

## Тектоника юго-восточного фланга Иньяли-Дебинского синклинория (Верхояно-Колымская складчатая область)

Д.А. Васильев\*, Н.Н. Ермаков, А.В. Прокопьев\*\*

*Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск, Россия*

*\*juorankhay@mail.ru*

*\*\*prokopiev@diamond.ysn.ru*

**Аннотация.** Приведены результаты исследований, проведенных на юго-восточном фланге Иньяли-Дебинского синклинория, расположенном в центральной части Верхояно-Колымской складчатой области. Главной тектонической структурой здесь является Момонтайская синклиналь, сложенная среднеюрскими терригенными отложениями. Синклиналь перекрыта несогласно залегающими вулканогенными и вулканогенно-осадочными породами позднеюрского возраста Уяндино-Ясачненской вулканической дуги. Впервые для этого района обнаружено и описано резкое угловое несогласие между интенсивно деформированными породами средней юры и верхнеюрскими вулканитами. Установлены два этапа деформаций. Сложная напряженная складчатость среднеюрских терригенных отложений имеет северо-западное простирание, тогда как наложенные простые крупные открытые складки, в которые смяты вулканогенно-осадочные толщи верхней юры, ориентированы в субширотном направлении. Деформации первого этапа представлены сжатыми асимметричными концентрическими, цилиндрическими, реже коническими, складками. Описаны крупные, вплоть до изоклинальных, опрокинутые на юго-запад складки первого этапа. Используя замеры элементов залегания плоскостей разломов и ориентировок штрихов на зеркалах скольжения, были рассчитаны оси сжатия и растяжения. Рассчитанные оси сжатия для тектонических структур северо-восточного крыла Момонтайской синклинали ориентированы почти ортогонально к простиранию складчатости первого этапа деформаций. Таким образом, установлено, что структурный парагенезис, представленный межслоевыми срывами, надвигами, сбросами и сдвигами, был образован в едином поле напряжений со складчатостью первого этапа деформаций. Накопление изученных среднеюрских отложений происходило в прибрежных шельфовых обстановках осадконакопления, изменяющихся временами на дельтовые. В конгломератах и песчаниках присутствуют крупные слабо окатанные валуны кварцитов и известняков, а также гальки аргиллитов и вулканических пород, что указывает на близкие источники сноса кластики. В конце средней юры или в начале поздней юры в этой части Иньяли-Дебинского синклинория произошла интенсивная складчатость северо-западного простирания. Накопление позднеюрских вулканогенных пород Уяндино-Ясачненской дуги и внедрение субвулканических образований происходило уже на/в деформированные отложения средней юры. Складчатость второго этапа произошла в постпозднеюрское время.

**Ключевые слова:** тектоника, Иньяли-Дебинский синклинорий, Момонтайская синклиналь, складки, разломы, оси палеонапряжений, угловое несогласие, деформации.

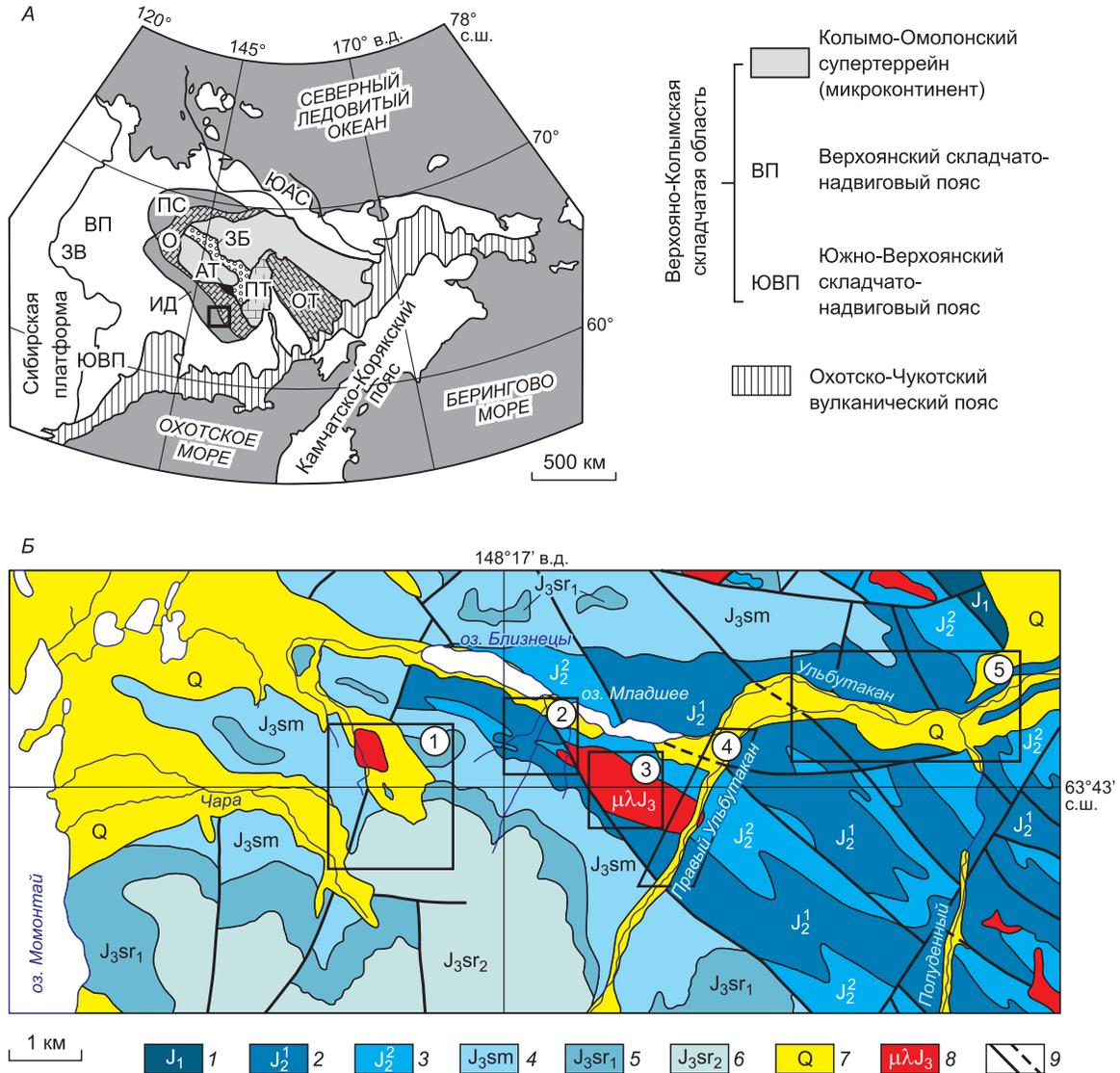
**Благодарности.** Исследование выполнено по плану НИР ИГАБМ СО РАН и при поддержке гранта РФФИ № 19-05-00945.

### Введение

Район исследований расположен в зоне сочленения Иньяли-Дебинского синклинория и Омуповского террейна (Колымо-Омолонский супертеррейн Верхояно-Колымской складчатой области) [1]. Работы проводились в междуречье рек Момонтай и Урультун. Основной тектонической

структурой территории является Момонтайская синклиналь, сложенная среднеюрскими терригенными отложениями, перекрытыми верхнеюрскими вулканогенными и вулканогенно-осадочными толщами Уяндино-Ясачненской магматической дуги [2] (рис. 1). Ширина синклинали около 30 км, а протяженность превышает 80 км.

ТЕКТОНИКА ЮГО-ВОСТОЧНОГО ФЛАНГА ИНЬЯЛИ-ДЕБИНСКОГО СИНКЛИНОРИЯ



**Рис. 1.** Упрощенная тектоническая схема северо-востока Азии (прямоугольником показан район исследований) (А) и геологическая карта северо-восточного крыла Момонтайской синклинали (Б).

Колымо-Омолонский микроконтинент: ПТ – Приколымский террейн, ОТ – Омолонский террейн, О – Омuleвский террейн, АТ – Арга-Тасский террейн, ЗБ – Зырянский бассейн; Верхоянский складчато-надвиговый пояс: ПС – Полоусный синклинорий, ИД – Иньяли-Дебинский синклинорий, ЗВ – Западно-Верхоянский сектор Верхоянского пояса; ЮАС – Южно-Ануйская сутура.

Отложения: 1 – верхней толщи нижней юры, 2 – нижней толщи средней юры, 3 – средней толщи средней юры, 4 – сумунской свиты, оксфордского и киммериджского ярусов верхней юры, 5 – нижней подсвиты серганынской свиты, волжского яруса верхней юры, 6 – верхней подсвиты серганынской свиты, волжского яруса верхней юры, 7 – четвертичные; 8 – позднелюрские субвулканические риолиты, 9 – разломы установленные и предполагаемые. Цифры в кружках – участки детальных исследований.

**Fig. 1.** Tectonic sketch map of NE Asia showing studied location (black rectangular) (A) and geological map of NE limb of the Momontai syncline (B).

Kolyma – Omolon microcontinent: ПТ – Prikolyma terrane, ОТ – Omolon terrane, О – Omulevka terrane, АТ – Arga-Tas terrane, ЗБ – Zyryanka basin; Verkhoyansk fold-and-thrust belt: ПС – Polousnyi synclinorium, ИД – In'yali-Debin synclinorium, ЗВ – West Verkhoyansk; ЮАС – South Anyui suture.

Deposits of: 1 – upper sequence of the Lower Jurassic, 2 – lower sequence of the Middle Jurassic, 3 – middle sequence of the Middle Jurassic, 4 – Sumun Fm., Oxfordian and Kimmeridgian stages of the Upper Jurassic, 5 – lower member of the Serganiya Fm., Volgian stage of the Upper Jurassic, 6 – upper member of the Serganiya Fm., Volgian stage of the Upper Jurassic, 7 – Quaternary; 8 – Late Jurassic subvolcanic rhyolites; 9 – faults, defined and assumed. Circled numbers – areas of detailed study.

На северо-восточном крыле синклинали известны Au- и Au–Ag-рудопроявления. Рудовмещающими являются субвулканические и вулканогенные образования верхней юры. Оруденение приурочено к системе разломов северо-восточного простирания. Задачей проведенных исследований являлось уточнение литологических и седиментологических особенностей средне- и верхнеюрских терригенных, вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород, а также установление характера и последовательности формирования тектонических структур.

### Методы исследования

В процессе экспедиционных исследований производились детальные описания деформационных структур (складок, разломов, кливажа, трещиноватости горных пород и пр.), сопровождавшиеся массовыми замерами ориентировок слоистости, кливажа, плоскостей разломов, трещин, штрихов на зеркалах скольжения [3, 4]. В дальнейшем изучение тектонических структур проводилось методами структурной геологии [5–9] на стереографических сетках и при помощи компьютерных программ (StereoNett, QuickPlot, FaultKinWin). Тектонофизические исследования и расчет осей палеонапряжений были выполнены по методикам [10, 11]. Стратиграфические, литологические и седиментологические наблюдения проводились непосредственно на обнажениях.

### Стратиграфия, литология, седиментология

Среднеюрские отложения в пределах изученного района представлены двумя подразделениями – нижней ( $J_2^1$ ) и средней ( $J_2^2$ ) толщами [2].

*Нижняя толща ( $J_2^1$ )*. Переслаивание алевролитов, кремнистых аргиллитов, песчаников, гравелитов, конгломератов и конгломератобрекчий. В песчаниках и алевролитах наблюдаются структуры нагрузки на подошвах слоев, следы взмучивания, разномасштабная косая слоистость. В конгломератах встречаются линзы кремнистых аргиллитов, обломки древесины и органического детрита. Плохо окатанные обломки размером до 10 см представлены в основном вмещающими породами. В пластах песчаников иногда присутствуют крупные блоки карбонатных пород размером до 0,4–1 м. Наблюдаются подводные каналы – следы древних потоков, прорезающих подстилающие отложения. Развиты структуры «hummocky cross-stratification» (рис. 2, А).

*Средняя толща ( $J_2^2$ )*. Представлена переслаиванием алевролитов, песчаников и кремнистых (?) сланцев (рис. 2, Б). Породы косослоистые, наблюдаются структуры нагрузки, иногда темпеститы и органический детрит.

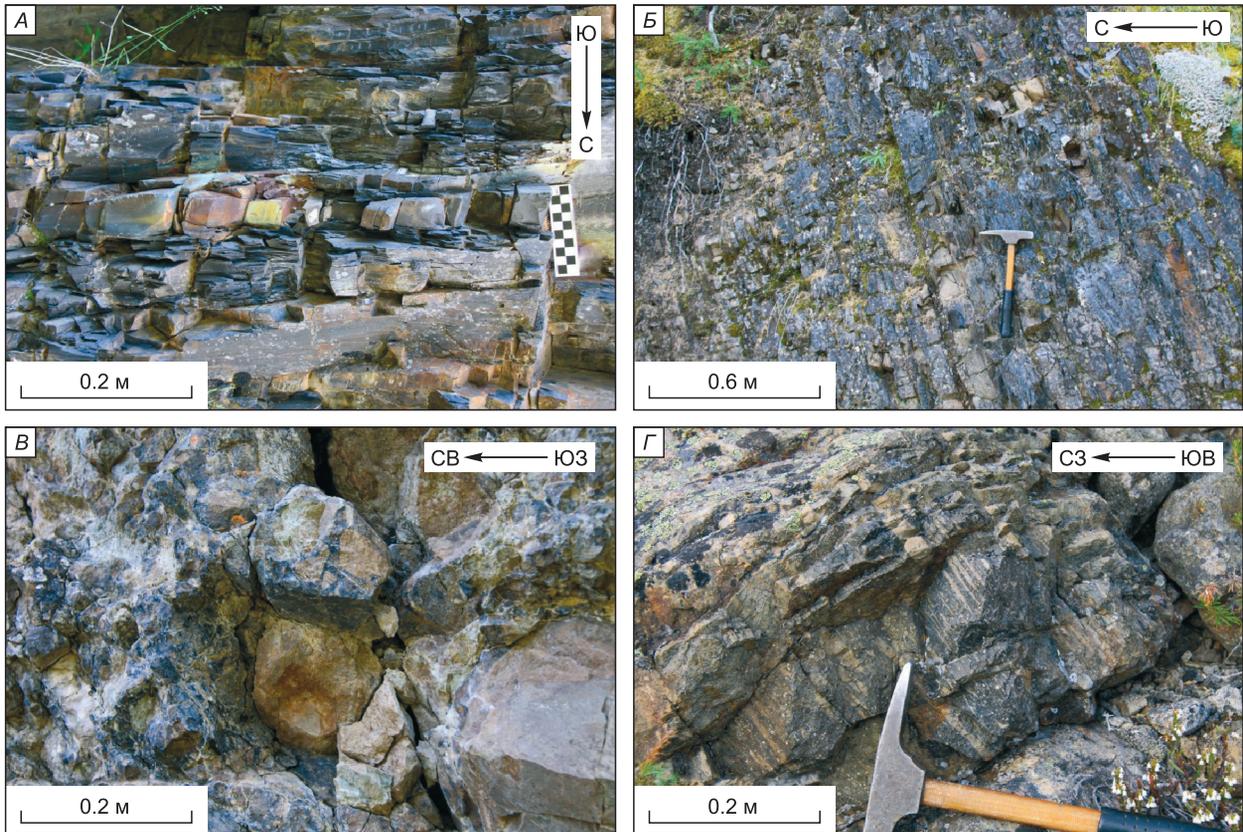
Верхнеюрские отложения подразделяются на две свиты – сумунскую ( $J_3sm$ ) и серганьинскую ( $J_3sr$ ) [2].

*Сумунская свита ( $J_3sm$ )* с резким угловым и, вероятно, стратиграфическим несогласием перекрывает ориентированные субвертикально терригенные отложения средней юры (рис. 3). Необходимо отметить, что настолько хорошее обнажение несогласия в основании верхнеюрских вулканитов уникально для этого региона. В основании свиты развиты конгломератобрекчии мощностью до 2 м, сменяющиеся по латерали конгломератами и гравелитами, сложенными плохо окатанными обломками (рис. 2, В). В составе обломочной части присутствуют подстилающие терригенные отложения и вулканиты. Матрикс этих образований имеет, скорее всего, вулканогенную (пирокластическую) природу. Вполне вероятно, что эти породы могут представлять собой лахары, возникшие во время начальных излияний на склонах палеовулкана. В целом свита сложена риолитами, риодацитами, риолитовыми порфирами, реже кислыми туфами, лавобрекчиями кислого состава. Кроме того, в разрезе присутствуют туфобрекчии, прослои туфопесчаников и, вероятно, андезитов.

*Серганьинская свита ( $J_3sr$ )* представлена в пределах изученного района дацитами, дацитовыми порфирами, туфами кислого состава, реже туфолавами, конгломератобрекчиями, туфопесчаниками, туфоаргиллитами. Туфы имеют полосчатую текстуру (рис. 2, Г). Для верхней части разреза свиты характерна столбчатая отдельность, образующая шестигранные и пятигранные призм толщиной до 0,5 м. Общая мощность изученных верхнеюрских толщ превышает 1200 м.

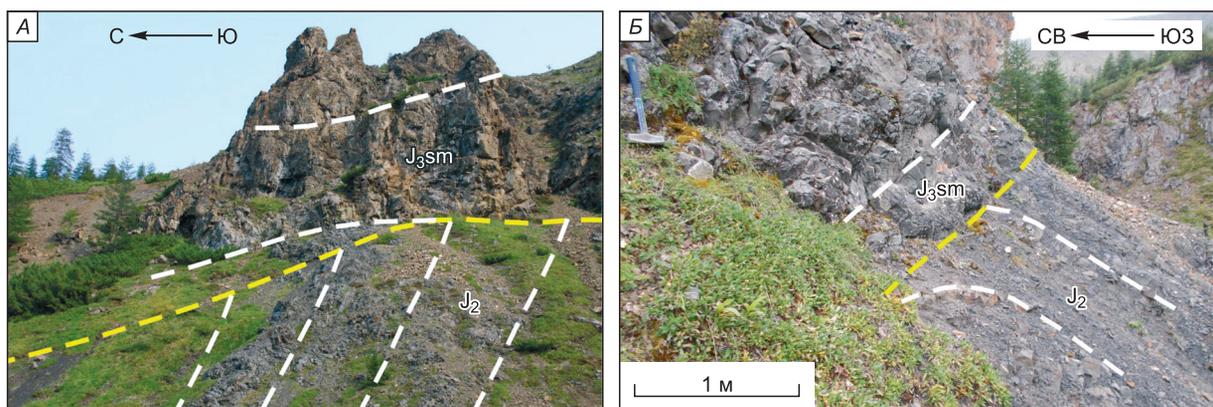
### Складчатые структуры

Мелкомасштабная складчатость на изученном северо-восточном крыле Момонтайской синклинали широко проявлена в среднеюрских отложениях. Породы смяты в сжатые асимметричные концентрические, цилиндрические и, реже, конические складки [3–7]. Складки разного размера шириной от первых метров до десятков и сотен метров. Часто встречаются крупные опрокину-



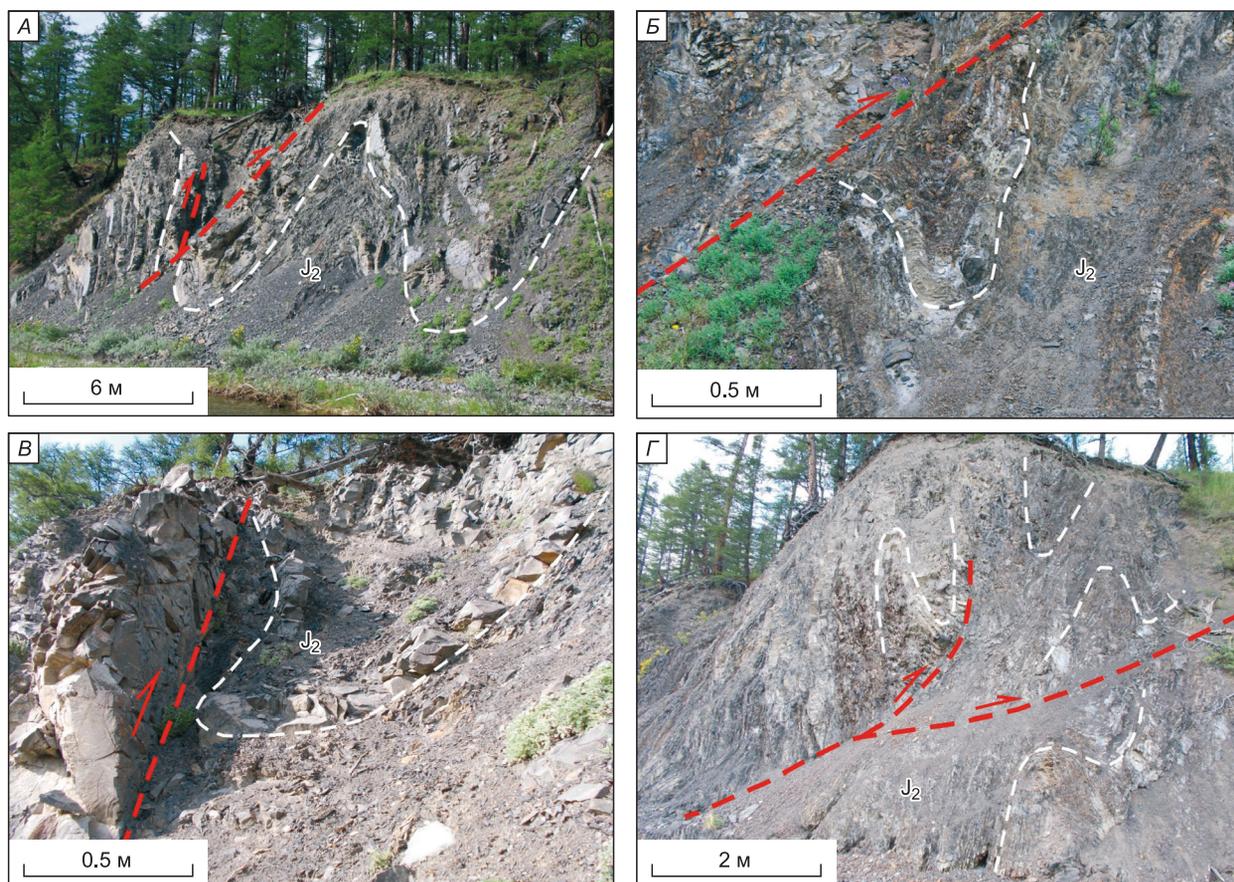
**Рис. 2.** Структуры «hummocky cross-stratification» в нижней толще средней юры (А); тонкое переслаивание песчаников, алевролитов и аргиллитов в терригенных породах средней толщи средней юры (Б); вулканическая брекчия в основании сумунской свиты верхней юры (Б); туфы кислого состава в нижней части серганьинской свиты верхней юры (Г).

**Fig. 2.** Hummocky cross-stratification (A) in lower part of Middle Jurassic; interbedded siltstone, sandstone, and cherty mudstone in clastic rocks of middle part of Middle Jurassic (B); volcanic breccias at the base of Sumun Fm. of Upper Jurassic (B); felsic tuffs in the lower part of the Serganiya Fm. (Г).



**Рис. 3.** Угловое несогласие между залегающими субвертикально терригенными среднеюрскими и полого залегающими вулканогенными верхнеюрскими породами. Штриховые линии: белая – слоистость, желтая – несогласие.

**Fig. 3.** Angular unconformity between subvertical Middle Jurassic clastic rocks and gently dipping Upper Jurassic volcanic rocks. Dashed lines: white – bedding, yellow – unconformity contact.



**Рис. 4.** Фотографии взаимоотношений складок и надвигов, наблюдаемых в среднеюрских породах на северо-восточном крыле Момонтайской синклинали. Штриховые линии: белая – слоистость, красная – разлом.

**Fig. 4.** Selected photo showing folds and thrusts observed in the Middle Jurassic rocks on NE limb of the Momontai syncline. Dashed lines: white – bedding, red – fault.

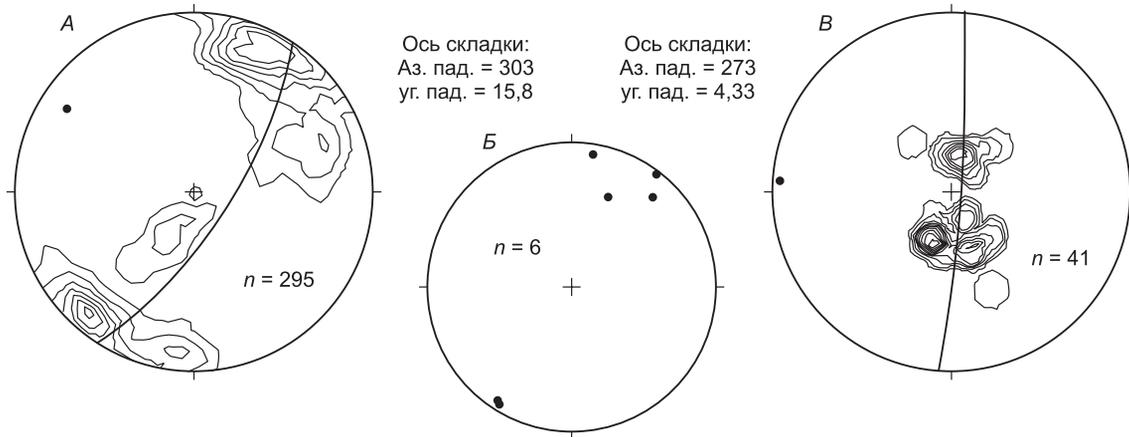
тые на юго-запад складки, вплоть до изоклиналирных, что устанавливается по большой протяженности обнажений, в которых породы имеют опрокинутое залегание (рис. 4). Шарниры складок ориентированы как субгоризонтально, так и относительно круто (до 20–25°). Складчатость пород средней юры имеет северо-западное простирание, как и, в целом, основные структуры орогенного пояса (рис. 5, А). Кливаж встречается крайне редко и ориентирован конформно складчатости (рис. 5, Б). Кливаж непроникающий и отмечается только в прослоях алевролитов и аргиллитов; массивные прослои песчаников им не затронуты. Интенсивность складчатости увеличивается в восточном направлении. Ее вергентность преимущественно юго-западная.

Среднеюрские толщи прорваны субвулканическими телами риолитов и дацитов позднеюрского возраста (рис. 6).

Интенсивно деформированные породы средней юры перекрываются с описанным выше резким угловым несогласием полого залегающими верхнеюрскими вулканитами (см.рис. 3). Породы верхней юры, в свою очередь, деформированы в открытые складки шириной в несколько километров. Одна из таких антиклиналей шириной в несколько километров расположена в междуречье Ульбутакан–Прав. Ульбутакан–рч. Чара (рис. 7). Углы падения крыльев около 30°. Антиклиналь симметричная, цилиндрическая. Рассчитанная ось антиклинали субгоризонтальна ( $\angle 4^\circ$ ) и имеет субширотное (аз. пад. 273°) простирание (рис. 5, В).

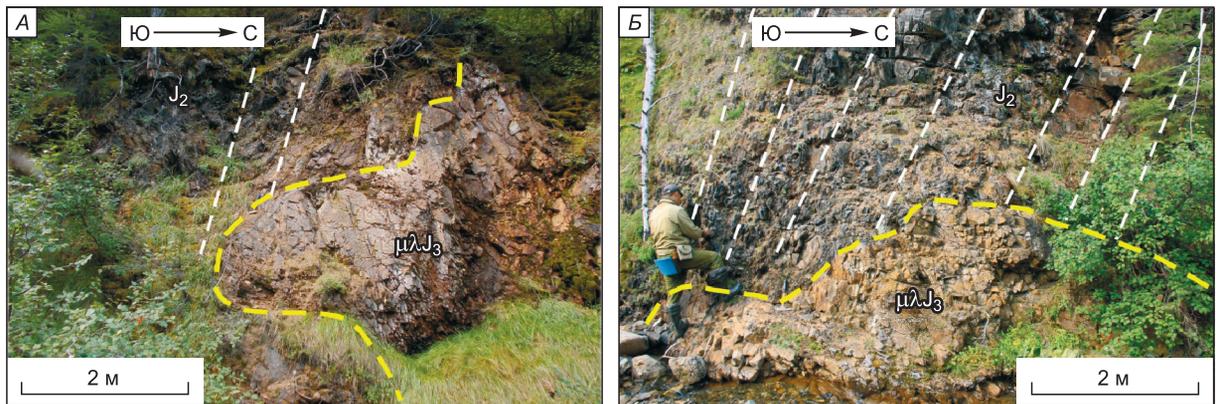
Складчатость вулканитов ориентирована дискордантно по отношению к складкам средней юры. Таким образом, разделенные угловым несогласием породы средней и верхней юры деформированы по-разному, что свидетельствует

ТЕКТОНИКА ЮГО-ВОСТОЧНОГО ФЛАНГА ИНЬЯЛИ-ДЕБИНСКОГО СИНКЛИНОРИЯ



**Рис. 5.** Стереограммы полюсов слоистости (А) и кливажа (Б) в среднеюрских терригенных породах и слоистости в верхнеюрских вулканогенных и вулканогенно-осадочных породах (В). Равноугольная проекция, нижняя полусфера; *n* – количество замеров.

**Fig. 5.** Diagram of pole to bedding of Middle Jurassic clastic rocks (А), to cleavage (Б) and to bedding of Upper Jurassic volcanic and volcanoclastic rocks (В). Equal-angle projection, lower hemisphere; *n* – number of measurements.



**Рис. 6.** Контакт позднеюрского субвулканического тела риолитов с субвертикально залегающим осадочными породами средней юры. Штриховые линии: белая – слоистость, желтая – контакт.

**Fig. 6.** Contact of a late Jurassic subvolcanic rhyolite body with subvertical sedimentary rocks of the Middle Jurassic. Dashed lines: white – bedding, yellow – contact.

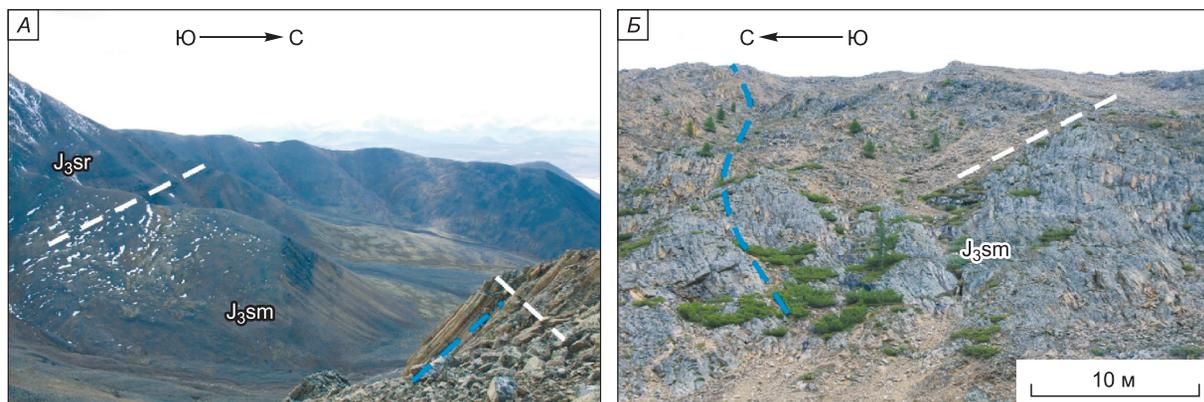
о, по крайней мере, двух этапах деформаций, проявленных в этом районе.

**Разломы**

Из разломов, проявленных в среднеюрских отложениях, наиболее распространены надвиги и межпластовые срывы, простирание которых преимущественно северо-западное (рис. 8) [8, 9]. Однако, несмотря на общую юго-западную вергентность складчатости среднеюрских толщ, надвиги имеют как северо-восточное, так и юго-западное падения (рис. 9, А). Наблюдаемые амплитуды перемещения по ним оцениваются от

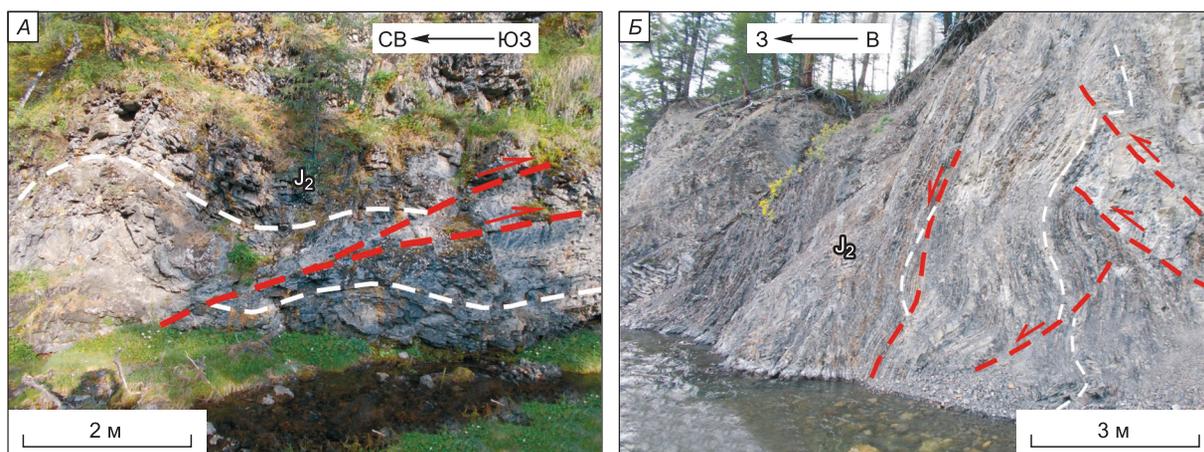
нескольких десятков сантиметров до первых десятков метров.

Отмечены левосторонние и правосторонние сдвиги зачастую с надвиговой и сбросовой составляющей. Простирание сдвигов меняется в широких пределах. Преобладают правосторонние сдвиги север-северо-восточного, реже восток-северо-восточного и север-северо-западного простирания (рис. 9, Б). Левосторонние сдвиги имеют в основном северо-восточное и, реже, северо-западное простирание (рис. 9, В). Ориентировка сдвигов позволяет предполагать, что они могут являться трансферными по отношению к



**Рис. 7.** Антиклиналь, в которую смяты верхнеюрские вулканогенные породы (А), столбчатая отдельность в вулканогенных породах серганийской свиты верхней юры (Б). Штриховые линии: белая – слоистость, синяя – столбчатая отдельность.

**Fig. 7.** Upper Jurassic volcanic rocks deformed into antnicline (А), columnar joints in volcanic rocks of the Upper Jurassic Serganiya Fm. (Б). Dashed lines: white – bedding, blue – columnar joints



**Рис. 8.** Фотографии, иллюстрирующие взаимоотношения складок и надвигов, наблюдаемых в среднеюрских породах на северо-восточном крыле Момонтайской синклинали. Штриховые линии: белая – слоистость, красная – разломы.

**Fig. 8.** Selected photo showing folds and thrusts observed in the Middle Jurassic rocks on NE limb of the Momontai syncline. Dashed lines: white – bedding, red – fault.

надвиговым структурам. Амплитуду смещения по сдвигам оценить сложно.

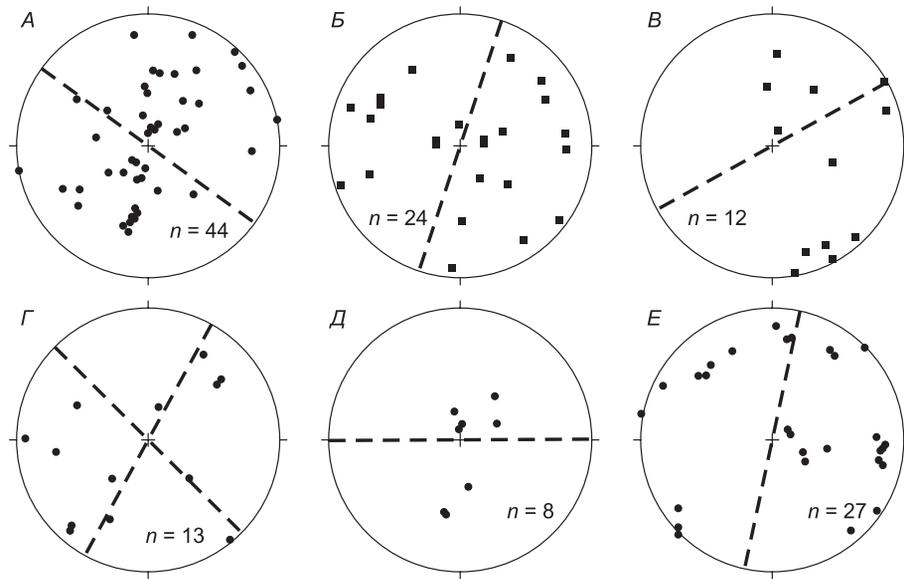
Реже проявлены сбросы. Они имеют в основном север-северо-восточное и северо-западное простирание (рис. 9, Г). Наблюдаемые смещения по сбросам небольшие, до первых десятков сантиметров.

Разломы в вулканогенных породах верхней юры крайне редки. Они представлены в основном надвигами (рис. 10), реже сдвигами и сбросами. Простирание надвигов в основном субширотное (рис. 9, Д).

Тектоническая трещиноватость наиболее проявлена в вулканогенных породах верхней юры. Ее простирание меняется в очень широких пределах. Преобладающим направлением является север-северо-восточное (рис. 9, Е).

### Оси палеонапряжений

С использованием замеров элементов залегания плоскостей разломов и ориентировок штрихов на их зеркалах скольжения были рассчитаны оси сжатия и растяжения по методике [10]. Всего использовалось 23 замера надвигов, 30 сдви-

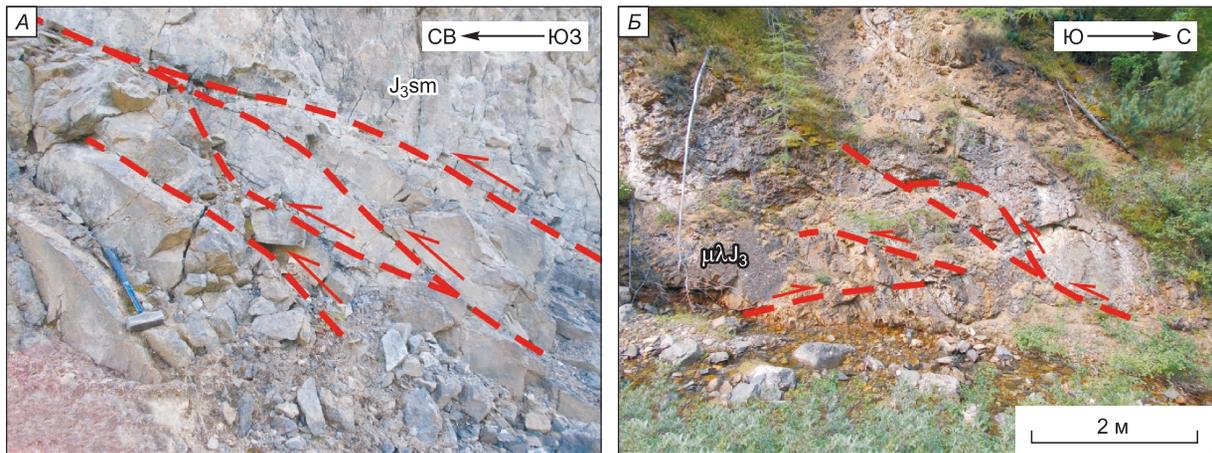


**Рис. 9.** Стереограммы полюсов разрывных нарушений.

*A* – надвиги, *Б* – правые сдвиги, *В* – левые сдвиги, *Г* – сбросы, *Д* – надвиги в вулканогенных верхнеюрских толщах, *Е* – тектоническая трещиноватость в вулканогенных толщах. Штриховой черной линией показано преобладающее простирание разломов (равноугольная проекция, нижняя полусфера; *n* – количество замеров).

**Fig. 9.** Pole to faults diagrams.

*A* – thrust, *Б* – dextral strike-slip fault, *В* – sinistral strike-slip fault, *Г* – normal fault, *Д* – thrusts in Upper Jurassic volcanogenic rocks, *Е* – tectonic jointing in volcanogenic rocks. Black dashed line shows dominant trend of faulting (equal-angle projection, lower hemisphere; *n* – number of measurements)



**Рис. 10.** Фотографии надвигов, наблюдаемых в верхнеюрских вулканогенно-осадочных (*A*) и субвулканических (*Б*) породах.

Красная штриховая линия – разломы.

**Fig. 10.** Selected photos showing thrusts observed in the Upper Jurassic volcanoclastic (*A*) and subvolcanic (*Б*) rocks. Dashed red line – faults.

гов и 5 сбросов [11]. Результаты показаны в таблице. Участки наблюдений показаны на рис. 1.

Установлено, что оси сжатия на всех участках, в целом, близко ориентированы, имеют пологий наклон ( $\angle 7-22^\circ$ ) и северо-восточное (аз.  $45-63^\circ$ )

простирание. Несколько отличается ориентировка оси сжатия, рассчитанной для участка 4. Здесь она наклонена ( $\angle 12^\circ$ ) на север-северо-восток (аз.  $20^\circ$ ). Оси растяжения, рассчитанные для всех участков, наклонены круто ( $\angle 55-77^\circ$ ) (рис. 11).

**Рассчитанная ориентировка осей палеонапряжений  
на северо-восточном крыле Момонтайской синклинали**

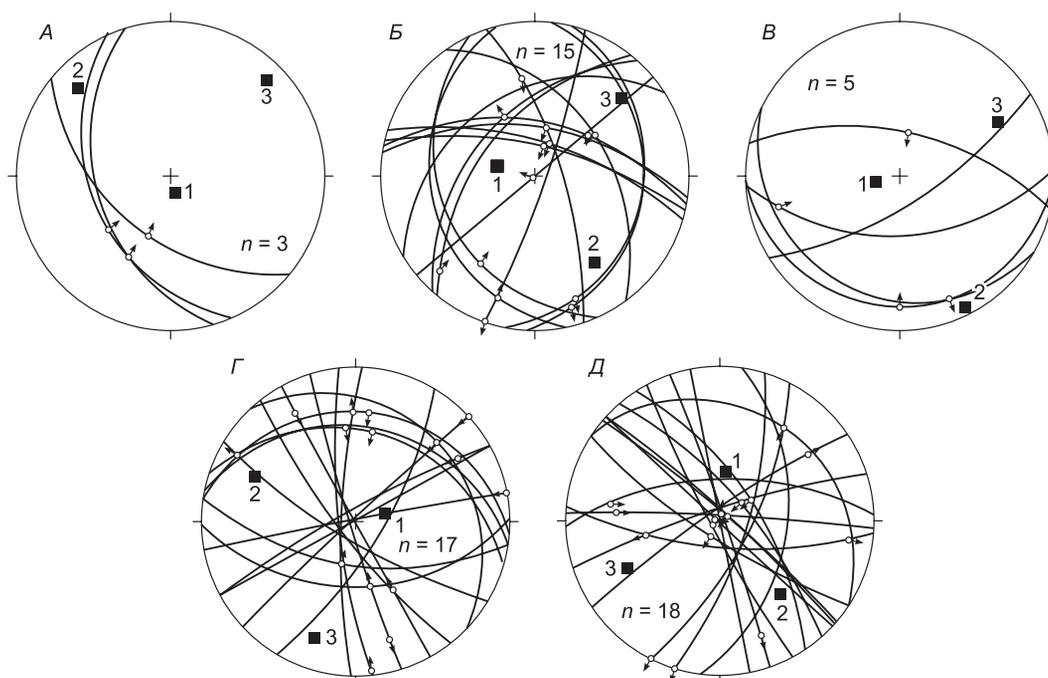
**Estimated orientation of stress field axes on NE limb of the Momontai syncline**

Участки наблюдений Areas	Кол-во замеров <i>n</i>	Оси палеонапряжений Stress field axes					
		растяжения (1) tension (1)		промежуточная (2) intermediate (2)		сжатия (3) compression (3)	
		Ориентировка Orientation					
		Азимут Azimuth	∠ Angle	Азимут Azimuth	∠ Angle	Азимут Azimuth	∠ Angle
1	3	167,5	77,0	313,4	10,9	44,8	7,1
2	15	284,6	61,8	145,1	22,2	48,1	16,5
3	5	252,8	71,7	153,3	3,1	62,3	18,0
4	17	79,0	67,4	293,7	18,9	199,6	12,0
5	18	7,1	54,7	141,3	26,3	242,7	21,8

Таким образом, рассчитанные оси сжатия для тектонических структур северо-восточного крыла Момонтайской синклинали ориентированы почти ортогонально к простиранию складчатости первого этапа деформаций.

**Заключение**

Впервые для этого района обнаружено резкое угловое несогласие между интенсивно деформированными породами средней юры и верхнеюрскими вулканитами.



**Рис. 11.** Стереограммы с вычисленными осями палеонапряжений.

Точки наблюдений: А – 1, Б – 2, В – 3, Г – 4, Д – 5. Стрелка показывает направление движения висячего крыла разлома (равноугольная проекция, нижняя полусфера; *n* – количество замеров).

**Fig. 11.** Faults & striae data diagrams.

Areas: А – 1, Б – 2, В – 3, Г – 4, Д – 5. Arrow shows sense of motion of the hanging wall of fault (equal-angle projection, lower hemisphere; *n* – number of measurements).

Установлены два этапа деформаций. Сложная напряженная складчатость среднеюрских терригенных отложений имеет северо-западное простирание, тогда как наложенные простые крупные открытые складки, в которые смяты вулканогенно-осадочные толщи верхней юры, ориентированы в субширотном направлении.

Установлено, что структурный парагенезис, представленный межслоевыми срывами, надвигами, сбросами и сдвигами, был образован в едином поле напряжений со складчатостью первого этапа деформаций.

Определено, что накопление изученных среднеюрских отложений происходило в прибрежных шельфовых обстановках осадконакопления, изменяющихся временами на дельтовые. Наличие в конгломератах и песчаниках крупных слабо окатанных обломков кварцитов и карбонатных пород, а также галек аргиллитов и вулканитов указывает на близкие источники сноса кластики.

Таким образом, в конце средней юры или в начале поздней юры в регионе произошла интенсивная складчатость, приведшая к формированию современного структурного плана северо-западного простирания. Накопление позднеюрских вулканогенных пород и внедрение субвулканических образований происходило уже на/в деформированные отложения средней юры.

### Литература

1. *Прокопьев А.В., Дейкуненко А.В.* Деформационные структуры складчато-надвиговых поясов // Тек-

тоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / Под ред. Л.М. Парфенова, М.И. Кузьмина. М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. С. 156–198.

2. *Васькин А.Ф., Петухов В.В., Шпикерман В.И.* (ред). Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (Третье поколение). Лист Р-55. Сусуман. Объяснительная записка. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2016.

3. *Ажгирей Г.Д.* Структурная геология. М.: Изд-во МГУ, 1956. 493 с.

4. *Тевелев А.В.* Структурная геология и геологическое картирование. Курс лекций. Учебно-методическое пособие. Тверь: ГЕРС, 2011. 292 с.

5. *Родыгин А.И.* Азимутальные проекции в структурной геологии. Томск: Изд-во ТГУ. 1992. 136 с.

6. *Гайдук В.В., Прокопьев А.В.* Методы изучения складчато-надвиговых поясов. Новосибирск: Наука, 1999. 160 с.

7. *Родыгин А.И.* Методы стрейн-анализа. Учебное пособие. Издание второе, исправленное и дополненное. Томск: Изд-во ТГУ, 2006. 168 с.

8. *Прокопьев А.В., Фридовский В.Ю., Гайдук В.В.* Разломы (морфология, геометрия, кинематика). Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН, 2004. 148 с.

9. *Кирмасов А.Б.* Основы структурного анализа. М.: Научный мир, 2011. 368 с.

10. *Marrett R., Allmendinger R.* Kinematic analysis of fault-slip data // *Journal of Structural Geology*. 1990. Vol. 12. P. 973–986.

11. *Гзовский М.В.* Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. С. 376–535.

*Поступила в редакцию 06.08.2020  
Принята к публикации 14.10.2020*

### Об авторах

ВАСИЛЬЕВ Дмитрий Анатольевич, научный сотрудник, Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 39, Россия, <http://orcid.org/0000-0003-1201-3805>, [juorankhay@mail.ru](mailto:juorankhay@mail.ru);

ЕРМАКОВ Николай Николаевич, младший научный сотрудник, Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 39, Россия, [allforforest@mail.ru](mailto:allforforest@mail.ru);

ПРОКОПЬЕВ Андрей Владимирович, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, заведующий лабораторией, Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, 677980, Якутск, пр. Ленина, 39, Россия <http://orcid.org/0000-0003-0985-9535>, [prokopiev@diamond.ysn.ru](mailto:prokopiev@diamond.ysn.ru).

### Информация для цитирования

*Васильев Д.А., Ермаков Н.Н., Прокопьев А.В.* Тектоника юго-восточного фланга Иньяли-Дебинского синклинория (Верхояно-Колымская складчатая область) // *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2020, Т. 25, № 4. С. 30–41. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-4-2>

## Tectonic structures of the southeastern flank of the In'yali-Debin synclinorium (the Verkhoyansk-Kolyma orogenic region)

D.A. Vasiliev\*, N.N. Ermakov, A.V. Prokopiev\*\*

*Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, Yakutsk, Russia*

\*juorankhay@mail.ru

\*\*prokopiev@diamond.ysn.ru

**Abstract.** The paper reports the results of research conducted in the southeastern flank of the In'yali-Debin synclinorium located in the central part of the Verkhoyansk-Kolyma folded area. The main tectonic structure here is the Momontai syncline composed of Middle Jurassic clastic rocks. The syncline is unconformably overlain by the Late Jurassic volcanic and volcanoclastic rocks of the Uyandina-Yasachnaya volcanic arc. A sharp angular unconformity between the intensely deformed Middle Jurassic rocks and Upper Jurassic volcanics is described for the first time in this region. Two deformation stages are recognized. The compressive complex folding of Middle Jurassic clastic rocks has a NW strike, while the superposed large simple open folds of Upper Jurassic volcanoclastic strata are WE-oriented. The first-stage deformation is represented by tight asymmetric, concentric, cylindrical, rarely conical folds. Large, sometimes isoclinal folds overturned to SW are described. Compression and tension axes were calculated using the measurements of the orientation of fault planes and striae on the slickensides. The compression axes determined for tectonic structures of the NE limb of the Momontai syncline are almost normal to the strike of folds of the first deformation stage. Thus, it is established that the structural paragenesis including bedding-plane detachment faults, thrusts, normal faults, and strike slips was formed in the single stress field together with the development of folds of the first deformation stage. Accumulation of the studied Middle Jurassic rocks occurred in near-shore shelfal environments of sedimentation, sometimes changing to deltaic ones. The conglomerates and sandstones contain large, poorly rounded boulders of quartzite and limestone, as well as pebbles of mudstone and volcanic rocks, which is indicative of the proximity of clastics provenances. In the late Middle Jurassic or the early Late Jurassic, this part of the In'yali-Debin synclinorium underwent intense folding of NW strike. Accumulation of Late Jurassic volcanogenic rocks of the Uyandina-Yasachnaya arc and intrusion of subvolcanic rocks took place on/into the already deformed Middle Jurassic strata. Folding of the second deformation stage occurred in post-Late Jurassic time.

**Key words:** tectonics, In'yali-Debin synclinorium, Momontai syncline, folds, faults, paleostress axis, angular unconformity, deformation.

**Acknowledgements.** The study was completed in the framework of scientific research work at DPMGI SB RAS, and with support from RFBR (grant 19-05-00945).

### References

1. Prokopiev A.V., Deikunenko A.V. The deformation of fold-and-thrust belts Deformatsionnye struktury skladchato-nadvigovykh poyasov // Tectonica, geodynamica i metallogeniya territorii Respubliki Sakha (Yakutia) / Pod red. L.M. Parfenova, M.I. Kuzmina. Moscow: MAIK «Nauka/Interperiodica», 2001. P. 156–198.
2. Vas'kin A.F., Petukhov V.V., Shpikerman V.I. (Ed.). Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1:1 000 000 (Tret'e pokolenie). List P-55. Susuman. Ob'yasnitel'naya zapiska. SPb: VSEGEI Press, 2016.
3. Azhgirey G.D. Structurnaya geologiya. Izd-vo MGU, 1956. 493 p.
4. Tevelev A.V. Structurnaya geologiya i geologicheskoe kartirovanie. Kurs lektsiy. Uchebno-metodicheskoe posobie. Tver: GERS, 2011. 292 p.
5. Rodygin A.I. Azimutal'nye proektsii v structurnoy geologii. Tomsk: Izd-vo TGU, 1992. 136 p.
6. Gaiduk V.V., Prokopiev A.V. Metody izucheniya skladchato-nadvigovykh poyasov. Novosibirsk: Nauka, 1999. 160 p.
7. Rodygin A.I. Metody streyn-analiza. Uchebnoe posobie. Izdanie vtroe, ispravlennoe i dopolnennoe. Tomsk: TGU. 2006. 168 p.

## ТЕКТОНИКА ЮГО-ВОСТОЧНОГО ФЛАНГА ИНЬЯЛИ-ДЕБИНСКОГО СИНКЛИНОРИЯ

8. Prokopiev A.V., Fridovskiy V.Yu., Gayduk V.V. Razlomy (morfologiya, geometriya, kinematika). Yakutsk: YaF Izd-va SO RAN, 2004. 148 p.

9. Kirmasov A.B. Osnovy strukturnogo analiza. Moscow: Nauchnyi mir, 2011. 368 p.

10. Marrett R., Allmendinger R. Kinematic analysis of fault-slip data // Journal of Structural Geology. 1990. Vol. 12. P. 973–986.

11. Gzovskiy M.V. Osnovy tektonofiziki. Moscow: Nauka, 1975. P. 376-535.

### *About the authors*

VASILIEV Dmitry Anatolyevich, researcher, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia, <http://orcid.org/0000-0003-1201-3805>, [juorankhay@mail.ru](mailto:juorankhay@mail.ru);

ERMAKOV Nikolay Nikolaevich, junior researcher, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia, [allforforest@mail.ru](mailto:allforforest@mail.ru);

PROKOPIEV Andrey Vladimirovich, candidate of geological and mineralogical sciences, Associate Professor, Head of Laboratory, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39 Lenina pr., Yakutsk 677980, Russia, <http://orcid.org/0000-0003-0985-9535>, [prokopiev@diamond.ysn.ru](mailto:prokopiev@diamond.ysn.ru).

### *Citation*

Vasiliev D.A., Ermakov N.N., Prokopiev A.V. Tectonic structures of the southeastern flank of the In'yali-Debin synclinorium (the Verkhoyansk-Kolyma orogenic region) // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2020, Vol. 25, No. 4. pp. 30–41. (In Russ.) <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-4-2>