

**СТРУКТУРНЫЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОРЕННОЙ
БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ХЕРПУЧИ-ВАЮНСКОГО РУДНО-
РОССЫПНОГО РАЙОНА (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)**

М.Э. Николайчук, С.А. Касаткин

*Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия;
e-mail: kasatkin99@mail.ru*

Поступила в редакцию 10 июня 2024 г.

Структурно-геодинамическими исследованиями установлено, что складчатые и разрывные нарушения Херпучи-Ваюнского золотоносного рудно-россыпного района образуют структурный парагенезис, формировавшийся под действием локального субширотного сжатия, сгенерированного динамическим взаимодействием Лимурчанского и Вьюнского меридиональных разломов, левосторонняя активизация которых обеспечивалась северо-западным региональным сжатием. Анализ элементов разрывной тектоники на перспективных участках с коренным благороднометалльным оруденением показывает, что эта минерализация проявлена главным образом в разрывах растяжения субширотного направления, субпараллельных локальному сжатию. Эти разрывы представлены кулисообразными прожилками и организованы в эшелонированные структуры, которые контролируются сопряжённой системой северо-восточных правых и северо-западных левых сдвигов.

Ключевые слова: золото, эшелонированные структуры, сдвиги, структурные парагенезисы, Нижнее Приамурье.

ВВЕДЕНИЕ

Нижнее Приамурье известно своей золотоносностью с конца 19 века. Здесь же находится и Херпучи-Ваюнский рудно-россыпной район с множеством россыпей и россышепроявлений, при отработке которых коренные источники золотого оруденения оставались без внимания. По мере истощения россыпных месторождений этот вопрос становился всё более актуальным. К началу 2014 года большая часть россыпей района частично или полностью была отработана, а числящиеся на балансе остатки запасов золота составили около 14 777 т [23]. Однако еще в 1980-е годы В.А. Кайдаловым [11] был указан перспективный коренной источник золотого оруденения в Чульбатском позднемеловом гранитоидном массиве нижнеамурского комплекса. В 2013–2016 гг. там было проведено доизучение и разведка месторождения Чульбаткан за счет средств частных инвесторов (ООО «Третья ГГК», входящая в группу «N-Mining»). В итоге к настоящему времени месторождение Чульбаткан является одним из первых обнаруженных коренных месторождений золота в этом районе и на данный момент принадлежит золотодобывающей компании

ПАО «Полус», продолжающей геолого-разведочные работы [17]. По их данным, ожидаемые запасы золота на месторождении, согласно последней оценке по JORC (The Australasian Code for Reporting of Results, Mineral Resources and Ore Reserves), составляют 56 497 тыс. тонн руды с 2 млн унций золота [17]. С целью прироста запасов на прилегающей площади месторождения Чульбаткан компаниями группы «N-Mining» проводились площадные литогеохимические и геофизические работы (магнитометрическая съёмка), по результатам которых были выделены перспективные участки источников благороднометалльного оруденения вблизи гранитоидных массивов Орёл и Почельский (рис. 1).

В ходе геолого-разведочных работ на месторождении Чульбаткан проведено детальное изучение минерального состава оруденения и вмещающих пород, выделены минеральные ассоциации [2], определена морфология и основные закономерности распределения минерализованных зон [1]. Однако, как отмечают авторы этих исследований [1], тектонические и структурные особенности рудолокализации требуют дополнительного изучения.

(слоистость) и разрывной (трещиноватость, зеркала скольжения, зоны расщепления, дробления и кварц-сульфидные прожилки и т.п.) тектоники. Эти данные обрабатывались с использованием методики В.П. Уткина [21] – в статистическом выражении – при помощи специализированной программы StereoNett 2.46, и выносились на стереографическую проекцию Ю.В. Вульфа (верхняя полусфера), где отображались в виде изолиний плотности полюсов слоистости и разрывов. Для крутонаклонных разрывов и минерализованных прожилков построены розы-диаграммы их простираний. По доминирующему положению элементов структурных парагенезисов определялись направления сжатия, исходя из известных закономерностей наиболее распространенных типов деформаций с применением методов динамического анализа [6, 8 и др.] и метода морфогенетических аналогий структур разных иерархических уровней [21, 22].

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНА

Херпучи-Ваюнский рудно-россышной район (далее ХВР) расположен на Северном Сихотэ-Алине, в пределах Журавлёвско-Амурского террейна (рис. 1, врезка). С запада и востока район ограничен Лимурчанским и Вьюнским глубинными разломами близ меридионального простирания, соответственно. Его южная граница трассируется по Бичинскому разлому (Бичи-Амурский разлом, по [9]), а северная – контролируется Дальжинским разломом [23] северо-восточного простирания (севернее р. Амгунь).

Лимурчанский разлом (ЛР) (он же Имский, по [11]) простирается в субмеридиональном направлении на 250 км и считается северным продолжением Центрально-Сихотэ-Алинского разлома [23]. На северном фланге ЛР разделяет Ульбанский террейн Монголо-Охотской складчатой системы и Журавлёвско-Амурский террейн Сихотэ-Алинского орогенного пояса (рис. 1, врезка). По кинематике ЛР считается левосторонним сдвигом с амплитудой горизонтального перемещения до 60 км [4].

Вьюнский разлом (ВР) (он же Приозерный, по [24]) трассируется в меридиональном направлении. На всем протяжении зона разлома перекрыта рыхлыми отложениями значительной мощности и в коренном залегании не наблюдается. Однако по космоснимкам зона этого разлома шириной 3–5 км [12] уверенно дешифрируется на протяжении 190 км [23]. В рамках комплексной геолого-геофизической модели глубинного строения земной коры ВР идентифицируется как левосторонний сдвиг с амплитудой смещения до 30 километров [14].

Согласно Ю.П. Юшманову [24], Лимурчанский и Вьюнский разломы в сочетании рассматриваются

как транспрессивный сдвиговый дуплекс, суммарная амплитуда левостороннего смещения по которому оценивается примерно в 200 км.

Осадочные породы исследуемого района представлены юрскими и раннемеловыми терригенными образованиями общей мощностью около 6000 м [23]. К юрским отложениям относится лимурчанская толща, которая протягивается узкой полосой с восточной стороны Лимурчанского разлома. Она сложена алевролитами и аргиллитами с подчиненным количеством кремнисто-глинистых и кремнистых пород с примесью вулканитов основного состава, составляющих в общем объёме толщи не более 5–7 %. Основную площадь ХВР занимают раннемеловые отложения, которые разделены на горинскую, пионерскую и пиванскую свиты (рис. 1) достаточно однообразного состава. Большая часть сложена песчаниками и алевролитами, пачками их ритмичного переслаивания, реже гравелитами, осадочными брекчиями, конгломератами.

Толщи терригенных образований сильно дислоцированы в тесно сжатые складки преимущественно субмеридионального простирания с крутонаклонными углами падения, иногда до опрокинутых залеганий. Они рассечены и смещены многочисленными разрывными нарушениями и дайками, развиты зоны дробления и расщепления.

В исследуемом районе широко распространены интрузивные образования позднемелового нижнеамурского (диориты, гранодиориты, плагиограниты) и палеогенового верхнеудоминского (гранодиориты, граниты) комплексов. Среди позднемеловых выделяются такие крупные массивы, как Чульбатский, Серго-Михайловский, Почельский, Гранитный и Орловский (рис. 1), относящиеся к нижнеамурскому комплексу, с которым связана благородно- и редкометалльная минерализация [10]. Установлено, что коренными источниками россышной золотоносности ХВР являются рудопроявления золото-кварцевой и золото-сульфидно-кварцевой формаций [23].

В результате площадных геолого-геофизических исследований были выявлены аномальные проявления золотоносности вблизи Орловского и Почельского массивов, которые имеют схожие геологические условия с Чульбатским массивом, где в настоящее время находится месторождение Чульбаткан. Согласно В.А. Кайдалову [11], основная часть Чульбатского массива сложена плагиогранитами, а Орловского – гранодиоритами и гранодиорит-порфирами. В гравитационном поле среди всех крупных массивов района наиболее чётко выделяется Чульбатский массив по локальному понижению до -4–-6 на фоне общих положительных значений. Конфигурация гравитаци-

онной аномалии и площадь ее распространения показывает, что Чульбатский массив на юге объединяется с Орловским [11].

Почельский массив сложен равномернозернистыми биотит-роговообманковыми гранодиоритами, реже биотитовыми плагиогранитами. В краевых частях массива, преимущественно в западной, породы приобретают порфирировидный облик, а их состав постепенно изменяется до кварцевых диоритов [23]. По геофизическим данным предполагается, что Чульбатский и Почельский, а также другие массивы, объединяются на глубине в единое тело [23 и ссылка в ней].

По результатам литогеохимической съемки вблизи Орловского и Почельского массивов были выделены аномалии золота, где для заверки наиболее перспективных аномалий компаниями группы «N-Mining» на участках Орёл и Ильинский (рис. 1) пройдены каналы с целью вскрытия и опробования коренных источников благороднометалльной минерализации. Полевое изучение разведочных горных выработок, где первый автор статьи принимал непосредственное участие в составе подрядной компании ООО «ГЕПАРТ», сопровождалось фотодокументацией полотна канав, массовыми замерами ориентировок слоистости, элементов разрывной тектоники и минерализованных прожилков.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Пликативные дислокации

Предварительный анализ элементов залегания слоистости и простираний литологических контактов нижнемеловых и юрских осадочных образований, изображённых на геологических картах 1:200 000 и 1:1 000 000 масштабов, показал отличительную особенность складчатости Херпучи-Ваюнского района. По сравнению с характерной для Сихотэ-Алиня в целом складчатостью северо-восточного простирания, сформированной под действием СЗ сжатия с углами падения крыльев складок около 30–60° [16, 21, 23 и др.], здесь, как было сказано выше, преобладают крутонаклонные, а иногда и опрокинутые залегания слоёв преимущественно субмеридионального простирания [11].

Более точную геометрию складчатости показывают замеры ориентировок слоистости, сведённые на диаграмму (рис. 2, а). Они группируются в максимумы, которые отчётливо отражают крылья складок субмеридионального (340–20°) простирания с углами падения 60–80° в восточном и преобладающим падением в западном направлении. Учитывая доминанту крутонаклонных (60–80°) углов падения слоистости, можно сказать о высокой степени тектонических дис-

локаций данного района. Кроме того, встречаются флексурные изгибы слоёв с отклонением на северо-запад (рис. 1). На диаграмме они образуют отдельные максимумы, объединяющиеся в пояс с погружением оси в СЗ (320°) направлении под углом 10° (рис. 2, а). Главные максимумы субмеридиональной складчатости объединяются в пояса с пологим (угол 5°) погружением осей в южном и северном направлении, указывая на генетическую связь крыльев складок, динамические условия формирования которых соответствует действию субширотного сжатия (рис. 2, а).

Детальный анализ геологических карт показал, что распространение крутонаклонных замеров слоистости субмеридионального простирания контролируется Лимурчанским разломом на западе и Вьюнским – на востоке. Принимая во внимание левосдвиговую природу этих граничных разломов, функционировавших под действием регионального СЗ сжатия [24], субширотное сжатие, обусловившее формирование субмеридиональной складчатости, является результатом их динамического взаимодействия. То есть, вектор СЗ сжатия (σ_1) по отношению к Лимурчанскому и Вьюнскому разломам можно разложить на составляющие, где тангенциальная (t) – реализуется как левостороннее смещение вдоль разломов, а нормальная (n) – действует локально в пределах их динамического взаимодействия, формируя систему складок субмеридионального простирания (рис. 2, б).

Таким образом, Лимурчанский и Вьюнский разломы в условиях левосдвиговых дислокаций образуют сдвиговую зону Херпучи-Ваюнского района, где область распространения складчатости субмеридионального простирания соответствует максимальному динамическому взаимодействию этих разломов.

Динамо-кинематическая характеристика месторождения Чульбаткан

Месторождение локализовано на юго-восточном эндоконтакте Чульбатского массива плагиогранитов (рис. 1). Оруденение представлено зонами гидротермально-метасоматического изменения (березитизация, окварцевание, карбонатизация и аргиллизация), которые находятся, главным образом, в пределах интрузии, и лишь мелкие тела локализованы в ороговикованных терригенных породах [1].

Согласно структурному рисунку, рудные тела контролируются сериями разломов СВ и СЗ простираний (рис. 3). На северо-восточном фланге месторождения развиты рудные тела СВ простирания, приуроченные к зоне Чульбатского разлома, который, согласно [1], служил главной рудоподводящей структурой.

Рудные тела центральной части месторождения вытянуты преимущественно в субширотном направ-

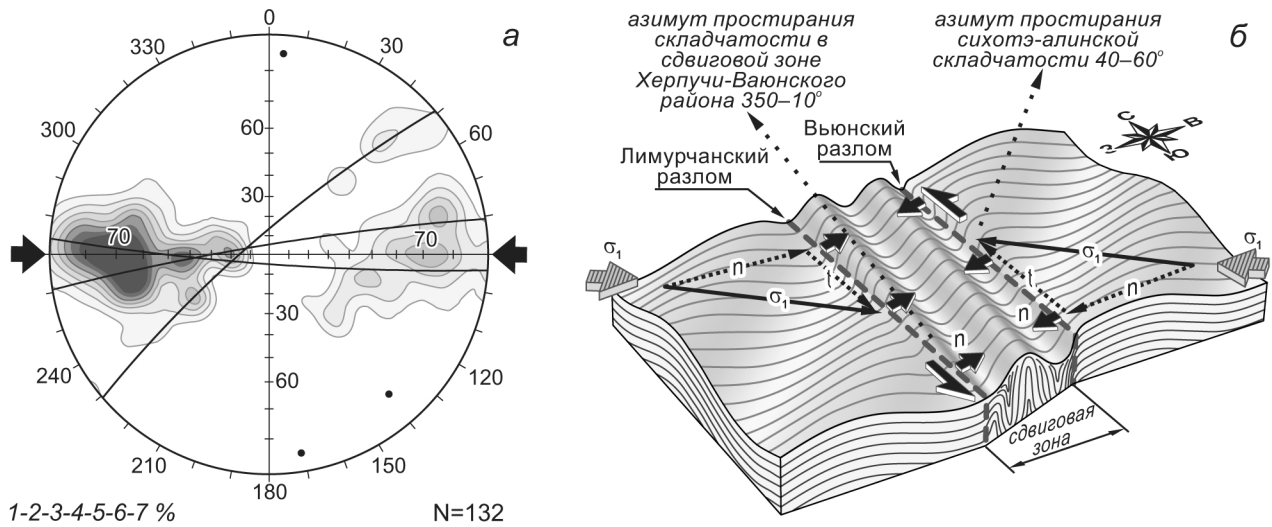


Рис. 2. Суммарная диаграмма слоистости Херпучи-Ваюнского района (а) и динамо-кинематическая модель формирования складчатости в пределах сдвиговой зоны, образованной динамопарой субпараллельных левых сдвигов, и за её пределами (б, по [13], адаптировано).

На диаграмме в проекции на верхнюю полусферу (сетка Вульфа) изображены: изолинии плотности полюсов слоистости в процентах; экваторы поясов (дуги больших кругов) и их оси (точки); чёрные стрелки – ориентировка сжатия; N – количество замеров. σ_1 – ориентировка регионального (северо-западного) сжатия и её составляющие: нормальная – n и тангенциальная (сдвиговая) – t; пунктир – границы сдвиговой зоны и направление смещения вдоль неё (стрелки). Объяснения в тексте.

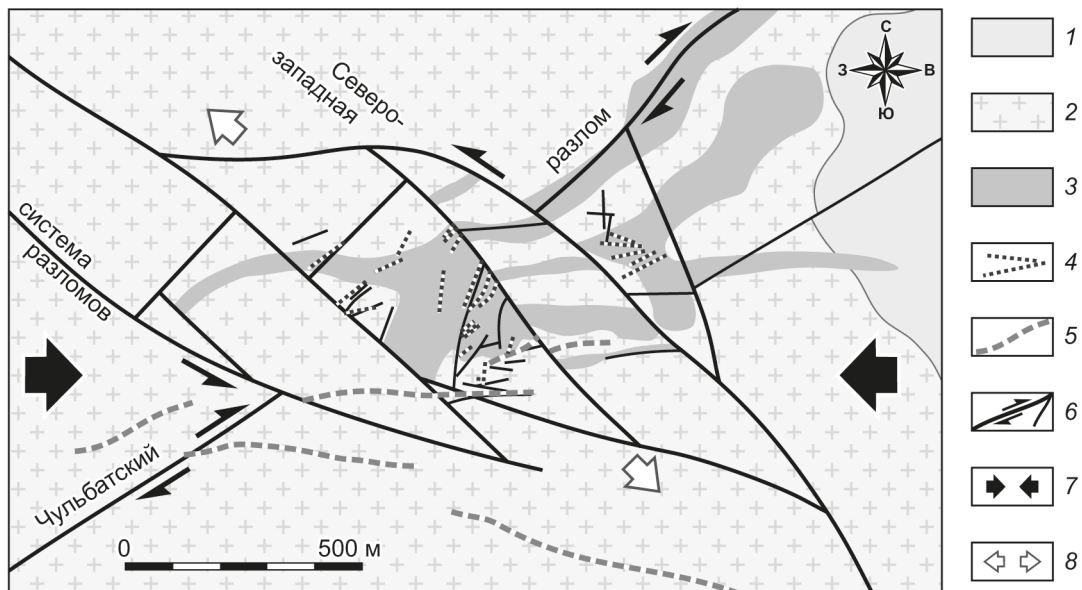


Рис. 3. Схематическая геологическая карта месторождения Чульбаткан (по [1], с изменениями и дополнениями).

1 – нижнемеловые терригенные отложения; 2 – плагиограниты второй фазы нижеамурского комплекса; 3 – рудные тела; 4 – дайки аплитов и пегматитов третьей фазы нижеамурского комплекса; 5 – дайки андезитов и дацитов; 6 – разломы и направления сдвиговых смещений по ним (стрелки); 7 – ориентировка сжатия; 8 – ориентировка сосдвигового растяжения.

лении и контролируются Северо-Западной системой разломов шириной около 500 м (рис. 3). Эта система разрывных нарушений рассекает и смещает зону Чульбатского разлома, что позволяет считать её более поздней (наложенной). При этом, граничные разло-

мы, закономерно изменяя ориентировку к широтному направлению, образуют структуру левоступенчатого смыкания. Учитывая субширотную ориентировку рудных тел, а также их эшелонированную морфологию, Северо-Западную систему разломов можно рас-

смагивать как левосдвиговый дуплекс растяжения, развивавшийся под действием субширотного сжатия (рис. 3). В этом случае развитие зоны Чульбатского разлома северо-восточного простирания происходило в условиях правосторонней составляющей сдвиговых смещений. Примечательно, что на пересечении (сопряжении) этих разрывных систем, в центральной части месторождения, закартировано рудное тело мощностью более 200 м, что свидетельствует о максимальной проницаемости для гидротермальных растворов. Здесь же проявлены серии разноориентированных маломощных даек аплитов и пегматитов третьей фазы нижеамурского комплекса, контролируемые разломами СЗ и СВ простирания. С другой стороны, субширотная ориентировка протяжённых (от 100 до 500 м) даек андезитов и дацитов, закартированных в южной части месторождения (рис. 3), предположительно палеоценового возраста [1], указывает на длительность периода реализации субширотного сжатия.

Таким образом, формирование рудных тел месторождения Чульбаткан обусловлено структурным контролем сопряжённой системы правых сдвигов северо-восточного (зона Чульбатского разлома) и левых – северо-западного (Северо-Западная система разломов) простираний, развивавшихся под действием субширотного сжатия, которое, в свою очередь, парагенетически согласуется с образованием субмеридиональной складчатости Херпучи-Ваюнской сдвиговой зоны.

Сравнительный анализ элементов разрывной тектоники участков Орёл и Ильинский

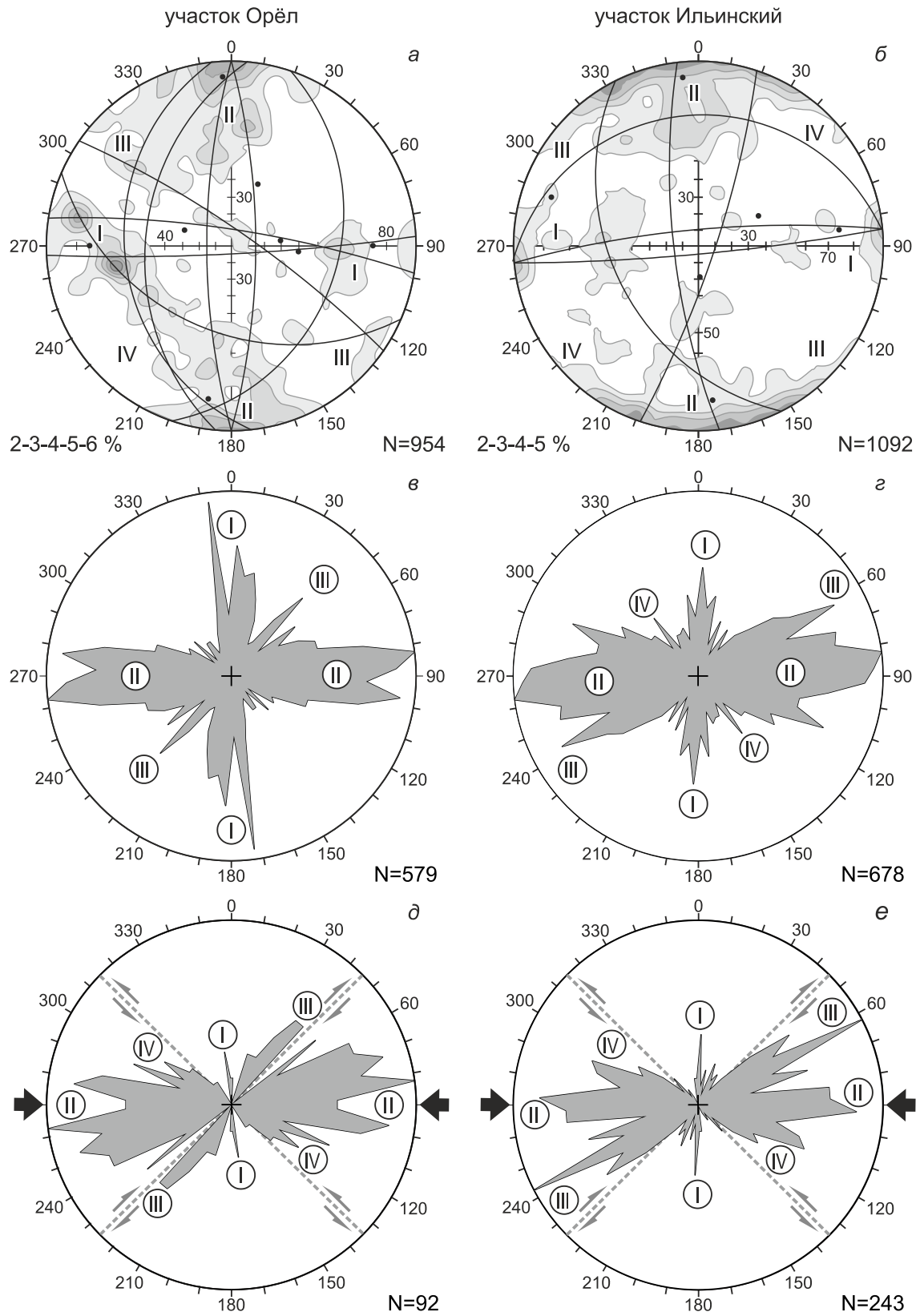
В результате проходки сотен метров канав для заверки литогеохимических аномалий на участках Орёл и Ильинский (рис. 1) вскрыты серии кварцевых и кварц-сульфидных прожилков, которые, как предполагается [23], являются источниками коренного благороднометалльного оруденения. На участке Орёл минерализованные прожилки пересекают нижнюю толщу пионерской свиты, которая характеризуется ритмичным переслаиванием песчаников и алевролитов. Здесь распространены дайки кварцевых диоритовых порфиритов, гранодиоритов, гранодиорит-порфиритов и диоритовых порфиритов. Вмещающие породы участка Ильинский относятся к верхней толще горинской, почти полностью представленной песчаниками с эпизодическими маломощными прослоями алевролитов, и нижней толще пионерской, охарактеризованной выше, свит. Эти толщи прорваны дайками кварцевых диоритов и гранодиоритов, относящихся к Почельскому массиву, а также дайками диоритов, кварцевых диоритовых порфиритов и лейкогранитов.

Сведение на диаграммы большого количества замеров элементов разрывной тектоники (далее – разрывов), зафиксированных в процессе документации разведочных канав, даёт весьма расплывчатый узор изолиний (рис. 4, а, б). Однако детальный анализ первичной документации в сопоставлении со структурным анализом геологических карт позволили выделить четыре генетически разнородных системы разрывов.

Разрывы I системы имеют субмеридиональное (345° – 15°) простирание с углами падения 50 – 90° на запад и восток. Ориентировка разрывов этой системы совпадает с главными максимумами слоистости, что позволяет считать их соскладчатыми. Подтверждением тому является объединение максимумов в пояса (включая пологопадающие разрывы) с пологим (углы 5 – 10°) погружением осей в северном и южном направлениях, как и на суммарной диаграмме слоистости (сравни рис. 2, а и рис. 4, а, б). Разрывные нарушения представлены, главным образом, близослойными сериями трещин, а также зонами дробления и расщепления. На участке Ильинский встречаются близослойные кварц-сульфидные прожилки, а на участке Орёл они практически отсутствуют. Следует отметить, что серия разрывов участка Орёл, концентрирующаяся в отчетливый максимум с крутонаклонным (углы 60 – 70°) падением на запад (рис. 4, а), вероятно, обусловлена динамическим влиянием Удинского взброса (рис. 1).

Субмеридиональная ориентировка разрывов I системы по отношению к установленному субширотному сжатию при формировании складчатости позволяет отнести их к структурам сжатия. Характерными представителями этой системы являются встречные взбросы – Удинский и Почельский, простирающиеся на расстоянии 15 – 20 км (рис. 1).

Разрывы II системы имеют доминирующее значение. Они охватывают большой диапазон субширотных простираний (235 – 305° – 55 – 125°) преимущественно с крутонаклонными (60 – 90°) углами падения (рис. 4, а, б). Разрывы этой системы, наряду с повышенной трещиноватостью, представлены многочисленными зонами дробления, расщепления, лимонитизации, тектоническими контактами с глиной трения и зеркалами скольжения. Здесь же широко распространены минерализованные, преимущественно, кварцевые и кварц-сульфидные прожилки от просечек до жил мощностью 10 см. Такой тип деструктивных форм среди разрывов II системы обусловлен ориентировкой, совпадающей с направлением субширотного сжатия, что позволяет интерпретировать их как структуры растяжения. Главные максимумы с



крутонаклонным (70–90°) падением в совокупности с более мелкими максимумами и вытянутым узором изолиний, выполаживающихся до 40–30°, объединяются в пояса с пологим (10–15°) погружением осей в восточном и западном направлениях (рис. 4, а, б), что показывает широкий диапазон углов падения, характерных при формировании структур растяжения. Примечательно, что при таком широком распространении разрывов II системы, они не образуют крупных разломов, за исключением протяжённого разрывного нарушения, ограничивающего с юга Почельский взброс и смещающего по типу сброса северную часть массива Гранитный (рис. 1).

Важно также подчеркнуть, что с простиранием разрывов II системы исследуемых участков совпадают вытянутые в широтном направлении рудные тела центральной части месторождения Чульбаткан (рис. 3), откуда можно сделать предварительный вывод о перспективности структур данной ориентировки для благороднометалльной минерализации.

Разрывы III системы на исследуемых участках статистически проявлены слабо, простираются в северо-восточном (30–60°) направлении с углами падения 40–90°. Представлены, главным образом, зонами дробления и расщепления, а также минерализованными прожилками, иногда разрывами с зеркалами скольжения и сериями мелких оперяющих трещин. В отдельный максимум с падением на северо-запад эти разрывы группируются лишь на участке Орёл (рис. 4, а), а на участке Ильинский они преимущественно крутонаклонные и на диаграмме (рис. 4, б) выражены вытянутостью изолиний от главного максимума II системы. Однако, несмотря на статистическую подчинённость, анализ геологической карты (рис. 1) показывает довольно широкое распространение разломов и даек позднемелового нижнеамурского комплекса, простирающихся в северо-восточном направлении. В частности, серии таких даек оперяют с юго-запада Почельский массив на участке Ильинский. Кроме того, эти структуры (разломы и дайки) рассекают и смещают по типу правого сдвига с амплитудой до 1 км систему разломов Почельского взброса (рис. 1). Заметим, что правостороннее смещение по системе разломов северо-восточного простирания

могло происходить под действием субширотного сжатия и парагенетически согласуется с динамическими условиями формирования субмеридиональной складчатости района.

Разрывы IV системы имеют подчинённое значение. Простираясь в северо-западном (300–320°) направлении с углами падения 50–60° на юго-запад на участке Орёл (рис. 4, а) и 80–90° на участке Ильинский (рис. 4, б), эти разрывы не образуют отчётливых максимумов. Они представлены трещинноватостью, зонами расщепления, иногда минерализованными прожилками и разрывными нарушениями с глиной трения. Отдельные разломы северо-западного простирания достигают нескольких десятков километров, рассекая и смещая по типу левостороннего сдвига со сбросовой составляющей гранитоидные массивы и толщи терригенных образований (рис. 1), что согласуется с действием субширотного сжатия.

Примерами разрывов IV системы являются дайки диоритов, приуроченные к разлому северо-западного простирания и пересекающие позднемеловые дайки нижнеамурского комплекса на юго-западе участка Ильинский (рис. 1), а также Северо-Западная система разломов месторождения Чульбаткан, пересекающая и смещающая Чульбатский разлом северо-восточного простирания (рис. 3).

Отсюда можно сделать вывод о более позднем (наложенном) этапе развития северо-западных разрывов IV системы, показывающем длительность действия субширотного сжатия – от формирования тесно сжатой субмеридиональной складчатости, сопровождавшейся встречными взбросами, внедрения гранитоидных массивов нижнеамурского комплекса с сериями даек северо-восточного простирания до расщепления этих структур северо-западными разрывными нарушениями и дайками диоритов раннепалеогенового возраста.

Учитывая доминирующее развитие крутонаклонных разрывов, как основного признака сдвиговой тектоники, для сопоставления главных линейных разрывов и основных направлений минерализованных прожилков для участков Орёл и Ильинский были построены соответствующие розы-диаграммы (рис. 4, в–е).

Рис. 4. Суммарные диаграммы разрывов (а, б), розы-диаграммы простираний крутонаклонных (углы падения 60–90°) разрывов (в, г) и минерализованных прожилков (д, е) на участках Орёл и Ильинский.

На диаграммах (а, б) в проекции на верхнюю полусферу (сетка Вульфа) изображены: изолинии плотности полюсов разрывов в процентах; экваторы поясов (дуги больших кругов) и их оси (точки). На розах-диаграммах (д, е) показана ориентировка сжатия (чёрные стрелки) и направление смещения (серые стрелки) вдоль идеализированных направлений сдвигов (пунктир). Римские цифры – системы разрывов; N – количество замеров. Объяснения в тексте.

Несмотря на общее сходство узоров роз-диаграмм, для основных (субширотных – II система и субмеридиональных – I система) направлений разрывов отмечаются следующие особенности. На участке Орёл преобладание разрывов I системы (по сравнению с участком Ильинским) объясняется структурой вмещающей толщи, а именно, унаследованием субмеридионального простириания тесно сжатых складок терригенной толщи пионерской свиты (рис. 4, в). В то же время на участке Ильинский преобладающее развитие субширотных (II система) разрывов с небольшим отклонением к северо-востоку и северо-западу (рис. 4, г) вероятно обусловлено относительной близостью к Вьюнскому разлому, бортовое влияние которого (вектор нормальной составляющей (n), см. рис. 2, б) способствовало формированию структур растяжения данного направления.

Сопряжённые северо-восточные (III система) правые и северо-западные (IV система) левые сдвиги на исследуемых участках имеют единичные проявления (рис. 4, в, г).

С целью оценки структурных условий локализации благороднометалльного оруденения из общего массива замеров по крутонаклонным разрывам на отдельные розы-диаграммы вынесены ориентировки минерализованных прожилков (рис. 4, д, е). Они весьма отчётливо демонстрируют доминанту субширотных простирианий, что в соответствии с установленным субширотным сжатием указывает на их генетический тип как структур растяжения, благоприятных для проницаемости гидротермальных растворов. Совершенно противоположный эффект имеют структуры сжатия (I система), в которых крайне редко встречается минерализация, а потому на розах-диаграммах (рис. 4, д, е) они образуют узкие, короткие лучи субмеридионального направления. Следует отметить, что отклонение субширотных минерализованных прожилков к северо-востоку (III система) или северо-западу (IV система) может обнаруживать их развитие с право- или левосторонней составляющими сдвиговых смещений, соответственно. Проявление минерализованных правосторонних сдвигов (III система) отмечается на участке Орёл, где они выражены в виде отдельного луча (рис. 4, д), а также на месторождении Чульбаткан, где рудные тела северо-восточного простириания приурочены к зоне Чульбатского разлома (рис. 3).

Таким образом, выборка минерализованных прожилков из всего спектра простирианий крутонаклонных разрывных нарушений на участках Орёл и Ильинский уверенно показала доминанту субширотных простирианий.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Несмотря на статистическое превосходство минерализованных прожилков субширотной ориентировки, установленное на основе массовых замеров их залегания, анализ геологических карт и полевой документации показал, что они не образуют «сквозных» рудных зон данного направления. Более того, протяжённые разрывные нарушения и дайки широтных простирианий в ХВР весьма немногочисленны (рис. 1). Это несоответствие находит своё объяснение при детальном рассмотрении морфологии минерализованных прожилков и установлении их структурного контроля. Данные первичной фотодокументации полотно канав показывают, что коренная минерализация зачастую представлена сериями кулисообразных кварцевых и кварц-сульфидных прожилков, которые имеют тенденцию к увеличению мощности при широтном простириании и закономерно выклинивается с отклонением к северо-восточному и северо-западному направлениям. Совокупность этих морфологических признаков и пространственной организации кулисообразных минерализованных прожилков позволяет интерпретировать их как эшелонированные структуры растяжения, являющиеся следствием сдвиговой тектоники.

Изучением эшелонированных структур в разное время занимались как отечественные [3, 5, 15, 21 и др.], так и зарубежные [28–30 и др.] исследователи. В Сихотэ-Алине эшелонированные разрывы открыты в 1968 г. при изучении структурно-тектонических особенностей оловорудных месторождений, где выявлены закономерности их пространственного положения [19] и охарактеризовано внутреннее строение и кинематика этих структур [20, 22]. В Нижнем Приамурье рудолокализирующие эшелонированные структуры изучались в Учаминском рудном узле Пильда-Лимурийской золотоносной зоны [25].

Основными параметрами эшелона являются его длина, которая измеряется вдоль оси между крайними кулисами, и ширина – вдоль нормали к оси эшелона между его границами, условно проводимыми через концы кулис. Острый угол, образованный между закономерной ориентировкой кулис относительно оси эшелона указывает на направление смещения блока относительно смежного с ним [21].

Именно такие формы кулисообразных минерализованных прожилков, организованные в эшелонированные структуры растяжения, вскрыты в полотно канав на участках Орёл и Ильинский. Отклонение концов кулис от широтного простириания к СВ и СЗ дает возможность установить тип смещения и ориентировку сжатия (рис. 5).

Отсюда обнаруживается парагенетическая связь субширотных минерализованных прожилков (II система), контролируемых сопряжённой системой СВ правых (III система) и СЗ левых (IV система) сдвигов под действием субширотного сжатия. Причём границы эшелонов, зачастую представленные потенциальными сдвигами, указывают на начальную (незрелую) стадию сдвиговых дислокаций [19, 29], что, в свою очередь, объясняет статистическую подчинённость сопряжённых разрывов III и IV систем (рис. 4).

Масштаб эшелонированных структур растяжения, вскрытых канавами, относится к малым формам сдвиговых дислокаций. Учитывая единство природы сдвигового геодинамического режима, изучение малых форм эшелонированных кулис даёт возможность выявить более крупные эшелонированные рудолокализирующие структуры, относящиеся к следующей ступени их иерархического ряда [22]. Использование этой закономерности необходимо при увязке задокументированных в канавах крупных фрагментов минерализованных зон, а также зон дробления и разрывов с признаками сдвиговой кинематики. Широкое развитие протяжённых разломов северо-восточного простирания (правых сдвигов) по периферии Орловского массива и морфология приуроченных к ним кулисообразных даек и мелких интрузивов нижеамурского комплекса (рис. 1) даёт перспективу для поиска более крупных эшелонированных структур, локализирующих рудные тела. Менее распространённая, судя по данным картирования, сопряжённая система разломов северо-западного простирания (левых сдвигов) также образует сдвиговые зоны как в виде отдельных эшелонированных структур (участок Ильинский, рис. 5), так и наложенных структур такого же типа (месторождение Чульбаткан, рис. 3).

Из вышесказанного следует, что для Херпучи-Ваюнского рудно-россыпного района наиболее благоприятными условиями проницаемости для гидротермальных растворов и локализации благороднометалльного оруденения являются эшелонированные кулисообразные разрывы, контролируемые сопряжённой системой северо-восточных правых и северо-западных левых сдвигов, развивавшихся под действием локального субширотного сжатия, которое было сгенерировано динамическим взаимодействием Лимурчанского и Вьюнского разломов (рис. 6, а). С позиции динамо-кинематического анализа следует отметить, что положение средней оси деформаций, соответствующее направлению максимального разуплотнения вмещающих пород, ориентировано вертикально именно при сдвиговом смещении по разломам и образованными ими сочетаниями деструктивных форм. К таковым, наряду с эшелонированными

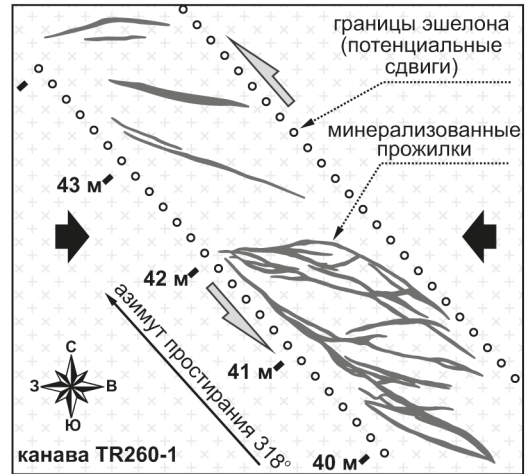


Рис. 5. Пример морфологии эшелонированных минерализованных прожилков, контролируемых сдвиговой зоной северо-западного простирания на участке Ильинский (зарисовка с фотографий полотна канавы TR260-1 на интервале 40–44 м).

Чёрные стрелки – ориентировка сжатия; серые стрелки – направление горизонтального смещения блоков.

структурами, относятся зоны сосдвигового растяжения, формирующиеся при несоосном левоступенчатом перекрытии (или смыкании) левых сдвигов и правоступенчатом – правых сдвигов. Ярким примером левоступенчатого смыкания является наложенная система северо-западных левых сдвигов месторождения Чульбаткан (рис. 3). Похожие условия рудолокализации могут формировать сопряженные или наложенные эшелонированные структуры, в местах пересечения которых следует ожидать увеличение мощности рудных тел.

Динамо-кинематический анализ элементов складчатой и разрывной тектоники в пределах Херпучи-Ваюнской сдвиговой зоны показал, что эти структуры сформированы в тесной парагенетической связи под действием субширотного сжатия (рис. 6, б). Поэтому, наряду с доминирующим развитием эшелонированных структур растяжения, нельзя исключать возможности проявления скрытого оруденения, связанного с формированием соскладчатой взбросо-надвиговой системы разрывов. Безусловно, субмеридиональные разрывные нарушения относятся к структурам сжатия и, в целом, неблагоприятны для рудолокализации. Однако при складчатой деформации пластов с различными реологическими свойствами неизбежны межслоевые проскальзывания (последовательные разрывы), которые, развиваясь в качестве сколов с кинематическими характеристиками смещения по восстанию, могут контролировать образование меж-

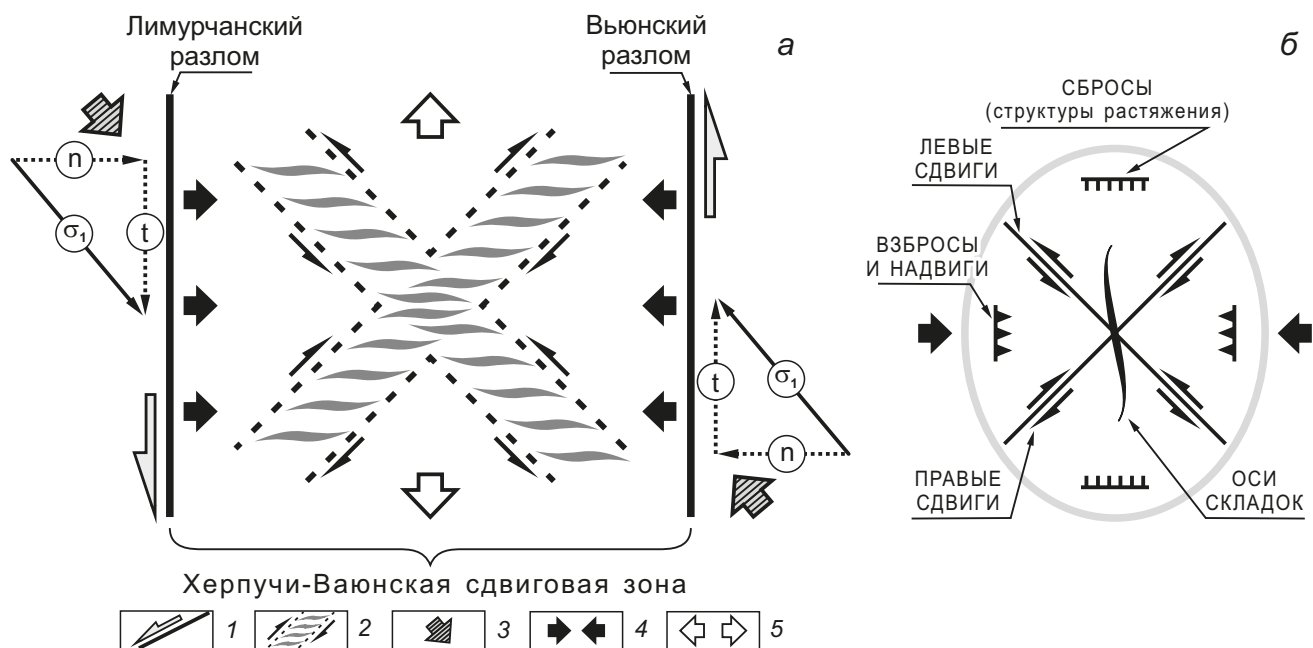


Рис. 6. Динамо-кинематическая схема организации эшелонированных минерализованных прожилков (а) и схема структурных парагенезисов (б, по [18; 31]) в пределах Херпучи-Ваюнской сдвиговой зоны.

1 – граничные разломы сдвиговой зоны и направления смещений по ним (стрелки); 2 – эшелонированные минерализованные прожилки (серое), их ограничение потенциальными сдвигами (пунктир) и направление смещения (чёрные стрелки); 3 – ориентировка регионального сжатия; 4 – ориентировка локального сжатия в пределах сдвиговой зоны; 5 – ориентировка сосдвигового растяжения. σ_1 – вектор регионального (северо-западного) сжатия и его составляющие по отношению к граничным разломам: нормальная – n и тангенциальная (сдвиговая) – t . Объяснения в тексте.

пластовых структур растяжения типа декомпрессионных камер. В сочетании с субширотными разрывами растяжения, способствующими проницаемости гидротермальных растворов, эти камеры могут служить структурными ловушками, образуя скрытые межпластовые рудные залежи. Подобные рудолокализирующие структуры обнаружены в пределах Агние-Афанасьевского рудного узла [26, 27]. Поэтому, несмотря на скрытый характер оруденения, пристальное изучение морфологии и кинематических характеристик складчато-разрывной тектоники в процессе документации горных выработок, учитывая субмеридиональное простираие складчатости, повышает вероятность выявления межпластовых залежей в пределах Херпучи-Ваюнского рудно-россыпного района.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Структурными исследованиями установлено, что формирование складчатой и разрывной тектоники Херпучи-Ваюнского рудно-россыпного района происходило под действием локального субширотного сжатия, сгенерированного динамическим взаимодействием Лимурчанского и Вьюнского разломов. Сравнительный анализ морфологии рудных тел месторождения Чульбаткан и элементов разрывной тектоники

на участках Орёл и Ильинский показал доминанту крутонаклонных минерализованных разрывных нарушений субширотной ориентировки, являющихся структурами растяжения, благоприятными для внедрения гидротермальных растворов и локализации благороднометалльного оруденения. Эти разрывы представлены сериями чередующихся кулисообразных прожилков и пространственно организованы в эшелонированные структуры, контролируемые сопряжённой системой северо-восточных правых и северо-западных левых сдвигов.

Выявленные структурные условия формирования коренной благороднометалльной минерализации могут являться важными поисковыми критериями, которые необходимо учитывать в процессе организации поисково-оценочных работ в пределах Херпучи-Ваюнского рудно-россыпного района.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны сотрудникам группы компаний «N-Mining» Н.И. Петрову, В.Н. Чеботарёвой за предоставленный фактический и фондовый материал, главному геологу ООО «ГЕПАРТ» Р.В. Бадридинову за ценные замечания и советы при подготовке публикации. Авторы признательны к.г.-м.н. А.Н. Митрохи-

ну за детальную редакторскую правку и обсуждение результатов исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев А.С., Старостин В.И. Новое месторождение золота в Нижнем Приамурье – Чульбаткан (Хабаровский край) // Вестн. МГУ. Сер. 4 Геология. 2017, Вып. 1. С. 33–38.
2. Алексеев А.С., Шишакова Л.Н. Минеральный состав руд золоторудного месторождения Чульбаткан, Нижнее Приамурье, Хабаровский край // Научно-технический журнал: Руды и металлы. М.: ЦНИГРИ, 2017. № 3. С. 43–50.
3. Белоусов В.В. О некоторых особенностях тектонических деформаций Очерки структурной геологии сложноплюрированных толщ. М.: Недра, 1970. С. 5–31.
4. Врублевский А.А. Разломы и их роль в эволюции покровно-складчатых систем Восточной Азии. М.: ВИНТИ, 1991. 295 с.
5. Гзовский М.В. Механизм формирования крупных сложно-построенных тектонических разрывов // Разведка и охрана недр. 1956. № 7. С. 79–95.
6. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. 538 с.
7. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России в 2 кн. / Под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. 572 с.
8. Данилович В.Н. Метод поясов в исследовании трещиноватости, связанной с разрывными смещениями. Методическое руководство. Иркутск: Кн. изд-во, 1961. 48 с.
9. Забродин В.Ю., Рыбас О.В., Гильманова Г.З. Разломная тектоника материковой части Дальнего Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2015. 132 с.
10. Изох Э.П., Русс В.В., Кунаев И.В. и др. Интрузивные серии Северного Сихотэ-Алиня и Нижнего Приамурья, их рудоносность и происхождение. М.: Наука, 1967. 384 с.
11. Кайдалов В.А. и др. Отчет Херпучинской партии по групповой геологической съемке масштаба 1:50 000. ФГУ ТФГИ, 1986.
12. Кайдалов В.А., Анойкин В.И., Беломестнова Т.Д. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1: 200 000. Издание второе. Серия Николаевская. Лист N-54-XXXII (оз. Удыль): Объясн. зап. Минприроды России, Роснедра, Дальнедра, ФГУП «Дальгеофизика». М.: Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2020. 146 с.
13. Касаткин С.А., В.В. Голозубов, Фунг Ван Фать, Ле Дык Ань. Проявление кайнозойских сдвиговых дислокаций системы разломов Красной реки в палеозойских карбонатных толщах острова Катба (Северный Вьетнам) // Тихоокеан. геология. 2014. Т. 33, № 3. С. 14–28.
14. Кузнецов В.Е. Отчет о результатах анализа и обобщения материалов глубинных исследований по югу Хабаровского края. Листы М-53; N-53-В, Г; М-54-А, В; N-54-В (Литосферный объект). ФГУ ТФГИ, 2002.
15. Лукьянов А.В. Структурные проявления горизонтальных движений земной коры. М.: Наука, 1965. 211 с.
16. Неволин П.Л., Митрохин А.Н., Уткин В.П. Сихотэ-Алинская складчатая система: общие особенности строения и некоторые аспекты контроля золотого оруденения (на примере Центрального Сихотэ-Алиня) (часть первая) // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2018. № 2 (Вып. № 39). С. 84–101.
17. Производство драгметалла на Чульбаткане начнется после 2028 года // Сетевое издание NEDRADV (Недра ДВ) [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://nedradv.ru/nedradv/ru/page_news?obj=a5910bd8915d100150e7955bd3538200 (дата обращения 20.04.2024).
18. Стоянов С.С. Механизм формирования разрывных зон. М.: Наука, 1977. 144 с.
19. Уткин В.П. Некоторые структурные закономерности рудо-локализирующих разрывов // Геология и металлогения Южного Приморья. Владивосток: Дальневост. кн. изд-во, 1974. С. 26–36.
20. Уткин В.П. Эшелонированные разрывные структуры месторождений Приморья // Геотектоника. 1978. № 4. С. 97–103.
21. Уткин В.П. Сдвиговые дислокации и методика их изучения. М.: Наука, 1980. 144 с.
22. Уткин В.П. Сдвиговые дислокации, магматизм и рудообразование. М.: Наука, 1989. 166 с.
23. Шаруева Л.И., Лопатин Б.Г., Роганов Г.В., Саутченкова Р.А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Дальневосточная. Лист N-54 (Николаевск-на-Амуре): Объясн. зап. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016. 477 с.
24. Юшманов Ю.П. Структурно-тектонические закономерности размещения золота в Пильда-Лимурийском рудном районе Нижнего Приамурья // Тихоокеан. геология. 2014. Т. 33, № 4. С. 99–109.
25. Юшманов Ю.П. Эшелонированные разрывные структуры Учаминского рудного узла в Нижнем Приамурье // Научно-технический журнал: Руды и металлы. М.: ЦНИГРИ, 2017. № 3. С. 51–56.
26. Юшманов Ю.П. Геолого-структурные особенности Агние-Афанасьевского месторождения в Нижнем Приамурье // Региональные проблемы. 2018. Т. 21, № 3. С. 15–21.
27. Юшманов Ю.П. Ротационная тектоника Агние-Афанасьевского рудного узла в Нижнем Приамурье // Тихоокеан. геология. 2019. Т. 38, № 6. С. 81–99.
28. Beach A. The geometry of en echelon vein arrays // Ibid. 1975. V. 28, N. 4. P. 245–263.
29. Roering C. The geometrical significance of natural en-echelon crack arrays // Tectonophysics. 1968. V. 5, N. 2. P. 107–123.
30. Shainin V.E. Conjugate sets of en-echelon tension fractures in the Athens limestone at Riverton, Virginia // Bull. Geol. Soc. Amer. 1950. V. 61, N. 6. P. 509–517.
31. Sylvester A.G. Strike-slip faults // Geological Society of America Bulletin. 1988. V. 100. P. 1666–1703.

Рекомендована к печати А.В. Гребенниковым
после доработки 03.10.2024 г.
принята к печати 20.11.2024 г.

**STRUCTURAL CONDITIONS OF BEDROCK NOBLE-METAL MINERALIZATION IN THE
KHERPUCHI-VAYUN GOLD PLACER AREA (KHABAROVSK REGION)***M.E. Nikolaichuk, S.A. Kasatkin*

*Far East Geological Institute, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia;
e-mail: kasatkin99@mail.ru*

The structural and geodynamic research revealed that folding and faulting within the Kherpuchi-Vayun gold placer area are in a structural paragenetic relationship formed under the local W–E-oriented stress caused by the dynamic interaction of the Limurchan and Vyun faults. The left-lateral activation of these faults was induced by regional NW-directed stress field. The analysis of fault tectonics at prospective locations of bedrock noble metal mineralization showed that mineralization mainly filled the W–E-trending tension gashes that are subparallel to the local stress. These S-shaped tension gashes are arranged in an echelon structures controlled by the conjugate set of NE-trending dextral and NW-trending sinistral strike-slip faults.

***Key words:* gold, en echelon extensional structures, strike-slip faults, structural paragenetic relationship, Lower Priamurye.**