе платформенного чехла рассматриваемых районов с преимущественным горизонтальным залеганием пластов выделяется несколько структурных ярусов снизу вверх: терригенно-карбонатный венд-нижнепалеозойский; лимнический угленосный карбон-пермский, карбонатно-терригенно-угленосный юрский. В Слюдюкарском поле широко распространены туфы и силлы пермо-триасовой трапповой формации.

Складки волочения и другие тектонические нарушения изучены по единой методике одними исследователями [6] по керну более 8 тыс. скважин, вскрывших разрезы нижнего палеозоя. Они вместе с рядом других признаков учтены в базе данных, по которой созданы геоинформационные проекты, что позволило провести корректный анализ их распространения. На примере Сюльдюкарского поля приведены результаты картирования складок волочения и сопутствующих деформаций. В его центральной части в пределах 100 км² исследован керн 400 скважин, по которым изучены разрезы верхней части холомолохской свиты кембрия мощностью от 30 до 300 м с разной плотностью сети: 500 × 500, 200 × 200, 20 × 20 м. Практически во всех скважинах выход керна по кембрийской холомолохской свите был 90–100 %.

При диагностике тектонических признаков учитывался литогенетический состав морских отложений и седименто-диагенетические нарушения горизонтальной слоистости.

Результаты исследований. Складки волочения представляют собой подворот и складчатую деформацию слоя в зоне разрыва, возникшие из-за воздействия касательных напряжений на верхнюю и нижнюю поверхности слоя, испытавших тектоническое перемещение по разрыву [1]. Кроме того, эти формы отражают существенно более низкую вязкость слоя, который испытывает деформацию, относительно более хрупких покрывающих и подстилающих пород.

Складки волочения и основы сдвигового механизма их образования рассмотрены во многих работах по структурному анализу [3, 9, 10, 16, 23 и др.]. В осадочно-метаморфических породах докембрийского фундамента древних платформ они описаны в работах [19, 22, 24–26] и изучены на ряде рудных месторождений, поскольку связаны с формированием локальных структурных ловушек, рудных столбов и гнезд [2, 14, 16, 20, 21 и др.]. В рассматриваемых случаях складки волочения отмечены в тонких прослоях горизонтально-слоистых глинистых известняков, залегающих в однородных пластах доломитов и известняков. Мощ-

ность слоёв, затронутых складками волочения, составляет от 3–5 до 20 см, их протяжённость по данным бурения по сети 20 × 20 м можно предполагать до десятков метров.

По керну выделяются следующие межслоевые дислокации, которые следует относить к складкам волочения: моноклираль (рис. 2, *a, b*); флексура (рис. 2, *c, d*); симметричная клиновидная антиклиналь (рис. 2, *e*); *S*- или *Z*-образная (рис. 2, *f*).

Во всех случаях складки волочения затрагивают практически один литогенетический тип глинисто-карбонатных горизонтально-слоистых мелководно-морских отложений с затишными от волнения обстановками седиментации. Они, очевидно, накапливались на выровненном дне, где не могли сформироваться оползни и оплывины, с которыми их в первом приближении можно было бы спутать. Надо заметить, что пластические внутрислоевые деформации могут отражать и палеосейсмогенные нарушения слаболитофицированных раннепалеозойских осадков, поскольку они весьма схожи с описанными сейсмогенными нарушениями современных осадков [15].

Показанные формы складок представляются не случайными, поскольку они логично отражают последовательный ряд дислокаций по степени сдвигового смещения верхнего и нижнего жёстких слоёв (рис. 3).

Несомненно, максимально изогнутые слоики типов *S* и *Z* наиболее приближены к источнику тектонических движений – осевой части сдвига или магистральному разлому зоны сдвига. Магистральные разломы выделены и по их моделированию [16]. Также можно предположить, что следующими деформациями в показанном ряду могут быть микровзбросы, которые формируются в относительно хрупких породах. В случаях менее вязких сред и при больших напряжениях в осевой части сдвигов могут образоваться межслоевые тектонические брекчии и милониты.

Собственно, поверхность магистрального разлома сдвиговой зоны маркируется зеркалами скольжения с горизонтальными бороздами. Они задокументированы как в горизонтальной межпластовой плоскости, так и в вер-

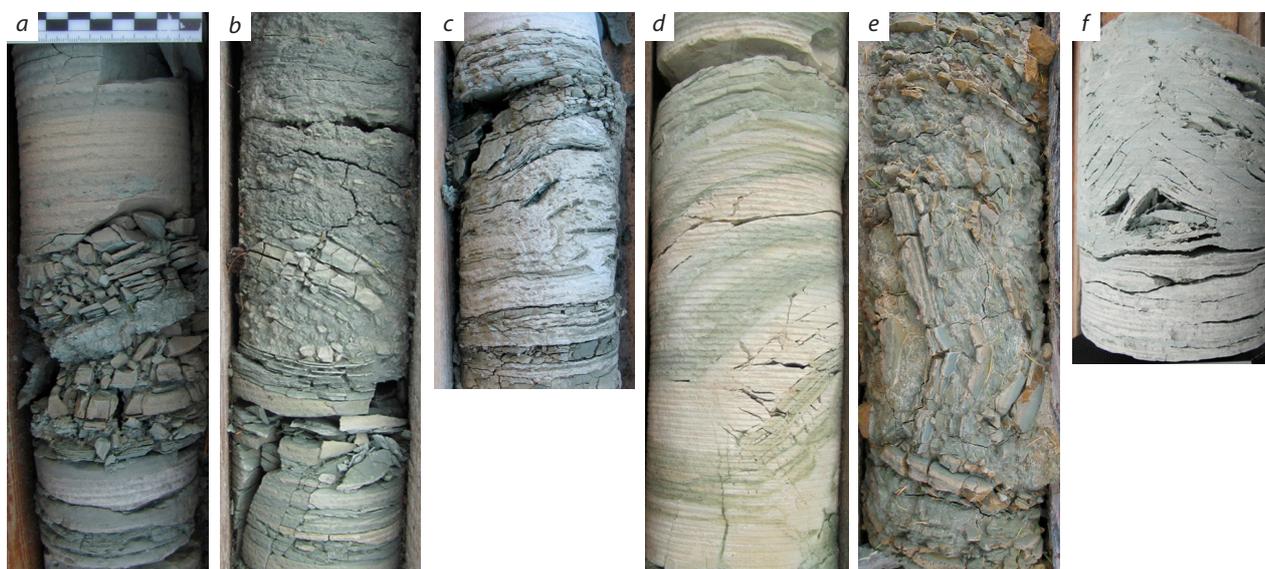


Рис. 2. Различные складки волочения, встреченные в горизонтально залегающих кембрийских и ордовикских терригенно-карбонатных толщах Мирнинского, Накынского и Сюльдюкарского алмазоносных полей Западной Якутии:

складки: простые моноклиальные: *a* – скв. 140-103,25, глуб. 49,2 м, *b* – скв. 141-99,5, глуб. 31 м, Сюльдюкарское поле; флексурные: *c* – скв. 518-445, глуб. 130,5 м, *d* – скв. Vtem 1-15f, глуб. 95 м, Накынное поле; *e* – S- или Z-образная (скв. 288-213, глуб. 24 м, Мирнинское поле); *f* – симметричная клиновидная (скв. 142-102, глуб. 67,5 м, Сюльдюкарское поле); во всех примерах диаметр ядра 10 см

Fig. 2. Various drag folds found in lateral Cambrian and Ordovician terrigenous-carbonate strata of the Mirny, Nakyn and Syuldyukar diamondiferous fields of Western Yakutia:

folds: simple monoclinical: *a* – borehole 140-103.25, depth 49,2 m, *b* – hole 141-99,5, depth 31 m, Syuldyukar field; flexure: *c* – hole 518-445, depth 130,5 m, *d* – hole Vtem 1-15f, depth 95 m, Nakyn field; *e* – S- or Z-shaped (hole 288-213, depth 24 m, Mirny field); *f* – symmetric wedge-shaped (hole 142-102, depth 67.5 m, Syuldyukar field); in all examples, the core diameter is 10 cm

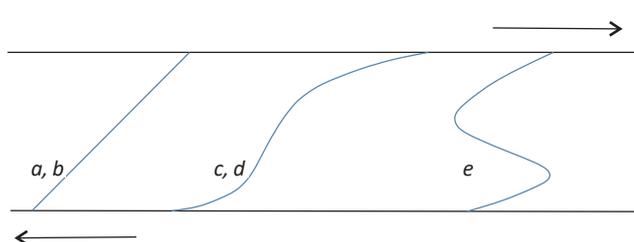


Рис. 3. Схематический ряд присдвиговых складок волочения:

a, b, c, d, e – примеры складок, приведённых на рис. 2

Fig. 3. Schematic series of pull-apart drag folds:

a, b, c, d, e – examples of folds shown in Fig. 2

тикальной, соответствующей крутопадающему нарушению. В случае литологического выклинивания относительно пластичного слоя две плоскости межслоевого скольжения объединяются в одну. При этом противоположные горизонтальные напряжения могут формировать симметричные антиклинали. Пример такой складки приведён на рис. 2, *f*.

В ансамбль хрупких и вязких деформаций, сопровождающих сдвиги, в рассматриваемых толщах терригенно-карбонатных пород входят зоны расланцевания, которые представлены серией сближенных криволинейных субпараллельных трещин, слагающих плоскую скорлуповатую форму (рис. 4).



Рис. 4. Зона рассланцевания в доломитах

Накынское поле, скв. 840-5, глуб. 69 м, диаметр керна 10 см

Fig. 4. Dolomite-hosted schistosity zone

Nakyn field, borehole 840-5, 69 m depth, core diameter is 10 cm

Такие формы напоминают сближенные серии диаклазовых трещин без смещения. Представляется, что зоны рассланцевания находятся на окончании магистральных нарушений сдвигов (см. рис. 3). Собственно сдвиги имеют мощность до первых десятков метров и крутое падение. Это подтверждено данными картирования признаков сдвигов на Майском месторождении алмазов, Мархинском объекте и Озёрном рудопроявлении, где они вмещают дайки и жилы алмазоносных кимберлитов [4, 6–8]. Участки сдвигов, где находятся складки волочения, отражают локальные растяжения, а места с зонами рассланцевания – сжатия. Зоны рассланцевания широко распространены, складки волочения встречаются реже. Ещё реже обнаруживаются микровзбросы и очень редко – зеркала скольжения с горизонтальными бороздами. Межслоевые тектонические брекчии и милониты зафиксированы в единичных случаях.

Закономерности распространения складок волочения и зон рассланцевания показаны на примере Сюльдюкарского кимберлитового поля, где в 2016 г. были обнаружены алмазоносные кимберлиты [12, 13]. Они прорывают мергели, известняки и доломиты холомолохской свиты кембрия и перекрываются среднекаменноугольно-пермскими угленосными песчаниками, алевролитами и аргиллитами. Площадь

с кимберлитами расположена в так называемом трапповом окне, за пределами которого широко распространены залегающие выше пермо-триасовые туфы и силлы долеритов.

Поисковым бурением вскрыта верхняя часть холомолохской свиты мощностью первые десятки метров в абсолютном большинстве случаев. На локальном участке с кимберлитами разрезы более представительны и достигают 300 м. На этом участке изучен керн 26 скважин, пройденных по сети 20 × 20 м, а также серия скважен, расположенных до 250 м от кимберлитов (рис. 5). В пяти разрезах обнаружены складки волочения. В четырёх случаях складки волочения локализованы в зоне кимберлитовмещающего субширотного разлома сдвиговой природы. В этой зоне встречены микровзбросы и зеркала скольжения с горизонтальными бороздами, в том числе в двух разрезах, имеются и складки волочения. Этот узкий ореол складок волочения имеет ширину порядка 100 м, длину ~ 400 м.

На большей площади (~ 20 км²) имеет место кустовое распределение складок волочения (рис. 6). Выделение ореолов проведено по анализу керна скважин, пройденных по сети 200 × 250 м. Здесь, как и на детальном участке, видно, что ореолы со складками волочения обрамляются скважинами, в которых вскрыты зоны рассланцевания. Это подтверждает отме-

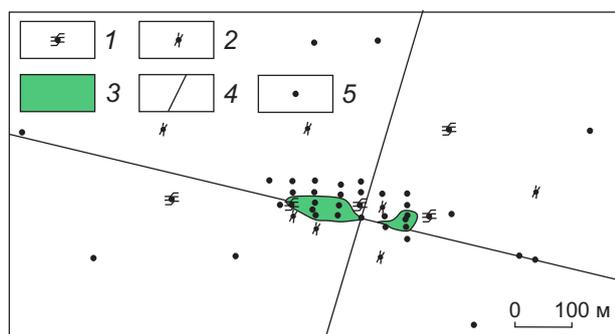


Рис. 5. Распространение складок волочения в хололохской свите на участке Сьюльдюкарских кимберлитов:

1 – складки волочения; 2 – зоны рассланцевания; 3 – проекция кимберлитов; 4 – осевые части сдвигов; 5 – устья скважин

Fig. 5. Distribution of drag folds in the Holomolokh Formation within Syuldyukar kimberlites.

1 – drag folds; 2 – shear zones; 3 – kimberlite projection; 4 – shear axes; 5 – wellheads

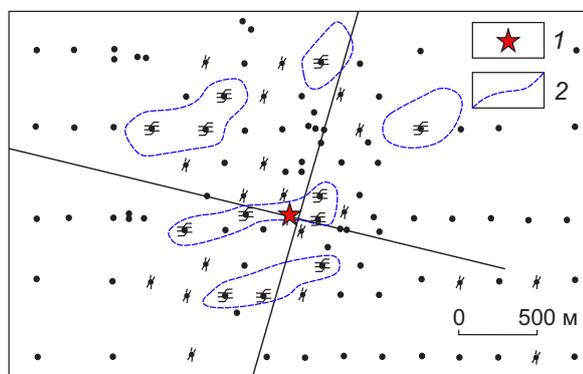


Рис. 6. Распространение складок волочения и зон рассланцевания в породах хололохской свиты кембрия в пределах участка детализации в центральной части Сьюльдюкарского поля:

1 – кимберлиты; 2 – контур ореолов складок волочения; остальные усл. обозн. см. рис. 5

Fig. 6. Distribution of drag folds and shear zones in the rocks of Cambrian Kholomolokhskaya suite within the detalization area in the central part of the Syuldyukar field:

1 – kimberlites; 2 – contour of of drag fold halos; see Fig. 5 for other legend

ченное выше модельное соотношение признаков сдвига, выраженное складками волочения (см. рис. 3). Надо отметить, что форма ореолов во многом определяется плотностью сети наблюдений. Ореолы складок волочения, закартированные по такой сети, составляют в поперечнике 500–600 м, что сопоставимо с площадными параметрами кимберлитовых трубок и протяжённостью кимберлитовых даек.

Участки распространения складок волочения выделены по анализу керн скважин, пройденных по сети бурения 500 × 500 м на площади примерно в 100 км² (рис. 7). Складки волочения и в таком масштабе имеют кластерное распространение. Очевидно, что они отражают узлы пересечения разломов. В поперечнике составляют 1,5–2,5 км, что соответствует площадным параметрам кустов кимберлитов. Важно отметить, что и по такой, относительно редкой, сети наблюдений распространение складок волочения также ограничивается зонами рассланцевания. Важно отметить, что из восьми выделенных ореолов складок волочения в двух имеются микровзбросы и зеркала скольжения с горизонтальными бороздами, указывающими на явные деформации сдвига. В одном из ореолов локализованы алмазоносные кимберлиты, второй участок представляется перспективным на их обнаружение.

Приведённые результаты картирования складок волочения и зон рассланцевания выполнены с учётом разной плотности поискового бурения.

Заключение. Впервые в осадочном чехле древней Восточно-Сибирской платформы, испытавшей среднепалеозойскую тектоно-магматическую активизацию, охарактеризованы межслоевые складки волочения, распространённые в терригенно-карбонатных толщах нижнего палеозоя, вмещающих алмазоносные кимберлиты Мирнинского, Накынского и Сьюльдюкарского полей Западной Якутии. Выделенные формы складок волочения отражают разную степень деформаций при затухании напряжений сдвига и различную пластичность пород слоев. S- и Z-образные складки максимально приближены к магистральным

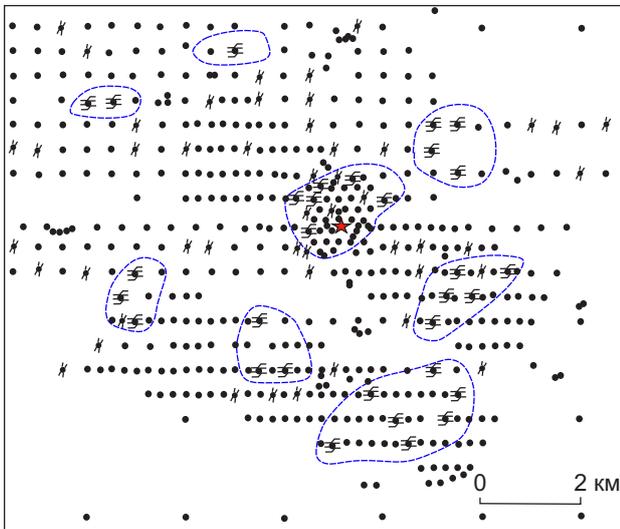


Рис. 7. Распространение складок волочения, зон рассланцевания, микровзбросов и зеркал скольжения с горизонтальными бороздами в центральной части Сьюльдюкарского поля:

усл. обозн. см. рис. 5, 6

Fig. 7. Distribution of drag folds, shistosity zones, microfaults and slickensides with horizontal grooves in the central part of the Syuldyukar field:

see Fig. 5, 6 for legend

Список литературы

1. *Геологический словарь* [в 3 томах]. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2010. Т. 1. А–В. – 2010. – 412 с.
2. *Гладков А. С., Борняков С. А., Манаков А. В., Матросов В. А.* Тектонофизические исследования при алмазопромышленных работах. – М. : Научный мир, 2008. – 175 с.
3. *Гончаров М. А., Талицкий В. Г., Фролова Н. С.* Введение в тектонофизику : учебное пособие / отв. ред. Н. В. Короновский. – М. : КДУ, 2005. – 496 с.
4. *Игнатов П. А., Бушков К. Ю., Толстов А. В., Яныгин Ю. Т.* Картирование скрытых сдвиговых кимберлитоконтролирующих структур в Накынском поле // Проблемы прогнозирования и поисков месторождений алмазов на закрытых территориях. – Якутск : ЯНЦ СО РАН, 2008. – С. 325–331.
5. *Игнатов П. А., Зарипов Н. Р., Толстов А. В., Колесник А. Ю., Мальцев М. В.* Гидротермальная минерализация в осадочных породах кембрия как индикатор рудовмещающей структуры кимберлитов Сьюльдюкарского поля Якутии // Руды и металлы. – 2021. – № 1. – С. 93–105.
6. *Игнатов П. А., Новиков К. В.* Полевая диагностика тектонических нарушений и флюидоразрывных образований в кимберлитовмещающих отложениях нижнего палеозоя. Методическое руководство. – Мирный, 2019. – 76 с.
7. *Игнатов П. А., Бушков К. Ю., Штейн Я. И., Толстов А. В., Яныгин Ю. Т.* Геологические и минералого-геохимические признаки структур, контролирующих алмазоносные кимберлиты Накынского поля Якутии // Руды и металлы. – 2006. – № 4. – С. 59–67.

разломам сдвига. Они свойственны локальным участкам растяжения сдвиговых зон.

На примере Сьюльдюкарского поля показано, что картирование складок волочения по керну плотной сети бурения 20×20 м маркирует магистральный разлом, контролирующий положение и длинные оси кимберлитовых тел. Ореолы складок волочения, установленные по сетям наблюдений 200×200 и 500×500 м, отражают узлы пересечения разломов и соотносятся с рангами кимберлитовых тел и их кустов.

Неравномерность распространения складок волочения в разных масштабах отражает фрактальность тектонических деформаций и повторяет элементы сдвигов разных рангов.

Анализ складок волочения в совокупности с другими минералого-геохимическими признаками следует использовать в качестве косвенного поискового признака скрытых зон сдвигов и участков их локального растяжения, контролирующих кимберлитовые кусты и вмещающих кимберлиты [5, 6, 8, 13, 17 и др.].

Выявленные складки волочения и предложенную модель их образования следует учитывать при анализе потенциально опасных смещений горнорудных масс по горизонтам более пластичных пород, находящихся внутри более хрупких горнорудных массивов.

8. Игнатов П. А., Шмонов А. М., Новиков К. В., Кряжев С. Г., Ковальчук О. Е., Разумов А. Н. Сравнительный анализ рудовмещающих структур Майского, Мархинского и Озёрного кимберлитовых тел Накынского поля Якутии // Геология рудных месторождений. – 2015. – Т. 57, № 2. – С. 125–131.
9. Кирмасов А. Б. Основы структурного анализа. – М.: Научный мир, 2011. – 368 с.
10. Корсаков А. К., Межеловская С. В., Погребс Н. А., Межеловский А. Д., Журавлев А. Н., Лаптева А. М., Наравас А. К., Соколов С. А., Никитина М. И., Павлинова Н. В., Рыжова А. А., Филатова Л. К., Чернова А. Д. Основные формы залегания горных пород: учебное пособие. – М.: ГЕОКАРТ; ГЕОС, 2017. – 280 с.
11. Костровицкий С. И., Специус З. В., Яковлев Д. А., Фон-дер-Флаас Г. С., Суворова Л. Ф., Богуш И. Н. Атлас коренных месторождений алмазов Якутской кимберлитовой провинции / отв. ред. Н. П. Похиленко; НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО). – Мирный: МГТ, 2015. – 480 с.
12. Мальцев М. В., Толстов А. В., Фомин В. М., Старкова Т. С. Новое кимберлитовое поле в Якутии и типоморфные особенности его минералов-индикаторов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2016. – № 3. – С. 86–94.
13. Мальцев М. В., Толстов А. В., Бережнев И. И. Условия локализации и критерии поисков кимберлитов (на примере Ыгыаттинского алмазоносного района, Западная Якутия) // Известия вузов. Геология и разведка. – 2018. – № 6. – С. 41–49.
14. Некрасов Е. М., Дорожкина Л. А., Дудкин Н. В. Особенности геологии и структуры крупнейших золоторудных месторождений эндогенного класса. – М.: Астрей-центр, 2015. – 191 с.
15. Палеосейсмология [в 2 томах] / под ред. Дж. П. МакКалпина. – М.: Научный мир, 2011. – 2 т.
16. Семинский К. Ж., Гладков А. С., Лунина О. В., Тугарина М. А. Внутренняя структура континентальных разломных зон. Прикладной аспект. – Новосибирск: СО РАН, филиал «ГЕО», 2005. – 244 с.
17. Симоненко В. И., Толстов А. В., Васильева В. И. Новый подход к геохимическим поискам кимберлитов на закрытых территориях // Разведка и охрана недр. – 2008. – № 4–5. – С. 108–112.
18. Харьков А. Д., Зинчук Н. Н., Крючков А. И. Коренные месторождения алмазов мира. – М.: Недра, 1998. – 555 с.
19. Al-Doukhi, Hanadi Abulateef. Precambrian evolution of the Salalah crystalline basement from structural analysis and $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ geochronology: doctoral dissertations. – 2014. – URL: https://scholar.mst.edu/doctoral_dissertations/2238.
20. Corbett G. J. Epithermal Au-Ag and porphyry Cu-Au exploration – short course manual: unpublished. – 2017.
21. Cowan E. J. Deposit-scale structural architecture of the Sigma-Lamaque gold deposit, Canada – insights from a newly proposed 3D method for assessing structural controls from drill hole data // Mineralium Deposita. – 2020. – № 55. – P. 217–240. – URL: <https://doi.org/10.1007/s00126-019-00949-6> (дата обращения: 04.08.2021).
22. Giambiagi L., Ghiglione V., Cristallini E., Bottes G. Kinematic models of basement/cover interaction: Insights from the Malargue fold and thrust belt, Mendoza, Argentina // Journal of Structural Geology. – 2009. – № 31. – P. 1443–1457.
23. Mukherjee Soumyajit Review on symmetric structures in ductile shear zones // International Journal of Earth Sciences / Indian Institute of Technology Bombay. – 2017. – № 106. – P. 1453–1468.
24. Mc. Farlane H. B. The geodynamic and tectonic evolution of the Palaeoproterozoic Sefwi Greenstone Belt, West African Craton // School of Earth, Atmosphere and Environment (Monash University, Australia); Géosciences Environnement, Toulouse, Université Paul Sabatier (Toulouse III), France). – 2017. – 297 p.
25. Portella P., Anncsley I. R. Paleoproterozoic tectonic evolution of the eastern sub-Athabasca basement, northern Saskatchewan: Integrated geophysical and geological data: in Summary of Investigations 2000. Volume 2. Saskatchewan Geological Survey / Saskatchewan Geological Survey, SEM // Miscellaneous Report 2000-4.2
26. Wenbin Ji, Wei Lin, Michel Faure, Yang Chu, Lin Wu, Fei Wang, Jun Wang, Qingchen Wang. Origin and tectonic significance of the Huangling massif within the Yangtze craton, South China // Journal of Asian Earth Sciences. – 2014. – V. 86. – P. 59–75. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1367912013003210> (дата обращения: 05.08.2021).

References

1. Geologicheskii slovar' v 3 tomakh. T. 1. A–V [Geological Dictionary in 3 volumes. V. 1], St. Petersburg, VSEGEI Publ., 2010, 412 p.
2. Gladkov A. S., Borneyakov S. A., Manakov A. V., Matrosov V. A. Tektonofizicheskie issledovaniya prialmazopiskovykh rabotakh [Tectonophysical research during diamond prospecting], Moscow, Nauchnyi mir Publ., 2008, 175 p.
3. Goncharov M. A., Talitskii V. G., Frolova N. S. Vvedenie v tektonofiziku [Introduction to tectonophysics], Moscow, KDU Publ., 2005, 496 p.
4. Ignatov P. A., Bushkov K. Yu., Tolstov A. V., Yanygin Yu. T. Kartirovanie skrytykh sdvigovykh kimberlitokontroliruyushchikh struktur v Nakynskom pole [Mapping of hidden strike-slip kimberlite-controlling structures in the Nakyn field], Problemy prognizirovaniya i poiskov mestorozhdeniialmazov nazakrytykh territoriyakh [Problems of forecasting and prospecting for diamond deposits in closed areas], Yakutsk, YaNTs SO RAN Publ., 2008, pp. 325–331.
5. Ignatov P. A., Zaripov N. R., Tolstov A. V., Kolesnik A. Yu., Mal'tsev M. V. Gidrotermalnaya mineralizatsii osadochnykh porodakh kembriya kak indikator rudovmeshchayushchei struktury kimberlitov Syul'dyukarskogo polya Yakutii [Hydrothermal mineralization in sedimentary rocks of the Cambrian as an indicator of the ore-bearing structure of kimberlites of the Syuldyukar field of Yakutia], *Rudy i metally* [Ores and Metals], 2021, No 1, pp. 93–105. (In Russ.).
6. Ignatov P. A., Novikov K. V. Polevaya diagnostika tektonicheskikh narushenii i flyuidorazryvnykh obrazovaniiv kimberlitovmeshchayushchikh otlozheniyakh nizhnego paleozoya. Metodicheskoe rukovodstvo [Field diagnostics of tectonic faults and fluid fractures in kimberlite-hosting deposits of the Lower Paleozoic. Methodical guidance], Mirnyi, 2019, 76 p.
7. Ignatov P. A., Bushkov K. Yu., Shtein Ya. I., Tolstov A. V., Yanygin Yu. T. Geologicheskie i mineralogogekhimicheskie priznaki struktur, kontroliruyushchikhalmazonosnye kimberlity Nakynskogo polya Yakutii [Geological and mineralogical-geochemical signs of structures controlling diamondiferous kimberlites of the Nakyn field of Yakutia], *Rudy i metally* [Ores and Metals], 2006, No 4, pp. 59–67. (In Russ.).
8. Ignatov P. A., Shmonov A. M., Novikov K. V., Kryazhev S. G., Koval'chuk O. E., Razumov A. N. Sravnitel'nyi analiz rudovmeshchayushchikh struktur Maiskogo, Markhinskogo i Ozernogo kimberlitovykh tel Nakynskogo polya Yakutii [Comparative analysis of ore-bearing structures of the Maisky, Markhinsky and Ozernoye kimberlite bodies of the Nakyn field in Yakutia], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii* [Geology of Ore Deposits], 2015, V. 57, No 2, pp. 125–131. (In Russ.).
9. Kirmasov A. B. Osnovy strukturnogo analiza [Fundamentals of Structural Analysis], Moscow, Nauchnyi mir Publ., 2011, 368 p.
10. Korsakov A. K., Mezhelovskaya S. V., Pogrebs N. A., Mezhelovskii A. D., Zhuravlev A. N., Lapteva A. M., Naravas A. K., Sokolov S. A., Nikitina M. I., Pavlina N. V., Ryzhova A. A., Filatova L. K., Chernova A. D. Osnovnye formy zaleganiya gornyykh porod [The main forms of bedding of rocks], Moscow, GEOKART Publ., GEOS Publ., 2017, 280 p.
11. Kostrovitskii S. I., Spetsius Z. V., Yakovlev D. A., Fonder-Flaas G. S., Suvorova L. F., Bogush I. N. Atlas korennykh mestorozhdeniialmazov Yakutskoi kimberlitovoi provintsii [Atlas of primary diamond deposits of the Yakutsk kimberlite province], Mirnyi, MGT Publ., 2015, 480 p.
12. Mal'tsev M. V., Tolstov A. V., Fomin V. M., Starkova T. S. Novoe kimberlitovoe pole v Yakutii i tipomorfnye osobennosti ego mineralov-indikatorov [New kimberlite field in Yakutia and typomorphic features of its indicator minerals], *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya* [Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology], 2016, No 3, pp. 86–94. (In Russ.).
13. Mal'tsev M. V., Tolstov A. V., Berezhnev I. I. Usloviyalokalizatsii i kriterii poiskov kimberlitov (na primere Ygyattinskogoalmazonosnogo raiona, Zapadnaya Yakutiya) [Localization conditions and criteria for prospecting for kimberlites (on the example of the Ygyattinsky diamondiferous region, Western Yakutia)], *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka* [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration], 2018, No 6, pp. 41–49. (In Russ.).
14. Nekrasov E. M., Dorozhkina L. A., Dudkin N. V. Osobennosti geologii i struktury krupneishikh zolotorudnykh mestorozhdenii endogenno klassa [Features of the geology and structure of the largest gold deposits of the endogenous class], Moscow, Astreya-tsentr Publ., 2015, 191 p.
15. Paleoseismologiya v 2 tomakh [Paleoseismology in 2 volumes], Moscow, Nauchnyi mir Publ., 2011.
16. Seminskii K. Zh., Gladkov A. S., Lunina O. V., Tugarina M. A. Vnutrennyaya struktura kontinental'nykh



- razlomnykh zon. Prikladnoi aspect [Internal structure of continental fault zones. Applied aspect], Novosibirsk, SO RAN, filial "GEO" Publ., 2005, 244 p.
17. Simonenko V. I., Tolstov A. V., Vasil'eva V. I. Novyi podkhod k geokhimicheskim poiskam kimberlitov na zakrytykh territoriyakh [A new approach to geochemical prospecting for kimberlites in closed areas], *Razvedka i okhrana nedr [Prospect and protection of mineral resources]*, 2008, No 4–5, pp. 108–112. (In Russ.).
18. Khar'kiv A. D., Zinchuk N. N., Kryuchkov A. I. Korennye mestorozhdeniya almazov mira [Primary diamond deposits of the world], Moscow, Nedra Publ., 1998, 555 p.
19. Al-Doukhi, Hanadi Abulateef. Precambrian evolution of the Salalah crystalline basement from structural analysis and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology, *Doctoral Dissertations*, 2014, available at: https://scholar.mine.mst.edu/doctoral_dissertations/2238, (Accessed: 05.08.2021).
20. Corbett G. J. Epithermal Au-Ag and porphyry Cu-Au exploration – short course manual: unpublished, 2017.
21. Cowan E. J. Deposit-scale structural architecture of the Sigma-Lamaque gold deposit, Canada – insights from a newly proposed 3D method for assessing structural controls from drill hole data, *Mineralium Deposita*, 2020, No 55, pp. 217–240, available at: <https://doi.org/10.1007/s00126-019-00949-6> (Accessed: 04.08.2021).
22. Giambiagi L., Ghigliione V., Cristallini E., Bottes G. Kinematic models of basement/cover interaction: Insights from the Malargue fold and thrust belt, Mendoza, Argentina, *Journal of Structural Geology*, 2009, No 31, pp. 1443–1457.
23. Mukherjee Soumyajit. Review on symmetric structures in ductile shear zones, *International Journal of Earth Sciences*, 2017, No 106, pp. 1453–1468.
24. Mc. Farlane H. B. The geodynamic and tectonic evolution of the Palaeoproterozoic Sefwi Greenstone Belt, West African Craton, *School of Earth, Atmosphere and Environment (Monash University, Australia; Géosciences Environnement, Toulouse, Université Paul Sabatier (Toulouse III), France)*, 2017, 297 p.
25. Portella P., Anncsley I. R. Paleoproterozoic thermotectonic evolution of the eastern sub-Athabasca basement, northern Saskatchewan: Integrated geophysical and geological data: in Summary of Investigations 2000. Volume 2, Saskatchewan Geological Survey, *Miscellaneous Report*, 2000-4.2
26. Wenbin Ji, Wei Lin, Michel Faure, Yang Chu, Lin Wu, Fei Wang, Jun Wang, Qingchen Wang. Origin and tectonic significance of the Huangling massif within the Yangtze craton, South China, *Journal of Asian Earth Sciences*, 2014, V. 86, pp. 59–75, available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1367912013003210> (Accessed: 05.08.2021).

Авторы

Игнатов Пётр Алексеевич

доктор геол.-минерал. наук, профессор, зав. кафедрой¹
геологии месторождений полезных ископаемых
petrignatov@gmail.com

Зарипов Наиль Ринатович

кандидат геолого-минералогических наук, геолог²
nail750@mail.ru

Новиков Константин Валерьевич

кандидат геолого-минералогических наук, главный геофизик³
geofizik@gmail.com

Толстов Александр Васильевич

доктор геолого-минералогических наук, директор⁴
TolstovAV@alrosa.ru

¹ МГРИ, Москва

² ООО «ГеоСолюшинс», Москва

³ ФГУП «Гидроспецгеология», Москва

⁴ НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), Мирный

Authors

Ignatov Petr Alekseevich

PhD, Professor
Head of mineral deposit geology department
petrignatov@gmail.com

Zaripov Nail Rinatovich

PhD, geologist
nail750@mail.ru

Novikov Konstantin Valer'evich

PhD, chief geophysicist
geofizik@gmail.com

Tolstov Alexander Vasil'evich

PhD, Director
TolstovAV@alrosa.ru

¹ MGRI, Moscow, Russia

² LLC GeoSolutions, Moscow, Russia

³ FSUE Hydrospecgeology, Moscow, Russia

⁴ JSC ALROSA (PJSC), Mirny, Russia