

КАРТИРОВАНИЕ СКРЫТЫХ РАЗЛОМОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ОРИЕНТИРОВКИ ПО АНАЛИЗУ РЕЛЬЕФА И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В ПРИАМУРЬЕ**Т.В. Меркулова, Г.З. Гильманова, С.А. Тусикова***ФГБУН Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, ул. Ким Ю Чена 65, г. Хабаровск, 680000; e-mail: merculova@itig.as.khb.ru*

Поступила в редакцию 25 июня 2020 г.

В работе рассмотрены признаки скрытых разломов северо-западного направления в Приамурье. Закартированы четыре крупные разломные зоны и серия разрывов более мелкого порядка, индикаторы которых проявлены в линеаментах рельефа, аномалиях магнитного поля и упорядоченности размещения очагов землетрясений. Разломы северо-западного направления контролируют блоковую делимость верхней части литосферы региона и сейсмоактивны в современное время. Два скрытых разлома северо-западной ориентировки характеризуются значительной величиной выделившейся сейсмической энергии, что необходимо учитывать при оценке сейсмоопасности территории.

Ключевые слова: скрытые разломы, линеаменты, рельеф, аномалии магнитного поля, Приамурье.**ВВЕДЕНИЕ**

На большей части территории Приамурья крупные региональные разломы северо-западного (СЗ) направления геологическими методами не выделяются, только в северо-западной части региона установлена серия сближенных разрывов этого направления: самым крупным является сегмент Южно-Тукурингского разлома (рис. 1, *а, б*) [7, 32]. Однако в соседних континентальных областях разломы СЗ ориентировки древнего возраста распространены широко. В Яно-Колымской складчатой системе СЗ разломы заложены в позднепротерозойское время [4]. Аналогичные разломы древнего возраста, выявленные в Якутии, неоднократно активизировались. Например, Тьркиндинский разлом контролирует систему нижнепротерозойских трогов, мезозойских грабенов, гранитоидов и основных интрузий архейского, протерозойского и мезозойского возраста [9]. Со стороны Тихого океана к Приамурью подходит крупный разлом Носаппу (рис. 1, *а*) [11, 42, 43]. Эта глобальная глубинная разломная система с доминированием левосдвиговых смещений начинается восточнее о. Хоккайдо (Япония), пересекает юг Охотского моря, о. Сахалин и достигает континентальную часть в районе Нижнего Приамурья. Предполагается, что в условиях субдукции разлом Носаппу является наиболее ослабленной частью слэба, где формируются каналы для восходя-

щих флюидов из мантии, способствующие усилению сейсмической активности региона [11].

Мелкие локальные разрывы СЗ ориентировки в Приамурье выделяются разными методами [7, 35, 36, 41]. В крупных осадочных бассейнах региона и сопредельных территорий такие разрывы в единичных случаях ограничивают грабены, но часто контролируют локальные структуры [20, 45, 46]. Поперечное положение СЗ разрывов по отношению к основным грабенообразующим разломам северо-восточного (СВ) направления (Тан-Лу) позволяет рассматривать их как трансферные [31]. Соотношение с северо-восточными разломами в осадочных бассейнах указывает на их левостороннюю кинематику [22]. Однако при детальных работах в Нижнем Приамурье установлены зоны сближенных СЗ разрывов с правосторонними движениями [15]. СЗ разрывы совместно с разломами других направлений могут образовывать области пересечений, определяющие позицию вулканических структур, с распространением в них метасоматитов с рудной минерализацией [17].

Косвенные признаки разломов СЗ направления в виде мелких линеаментов ранее выявлены при анализе рельефа [12, 35–37]. Такие разрывы участвуют в формировании структур верхней части коры в условиях мощных горизонтальных движений [35, 36]. Признаки современной сейсмической активности СЗ разломов подтверждаются мелкими активными раз-

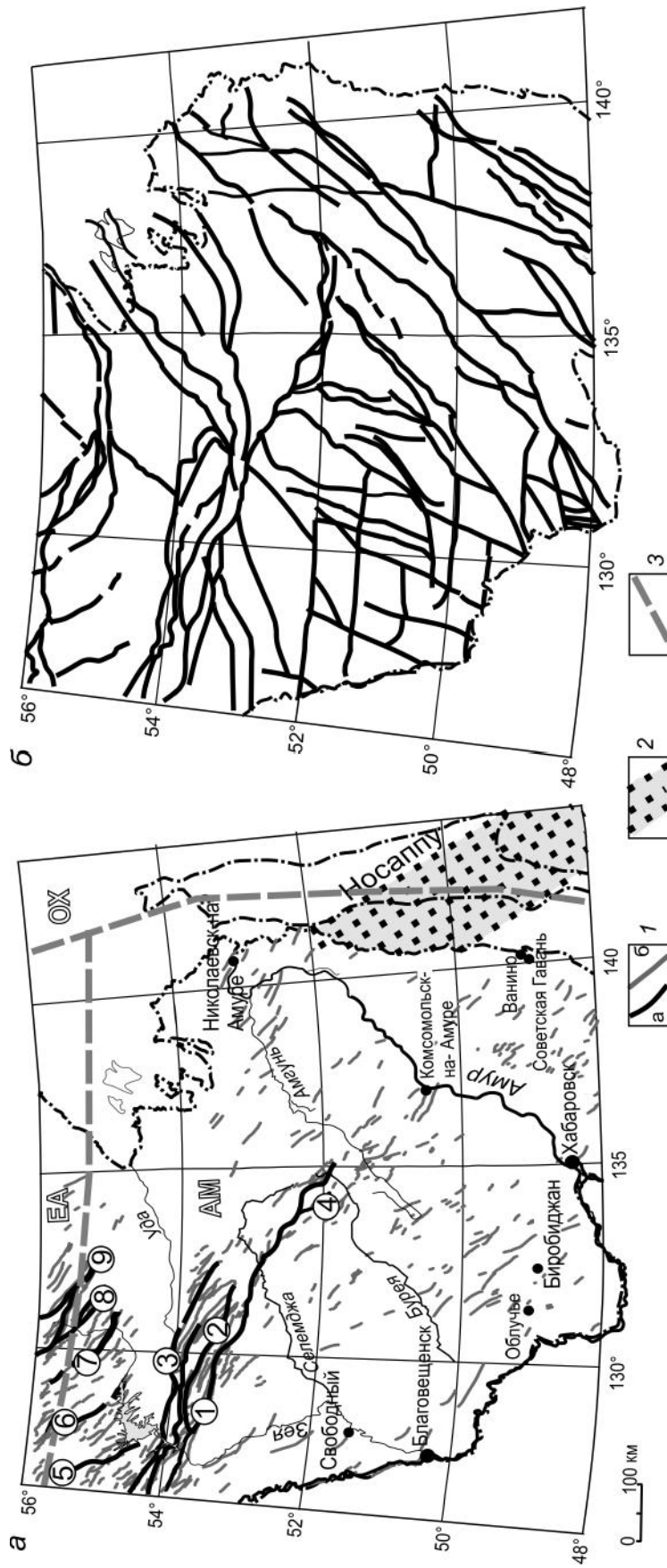


Рис. 1. Разломы северо-западного направления в Приамурье и на сопредельных территориях (а) и фрагмент карты региональных разломов, по [7], (б).
 / – разломы, по [7]: а – региональные, б – локальные; 2 – разломная зона Носапу, по [11]; 3 – границы плит: ОХ – Охотская плита; EA – Евразийская; AM – Амурская.
 Цифры в кружках – названия региональных разломов: 1 – Южно-Гукурингский; 2 – Туксинский; 3 – Ланский; 4 – Верхнениманский; 5 – Унахинский; 6 – Сулджарский;
 7 – Таксакадинский; 8 – Салга-Джанинский; 9 – Майский.

рывами и локализацией очагов землетрясений в сейсмолинеаменты аналогичной ориентировки [6, 27].

Приведенные выше факты обуславливают необходимость выделения скрытых разломов СЗ направления комплексом методов, которые выявляют современную тектоническую и сейсмическую активность.

МЕТОДИКА РАБОТ

Накопленные данные о строении крупных разломов и результаты моделирования показывают, что процесс их образования характеризуется несколькими стадиями. Для ранней стадии характерно наличие широкой полосы мелких разрывов, которые затем объединяются друг с другом, увеличиваются в размерах и, в конечном счете, формируют единый сместитель (магистральный разрыв). Магистральный разрыв может «расти» из глубины к поверхности и вблизи поверхности распространяться в стороны [28, 30]. Поэтому крупные разломы на дневной поверхности представлены как единым магистральным сместителем, фиксирующимся на всем протяжении разлома, так и системой субпараллельных сближенных разрывов [1].

По современным представлениям, в качестве разлома понимается не только магистральный разрыв, но и линейно вытянутая область, окружающая его в трех измерениях пространства – область динамического влияния [40]. В этой области отмечаются генетически связанные с его формированием и подвижками пластические и разрывные деформации [13, 39]. Разлом является трехмерным геологическим телом, существенно отличающимся от консолидированных блоков не только по строению, но и по вещественному составу [14, 25].

За свою длительную историю разломы в результате смены тектонических режимов претерпевают неоднократные активизации, вследствие чего образуются сложные зоны разломных нарушений с элементами, унаследованными как от древних активизаций, так и элементами, приобретенными в процессе последующих этапов оживления их деятельности. В итоге формируются разломные структуры, характеризующиеся разрозненностью и смещением отдельных разрывов вдоль осевой линии, отличиями в поверхностных структурах и другими особенностями. Как следствие, признаки одного разлома в пределах разных его участков отличаются, т.е. разлом характеризуется фрагментарностью [33, 34].

Слабая тектоническая деятельность или ее отсутствие в течение длительного времени могут приводить к тому, что разломы, с которыми тесно связаны геологические образования, повышенная рудная минерализация и другие процессы, на дневной поверхности остаются плохо проявленными. Такие разломы

называются «скрытыми». Иногда структуры такого типа обнаруживаются по отсутствию связи современной сейсмичности с разломной тектоникой [19, 29]. Но в основном скрытые разломы выявляются по специфическим косвенным признакам. К таким признакам относят повышенную трещиноватость и проницаемость, интрузивный магматизм, дайковые комплексы, метасоматиты и тектониты и др. [33, 34]. Существует тесная взаимосвязь между активизацией разломов с осадконакоплением, складчатостью, контролированием наложенных структур и др. Косвенные признаки разломов находят отражение в особенностях рельефа, характере аномалий гравитационного и магнитного полей – линейных локальных аномалиях, ступенях в их уровне, в изменении характерных особенностей в упорядоченности структуры, формы и интенсивности аномалий и др. [33, 34]. Поэтому для выявления достаточно крупных скрытых разломов СЗ направления нами использованы все возможные их признаки: мелкие разломы по геологическим данным, оси аномалий магнитного и гравитационного полей согласной ориентировки, упорядоченность землетрясений и линейаменты рельефа.

Исходным материалом для анализа рельефа послужили цифровые модели рельефа (ЦМР) SRTM-03, которые имеют следующие характеристики: размер ячейки 3×3 секунды (примерно 90 м), с исходной отметкой над уровнем моря, определяемой геоидом WGS84-EGM96 (Earth Gravitational Model). Статистический анализ рельефа проводился автоматически, с применением методики LESSA (Lineament Extraction and Stripe Statistical Analysis), реализованной в программе WinLESSA [44]. Программа позволяет выявлять линейные элементы с разной степенью детальности, а также исследовать их распределение и свойства по площади с построением роз-диаграмм, расчета плотности линейных объектов. По рассчитанным в заданном окне розам-диаграммам построены линии их преобладающей вытянутости, отражающие текстурные особенности крупных блоков земной поверхности. Ориентировка линий преобладающей вытянутости и их сгущений, резкие обрывы, смена направлений являются весомыми показателями для выделения зон тектонических нарушений. В итоге для изучаемой территории по анализу рельефа были получены карты: карта преобладающих линий вытянутости роз-диаграмм, карты общей плотности линейаментов всех направлений и плотности линейаментов СЗ направления, карты линейных элементов различной степени выраженности СЗ ориентировки системы 315° и 337°.

Для анализа гравитационного и магнитного полей использовались карты масштаба 1: 1 000 000. На первом этапе данные наблюденного гравитацион-

ного и магнитного поля были подвержены разложению на составляющие: региональную и локальную компоненты. Для гравитационного поля получены локальные компоненты двух порядков. Аномалии локальной компоненты 1-го порядка характеризуются значительными размерами и большей глубиной неоднородностей. Для аномалий гравитационного и магнитного полей выполнена процедура трассирования осей аномалий. Анализ геофизических полей выполнен с использованием программы КОСКАД-3Д, разработанной А.В. Петровым [23]. В результате были построены схемы осей региональных аномалий магнитного поля, локальной компоненты гравитационного поля 1- и 2-го порядка.

Дополнительная информация о разрывах северо-западного простирания, их глубинности и взаимоотношении с северо-восточными разломами получена на основе положения линеаментов рельефа и осей аномалий магнитного поля СЗ ориентировки с наиболее крупными локальными аномалиями гравитационного поля 1-го порядка.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 2, а представлены линеаменты всех ориентировок, демонстрирующие преобладающую ориентировку как северо-восточных разломов, так и СЗ разрывов, которые совместно формируют ячеистую структуру, что, вероятно, свидетельствует об их достаточно высокой современной тектонической активности. Анализ карты преобладающих линий вытянутости роз-диаграмм показывает, что, несмотря на их значительную северо-восточную направленность, в отдельных местах линии сгущения имеют северо-западную ориентировку, что является признаком разрывов этого направления (рис. 2, б). Признаки разломов СЗ ориентировки в линиях преобладающей вытянутости коррелируют в большинстве случаев с линеаменами направления 315° , образующими в некоторых местах зоны сгущений значительной длины (рис. 3, а). По геофизическим данным, признаки СЗ разрывов в большей степени проявлены в аномалиях магнитного поля, иногда наблюдается их совпадение с мелкими локальными аномалиями гравитационного поля 2-го порядка. Локальные аномалии 1-го порядка, контролируемые достаточно крупными плотностными неоднородностями в литосфере, только в единичных случаях имеют СЗ направленность. Большинство аномалий СЗ магнитного поля согласуется с линиями преобладающей вытянутости и линеаменами рельефа и их сгущениями системы $315^\circ \pm 10^\circ$ (рис. 3, б). В некоторых случаях обнаруживаются мелкие линеаменты системы $337^\circ \pm 10^\circ$, коррелирующие с

аномалиями магнитного поля и упорядоченностью слабых землетрясений (рис. 4).

По комплексным данным выделяются четыре протяженных разлома северо-западного направления системы $315^\circ \pm 10^\circ$ 1-го порядка, сейсмоактивные на современном этапе (рис. 3, а) и менее протяженные разрывы 2-го порядка. Соотношение выделенных разрывов с распределением аномалий плотности линеаментов системы $315^\circ \pm 10^\circ$ показывает, что в этом параметре наилучшим образом выражен разлом II (рис. 5). По аномалиям плотности можно предполагать ее значительное продолжение на северо-запад. Для остальных разрывов 1-го порядка характерно трассирование аномалиями плотности только в отдельных сегментах.

Разлом I выделяется в основном по сгущению линеаментов рельефа и упорядоченности землетрясений (рис. 3, а). В аномалиях плотности линеаментов проявлен сериями мелких аномалий (рис. 5). Разлом ограничивает локальные аномалии 1-го порядка гравитационного поля северо-восточной ориентировки положительного знака, т. е., вероятно, этот разрыв имеет признаки трансферного разлома (рис. 6, а).

Разломы II и III в западной части проходят вблизи сегмента Южно-Тукурингского разлома, а далее к востоку продолжают этот разлом до побережья. Кроме линеаментов рельефа, локализации мелких локальных разломов и упорядоченности землетрясений, разлом II практически на всем протяжении коррелирует с аномалиями магнитного поля СЗ ориентировки. Восточное окончание этих разломов сопровождается достаточно крупными локальными аномалиями 1-го порядка гравитационного поля положительного знака (рис. 6, а). В аномалиях плотности линеаментов 315° наибольшее выражение находит разрыв II, который сопровождается аномалиями плотности на всем протяжении. Наилучшая локализация аномалий плотности наблюдается далее в северо-западной части (рис. 5).

Разлом IV, кроме линеаментов, мелких разломов, установленных по геологическим данным, упорядоченности землетрясений, в отдельных сегментах подтверждается аномалиями магнитного поля. В аномалиях плотности линеаментов выражена в большей мере восточная часть разрыва.

Так же устанавливается серия менее протяженных разрывов 2-го порядка, сейсмоактивных на современном этапе. Например, разрыв 1 выделяется по группированию землетрясений с $M \geq 3$ в северо-западном направлении, которое в некоторых местах коррелируется с линеаменами рельефа. Согласно аномалиям плотности возможно предполагать продолжение этого разрыва к северо-западу (рис. 5).

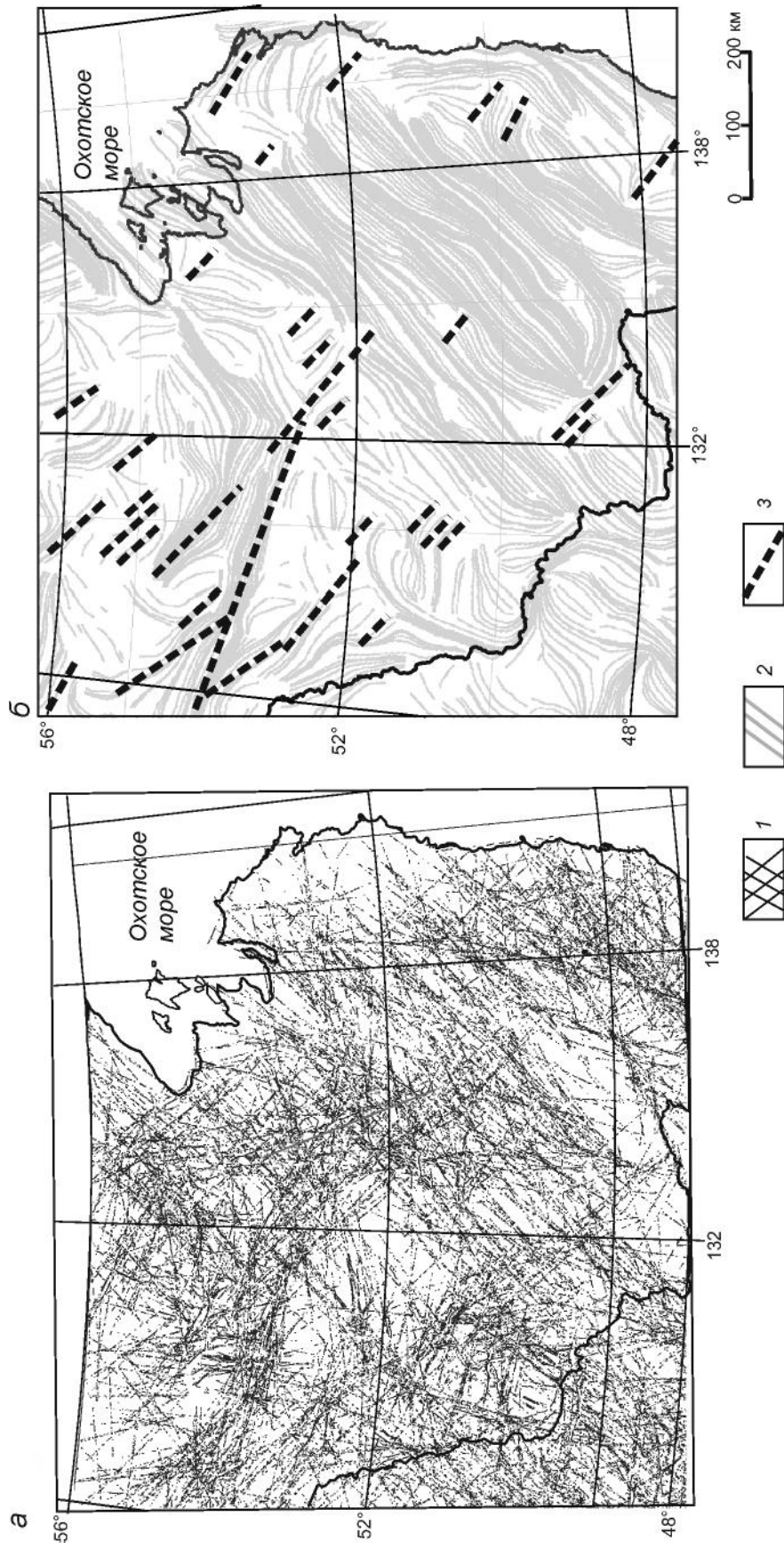


Рис. 2. Линеаменты рельефа разного направления (а) и линии преобладающей вытянутости роз-диаграмм (б).

1 – линеаменты рельефа; 2 – линии преобладающей вытянутости роз-диаграмм; 3 – признаки разрывов СЗ направления в линиях преобладающей вытянутости роз-диаграмм.

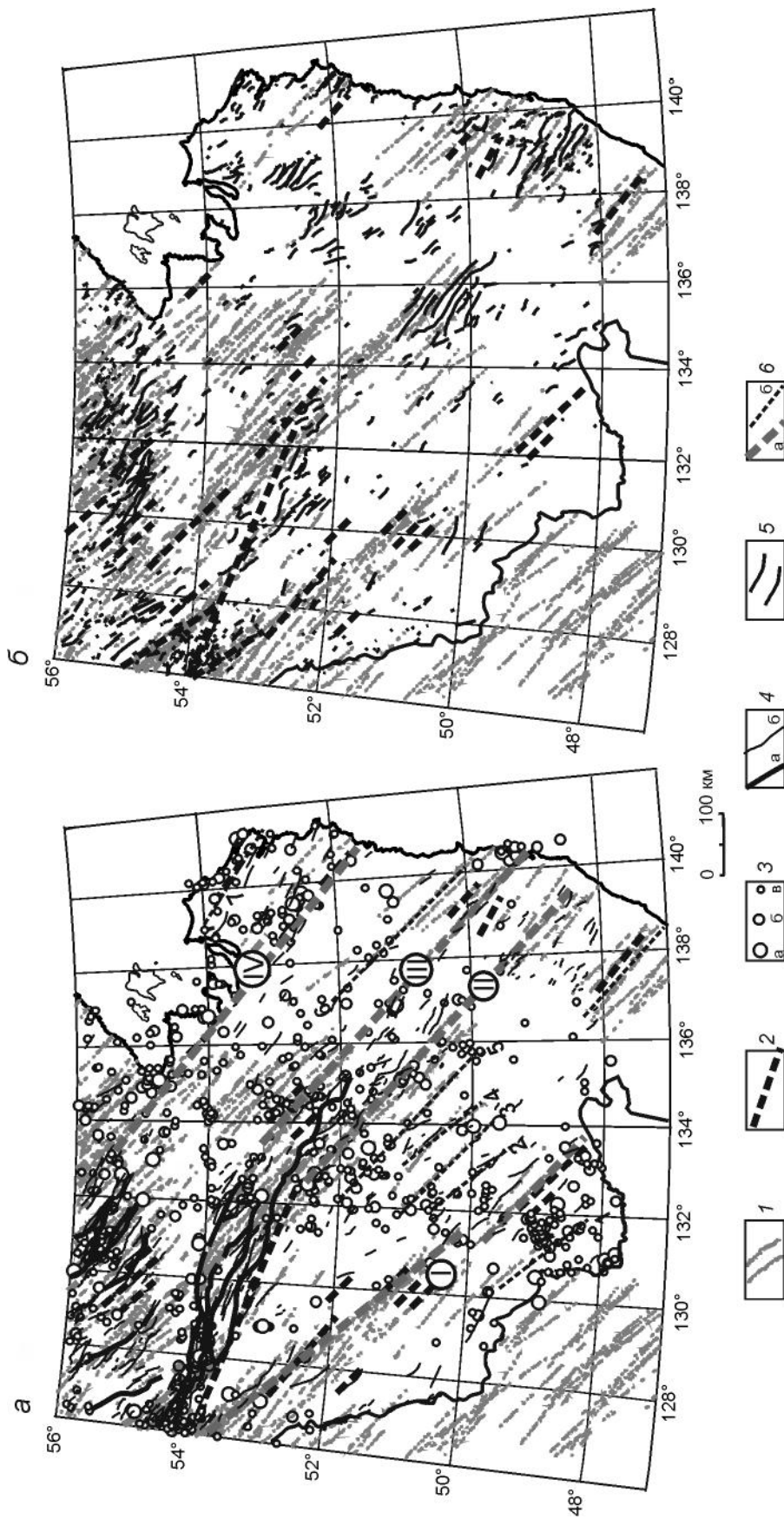


Рис. 3. Признаки разломов северо-западного направления системы 315° в линейментах рельефа, в локальных разломах и упорядоченности землетрясений с $M \geq 3$ (а) и в аномалиях магнитного поля (б).

1 – линейменты рельефа лучшей степени выраженности системы 315° ; 2 – признаки S_3 разрывов по анализу линий преобладающей выгнутости роз-диаграмм; 3 – землетрясения: а – $M \geq 5$; б – $5 > M \geq 4$; в – $4 > M \geq 3$; 4 – разломы северо-западного направления по геологическим данным: а – региональные, б – локальные; 5 – оси аномалий магнитного поля; 6 – разломные зоны S_3 направления скрытого типа: а – первого порядка (1–IV), б – второго порядка (1–5).

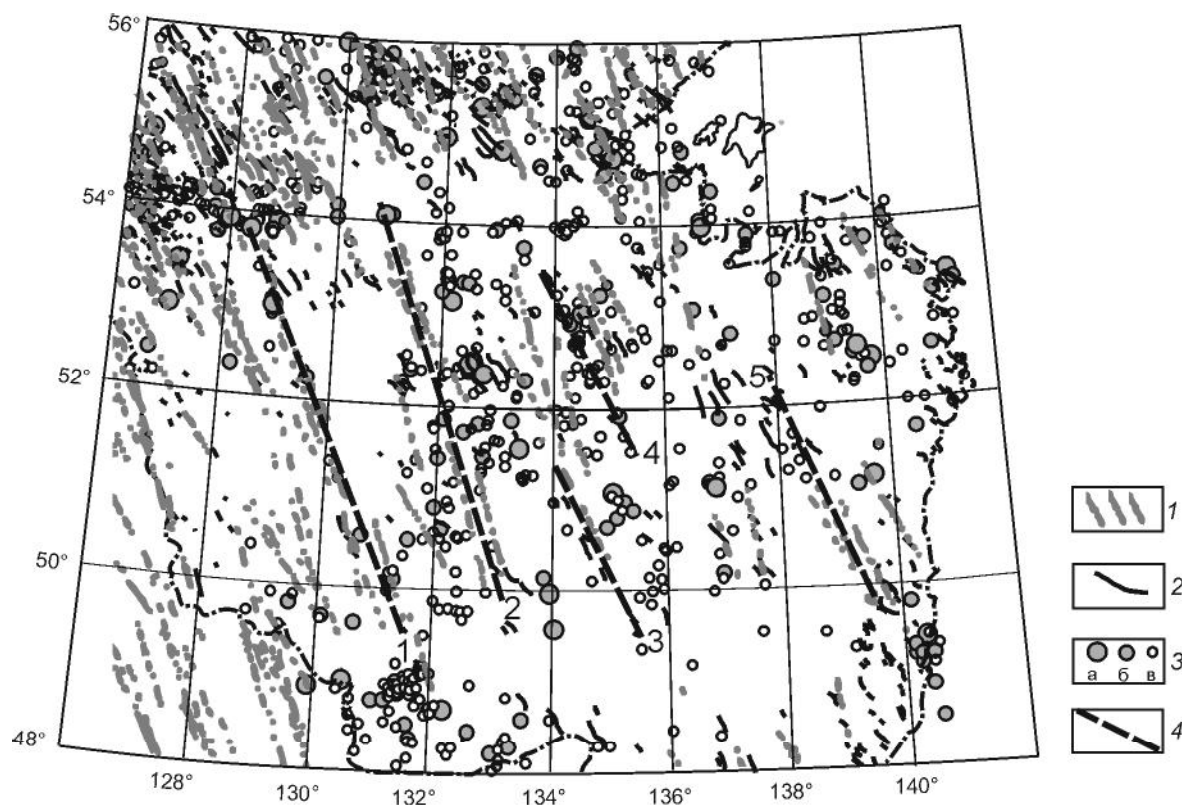


Рис. 4. Признаки разрывов СЗ направления системы 337°.

1 – линияменты рельефа системы 337°; 2 – оси аномалий магнитного поля; 3 – землетрясения: а – $M \geq 5$; б – $5 > M \geq 4$; в – $4 > M \geq 3$; 4 – предполагаемые разломы системы 337°.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

По комплексному анализу рельефа и геофизических полей на территории работ устанавливаются скрытые разломы СЗ направления разного порядка с наибольшим распространением разрывных структур системы $315 \pm 10^\circ$ (рис. 3, а). Эта величина в общих чертах согласуется с данными ранее выполненного анализа рельефа, где средний азимут всех элементов северо-западного простирания определялся в пределах $310\text{--}340^\circ$ [36]. Линиаменты системы $337 \pm 10^\circ$ редки, слабо сейсмически активны и не контролируют структуру локальных аномалий гравитационного поля (рис. 4).

Признаки крупных разломов СЗ ориентировки достаточно уверенно получены в линияментах рельефа и аномалиях магнитного поля. Линиаменты рельефа, проявленные на дневной поверхности, отражают глубинные процессы разных уровней. На значительное участие эндогенных процессов в формировании рельефа дневной поверхности, явно преобладающее над экзогенной составляющей, указывается многими исследователями [2, 8, 18]. Аномалии магнитного поля свидетельствуют о распространении линейных

магнитоактивных тел в верхней-средней части земной коры, так как оценка глубины подошвы магнитоактивного слоя, отождествляемого с изотермой 578°C (температура точки Кюри магнетита), в районе работ варьирует в диапазоне глубин от 13.1 до 29.9 км [5]. Такой диапазон глубин, в общем, соответствует хрупкой части земной коры, мощность которой определяется по индикатору перехода к «хрупкопластичным» горизонтам – максимальной глубине сейсмичности [26]. Землетрясения в районе исследования происходят на глубинах не более 20–25 км, поэтому признаки разрывов этого направления наиболее выражены в хрупкой части земной коры. Только в единичных случаях разрывные структуры этого направления коррелируют с аномалиями гравитационного поля 1-го порядка, соответствующими глубинным неоднородностям с хрупкопластичной реологией. Выраженность разломов северо-западного направления в близповерхностных данных не отрицает их глубинного происхождения. Возможно, в результате действия древних процессов и высокой активности разломов СВ направления в мезозойско-кайнозойское время образовалась достаточно устойчивая глубин-

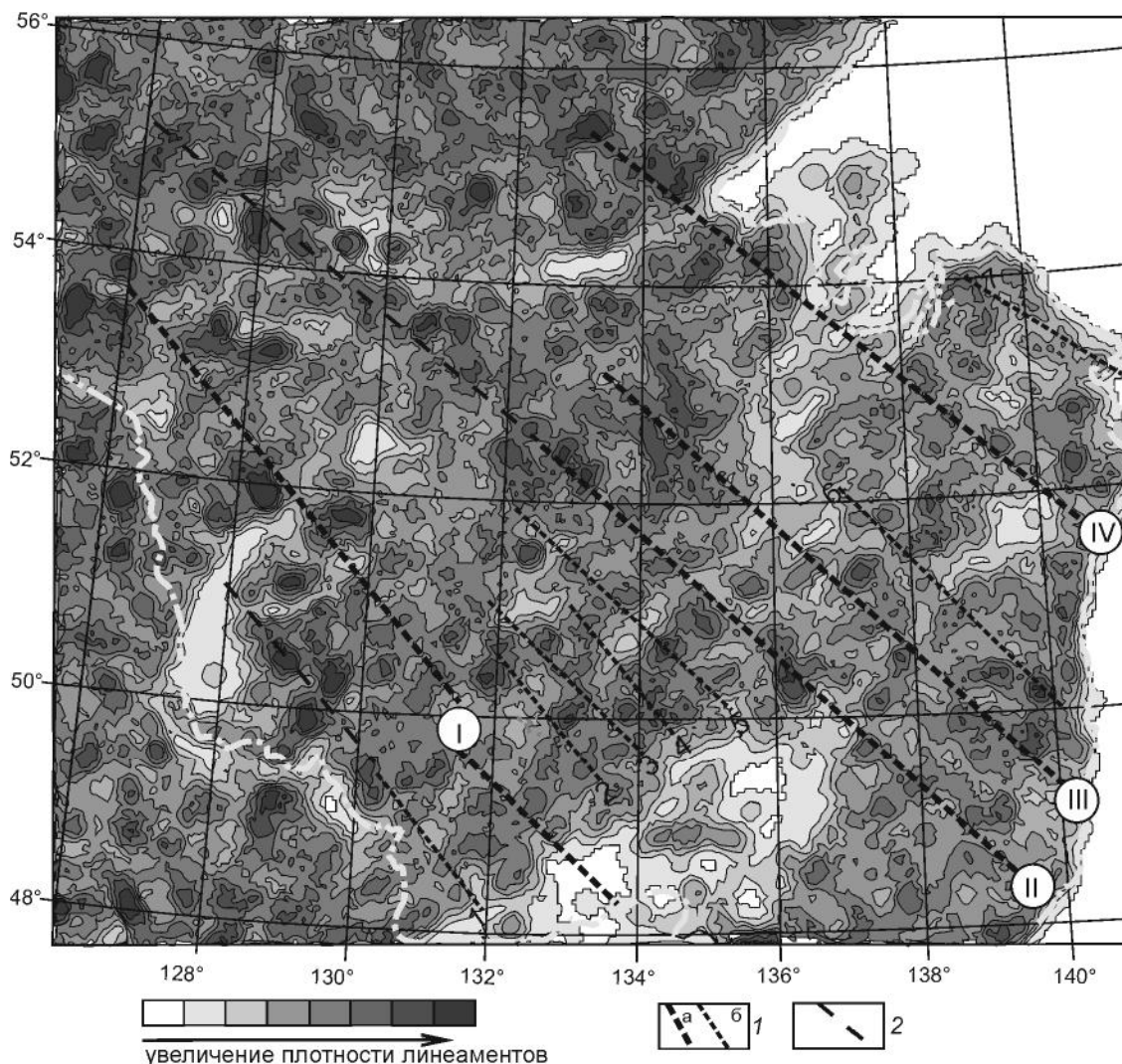


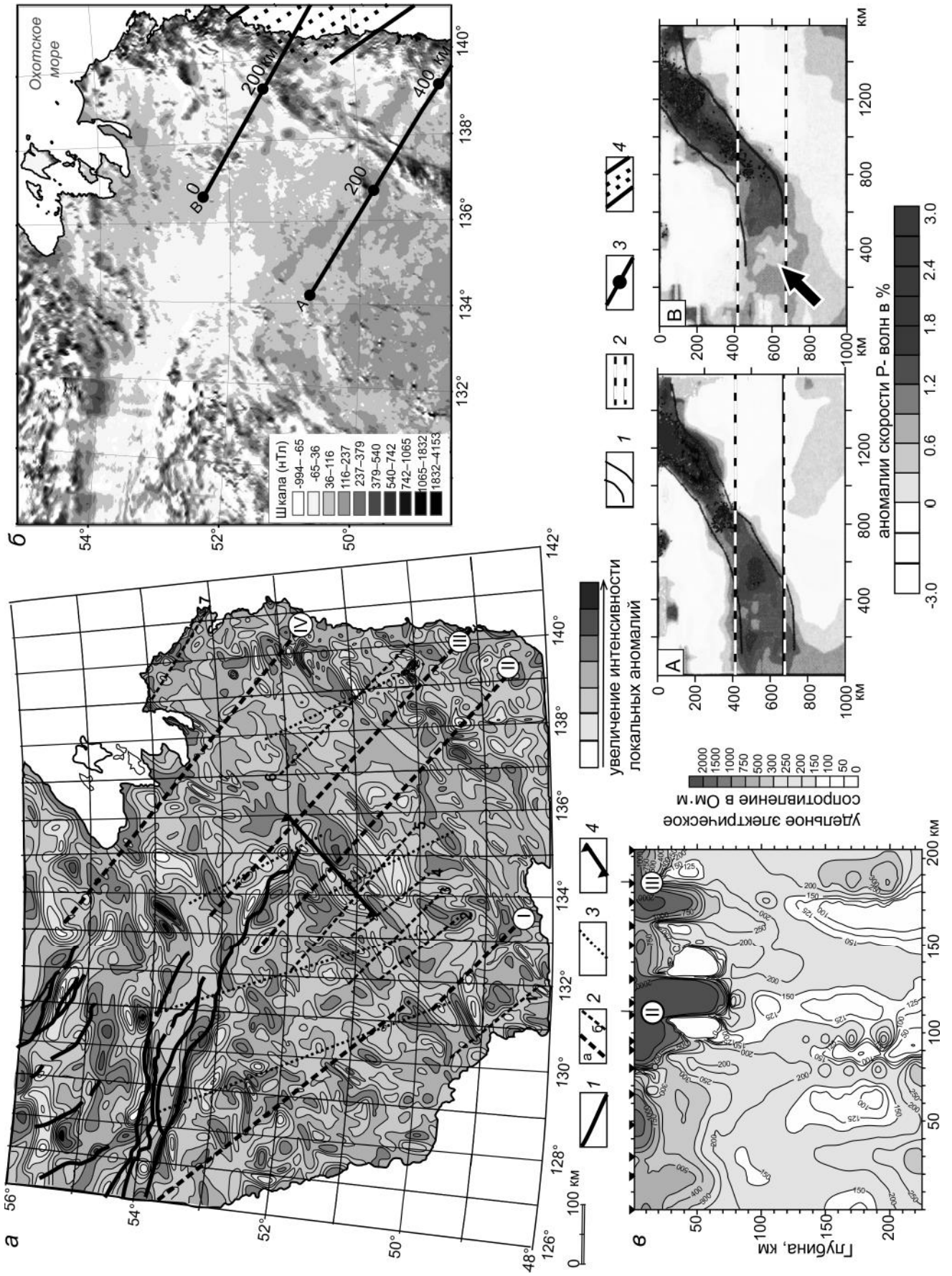
Рис. 5. Соотношение аномалий плотности линеаментов системы 315° и разрывов СЗ направления.

1 – предполагаемые разломы северо-западного простирания: а – первого порядка, б – второго порядка; 2 – признаки СЗ разломов в аномалиях плотности линеаментов.

ная структура плотностных неоднородностей. И эта структура позволяет распределяться жилам, дайкам и другим магнитоактивным телам северо-западного простирания только в верхней части литосферы.

Крупные разломы СЗ направления хорошо выражены: сгущениями линеаментов рельефа, которые в некоторых местах согласуются с признаками разрывов в линиях преобладающей вытянутости, мелкими разломами по геологическим данным, аномалиями магнитного поля и плотности линеаментов. Разрывы СЗ направления совместно с СВ разломами образуют крупные ячеистые структуры с шагом до 250–300 км (рис. 2, а). Сопряженность с северо-восточными разрывами демонстрируется разломом I, который проходит четко по северному ограничению аномалий северо-восточного направления, а в юго-восточной части контролирует их смещение, т.е. эта структура имеет признаки трансферного разлома (рис. 6, а). Глубинные разломы скрытого типа II и III расположены на продолжении крупных Южно-Тукурингского, Ланского разломов древнего возраста. Разломы II и III контролируют изменение структурного плана локальных аномалий гравитационного поля 1-го порядка: к югу или юго-западу аномалии компоненты характеризуются высокой интенсивностью с выдержанным северо-восточным простиранием, которое к северу нарушается (рис. 6, а). Далее аномалии имеют меньшую интенсивность и, как правило, более сложную, иногда даже близкую к изометричной форму. Глубинность разлома II в его северо-западной части подтвержда-

ро-восточного направления, а в юго-восточной части контролирует их смещение, т.е. эта структура имеет признаки трансферного разлома (рис. 6, а). Глубинные разломы скрытого типа II и III расположены на продолжении крупных Южно-Тукурингского, Ланского разломов древнего возраста. Разломы II и III контролируют изменение структурного плана локальных аномалий гравитационного поля 1-го порядка: к югу или юго-западу аномалии компоненты характеризуются высокой интенсивностью с выдержанным северо-восточным простиранием, которое к северу нарушается (рис. 6, а). Далее аномалии имеют меньшую интенсивность и, как правило, более сложную, иногда даже близкую к изометричной форму. Глубинность разлома II в его северо-западной части подтвержда-



ется аналогичной вытянутостью изолиний подошвы литосферы [38]. Описываемые разломы принимают участие в блоковой делимости земной коры, так как эти нарушения структуры гравитационных аномалий корреспондируют с особенностями магнитного поля (рис. 6, б). Аномалии магнитного поля к северу от разрывов характеризуются достаточно низкими значениями, а к югу поле представлено аномалиями большей интенсивности с преобладанием СЗ ориентировки (рис. 6, б). Вероятно, среда к северу деструктурирована позднейшими тектоническими процессами, возможно под действием разлома Носаппу. Структура слэба Тихоокеанской плиты в области блока низкой интенсивности магнитного поля (Носаппу) отображается низкоскоростными аномалиями, одна из которых имеет СЗ направленность, в то время как блок с повышенной интенсивностью магнитных аномалий корреспондирует с достаточно высокими значениями скорости Р-волн [11, 16]. Глубинное строение разломов II и III, по данным МТЗ, представлено высокоомными неоднородностями до глубин 50–70 км, глубже корреспондирующих с низкоомными субвертикальными телами (рис. 6, в). Этот факт может свидетельствовать о возможности их залечивания на уровне земной коры высокоомными породами магматического происхождения. Линии миграции кайнозойского вулканизма, пространственно связанные с мантийными аномалиями, также имеют северо-западную или западную направленность [24].

Выделенный разлом IV отмечается к юго-востоку от регионального Майского разлома архейского возраста [7]. В крайней юго-восточной части изучен детальными геологическими работами, где выявлена система субпараллельных северо-западных разрывов, которую предлагается воспринимать как единую региональную разрывную структуру, достигающую в ширину 160 км [15]. В пределах этого крупного разлома обнаружены активные разломы СЗ направления [6].

Сопряженность крупных СЗ разрывов с СВ разломами позволяет предполагать, что возраст первых может определяться мезозойским временем, так как высокая активность СВ системы Тан-Лу в это время отмечается многими авторами [20, 21]. Но располо-

жение крупных разрывов скрытого типа на продолжении древних СЗ разломов может указывать также на их еще более древнее заложение.

Выявленные разломы СЗ ориентировки сейсмически активны на современном этапе. Повышенная сейсмическая активность может быть вызвана как процессами в зоне субдукции Тихоокеанской плиты и участия структур сдвигового растяжения типа Носаппу, так и движением блоков в обратном направлении. По данным GPS, вектор современных горизонтальных скоростей направлен с запада на восток или с северо-запада на юго-восток [3]. Сейсмическая активность северо-западных разломов скрытого типа согласуется с аналогичной ориентировкой аномалий сейсмической активности, рассчитанных за период 1975–2015 гг., которые расположены в зоне динамического влияния разломов II и IV (рис. 7). В пределах этих же разломов наблюдается наибольшая локализация максимумов сейсмической активности, что соответствует значениям величины выделившейся суммарной сейсмической энергии для этих разломов 21992 и 48384 Гдж, соответственно. Для I и III разломов эти величины равны 5274 и 5702 Гдж.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По комплексному анализу рельефа и геофизических данных в Приамурье закартированы четыре протяженных разлома скрытого типа северо-западного направления, а также серия мелких разрывов, и изучены их особенности. Характер линеаментов СЗ направления, структура магнитного поля, отражающая насыщенность этих разрывов магматическими образованиями, упорядоченность землетрясений в зоны СЗ направления указывают на их современную тектоническую активность. Крупные СЗ разрывы скрытого типа контролируют блоковую делимость верхней части литосферы. Два разлома скрытого типа СЗ направления характеризуются достаточно высокими значениями сейсмической энергии, что необходимо учитывать при оценке сейсмической опасности территории и сейсмостойком строительстве.

Вопросы возраста разломов СЗ направления на территории Приамурья и их глубинного строения

Рис. 6. Разрывы СЗ направления в структуре литосферы: а – соотношение с локальными аномалиями гравитационного поля.

1 – региональные разломы северо-западного направления, по [7]; 2 – скрытые СЗ разломы системы 315°: а – первого порядка, б – второго порядка; 3 – предполагаемые разломы системы 337°; 4 – положение профиля МТЗ.

б – фрагмент карты аномального магнитного поля и положение сейсмографических профилей;

1 – верхняя и нижняя границы слэба; 2 – граница переходной зоны; 3 – положение профилей в плане, цифры расстояние в км; 4 – разломная зона Носаппу.

в – глубинное строение разрывов II и III, по данным МТЗ [10].

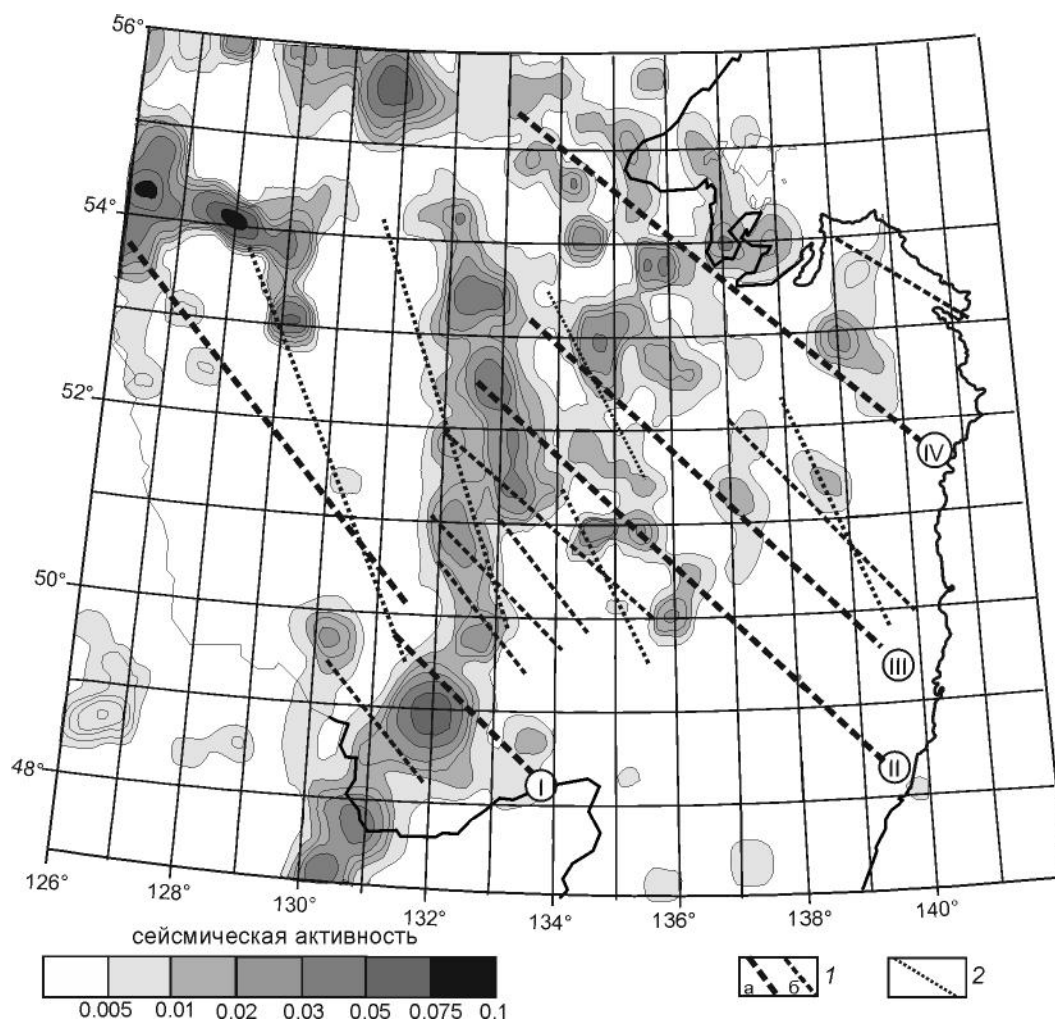


Рис. 7. Разломы северо-западного направления и их связь с аномалиями сейсмической активности, по [27].

1 – СЗ разломы системы 315°: а – первого порядка, б – второго порядка; 2 – разрывы системы 337°.

требуют дальнейших исследований. Обнаружение разломов СЗ направления в Приамурье на продолжении древних разрывов сопредельных территорий может свидетельствовать о существовании структур аналогичного возраста с длительной историей формирования. Однако распределение аномалий плотности линеаментов СЗ ориентировки показывает, что они проявляются не только в пределах выделенных крупных разрывов. Вероятно, происходит формирование и молодых мелких разрывов этого направления, которые требуют дальнейшего изучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айсберг Р.Е., Карабанов А.К., Матвеев А.В. Разломы и линеаменты земной коры Беларуси // Наука и инновации: науч.-практ. журн. / Учредитель Национальная академия наук Беларуси. 2009. № 7. С. 20–24.
2. Анохин В.М., Маслов Л.А. Опыт изучения закономерностей направленности и протяженности линеаментов и разломов в регионах // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2015. № 1. Вып. 25. С. 231–242.
3. Ашурков С.В., Саньков В.А., Серов М.А., Лукьянов П.Ю., Гриб Н.Н., Бордонский Г.С., Дембелов М.Г. Современные деформации Амурской плиты и окружающих структур по данным GPS измерений // Геология и геофизика. 2016. Т. 57, № 11. С. 2059–2070.
4. Вашилов Ю.Я, Калинина Л.Ю. Глубинные разломы и линеаменты и размещение эпицентров на суше северо-востока России // Вулканология и сейсмология. 2008. № 3. С. 19–31.
5. Диденко А.Н., Носырев М.Ю., Шевченко Б.Ф., Гильманова Г.З. Тепловая структура Сихотэ-Алиня и прилегающих территорий по данным спектрального анализа магнитного поля // Докл. АН. 2017. Т. 477, № 3. С. 352–356.
6. Забродин В.Ю. Активные разломы Приморско-Приамурского субрегиона Дальневосточного региона // Патент России № 2011620562. 2011 г.
7. Забродин В.Ю., Рыбас О.В., Гильманова Г.З. Разломная тектоника материковой части Дальнего Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2015. 132 с.

8. Иванченко Г.Н., Горбунова Э.М. Использование данных дистанционного зондирования участков земной коры для анализа геодинамической обстановки. М.: ГЕОС, 2015. 112 с.
9. Имаева Л.П., Имаев В.С., Козьмин Б.М., Маккей К. Динамика формирования разломно-блоковых структур восточного сегмента Байкало-Станового сейсмического пояса // Физика Земли. 2009. № 11. С. 79–85.
10. Каплун В.Б. Геоэлектрическая модель литосферы Комсомольского и Баджальского рудных районов по данным МТЗ // Тихоокеан. геология. 2004. Т. 23, № 6. С. 84–93.
11. Касаткин С.А., Обжиров А.И. Флюидоконтролирующее значение разломной зоны Носаппу и условия формирования потоков метана и залежей газогидратов (Охотоморский регион) // Тихоокеан. геология. 2018. Т. 37, № 1. С. 61–66.
12. Караулов Б.В., Ставцев А.В. О главных системах разломов материковой части Дальнего Востока // Геотектоника. 1975. № 4. С. 23–40.
13. Кочарян Г.Г., Кишкина С.Б., Остапчук А.А. Сейсмический портрет разломной зоны. Что может дать анализ тонкой структуры пространственного расположения очагов слабых землетрясений? // Геодинамика и тектонофизика. 2010. Т. 1, № 4. С. 419–440.
14. Кочарян Г.Г. Геомеханика разломов. М.: ГЕОС, 2016. 424 с.
15. Кудымов А.В. Тектонофизические условия активизации главных разломов Нижнего Приамурья в кайнозой, заложение и развитие сопряженных впадин // Геотектоника. 2017. № 6. С. 72–95.
16. Кулаков И.Ю., Добрецов Н.Л., Бушенкова Н.А., Яковлев А.В. Форма слэбов в зонах субдукции под Курило-Камчатской и Алеутской дугами по данным региональной томографии // Геология и геофизика. 2011. Т. 52, № 6. С. 830–851.
17. Кулиш Е.А., Бондаренко Е.И., Воеводин В.Н. и др. Роль разломов в локализации магматизма и оруденения в Баджальской вулканической зоне (Приамурье) // Разломы и эндогенное оруденение Байкало-Амурского региона. М.: Наука, 1982. С. 138–151.
18. Ломакин И.Э., Анохин В.И., Шураев И.В. Планетарная линеаментная сеть и возможный механизм ее образования // Четвертая тектонофизическая конференция в ИФЗ РАН «Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле». Москва, 3–8 октября 2016 г.: Материалы докладов Всерос. конф. в 2-х т. Т. 2. М.: ИФЗ, 2016. С. 514–521.
19. Макаров В.И., Щукин Ю.К. Оценка активности скрытых разломов // Геотектоника. 1979. № 1. С. 96–109.
20. Меркулова Т.В., Кириллова Г.Л. Строение и перспективы нефтегазоносности северных звеньев Итун-Иланской ветви разломов Тан-Лу // Тихоокеан. геология. 2004. Т. 23, № 6. С. 55–75.
21. Николаев В.В. Тан-Лу-Курский разлом: структура фундамента и сейсмичность // Проблемы тектоники, минеральные и энергетические ресурсы Северо-Западной Пацифики. Ч. 2. Хабаровск: ДВО РАН, 1992. С. 81–92.
22. Пересторонин А.Н., Развозжаева Е.П. Система кайнозойских депрессий Приамурья и Приморья: строение, тектоническая позиция и геодинамическая интерпретация // Тихоокеан. геология. 2011. Т. 30, № 2. С. 58–74.
23. Петров А.В., Юдин Д.Б., Хоу Сюели. Обработка и интерпретация геофизических данных методами вероятностно-статистического подхода с использованием компьютерной технологии «КОСКАД 3D» // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2010. № 2. С. 126–132.
24. Рассказов С.В., Логачев Н.А., Кожевников В.М., Яновская Т.Б. Ярусная динамика верхней мантии Восточной Азии: соотношение мигрирующего вулканизма и низкосторостных аномалий // Докл. АН. 2003. Т. 390, № 1. С. 90–95.
25. Ребецкий Ю.Л. Закономерности разрывообразования в земной коре и тектонофизические признаки метастабильности разломов // Геодинамика и тектонофизика. 2018. Т. 9, № 3. С. 659–652.
26. Романюк Т.В., Власов А.Н., Мнушкин М.Г., Михайлова А.В., Марчук Н.А. Реологическая модель и особенности напряженно-деформированного состояния региона активной сдвиговой разломной зоны на примере разлома Сан-Андреас (Калифорния). Статья 2. Тектонофизическая модель литосферы // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2013. Т. 88, Вып. 2. С. 3–17.
27. Сафонов Д.А., Нагорных Т.В., Коваленко Н.С. Сейсмичность региона Приамурья и Приморья. Южно-Сахалинск: ИМГиГ, 2019. 104 с.
28. Семинский К.Ж. Внутренняя структура континентальных разломных зон. Тектонофизический аспект. Новосибирск: Изд-во СО РАН, Фил. «ГЕО», 2003. 244с.
29. Семинский К.Ж., Радзиминович Я.Б. Сейсмичность юга Сибирской платформы: пространственно-временная характеристика и генезис // Физика Земли. 2007. № 9. С. 18–30.
30. Семинский К.Ж., Гладков А.С., Вахромеев А.Г., Черемных А.В., Бобров А.А., Когут Е.И. Разломы и сейсмичность юга Сибирской платформы: особенности проявления на разных масштабных уровнях // Литосфера. 2008. № 4. С. 3–21.
31. Тевелев А.В. Структура и кинематика зон трансферных сдвигов // Вестн. МГУ. 2003. № 2. С. 3–18.
32. Тектоника, глубинное строение и минерагения Приамурья и сопредельных территорий / Отв. ред. Г.А. Шатков и др. СПб: ВСЕГЕИ, 2004. 190 с.
33. Тяпкин К.Ф., Кивелюк Т.Т. Изучение разломных структур геолого-геофизическими методами. М.: Недра, 1982. 239 с.
34. Тяпкин К.Ф. Изучение разломных и складчатых структур докембрия геолого-геофизическими методами. Киев: Наук. думка, 1986. 168 с.
35. Усиков В.И. Роль субгоризонтальных тектонических нарушений в формировании строения верхней части земной коры // Тектоника, глубинное строение и геодинамика Востока Азии: III Косыгинские чтения. Докл. Всерос. конф. Хабаровск, 23–25 января 2001. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 2001. С. 27–39.
36. Усиков В.И. 3-D – модели рельефа и строение верхней части земной коры Приамурья // Тихоокеан. геология. 2011. Т. 30, № 6. С. 14–32.
37. Уфимцев Г.Ф., Алексеенко С.Н., Онухов Ф.С. Морфотектоника Нижнего Приамурья // Тихоокеан. геология. 2009. Т. 28, № 6. С. 81–93.
38. Шевченко Б.Ф., Попеко Л.И., Диденко А.Н. Тектоника и эволюция литосферы восточной части Монголо-Охотского орогенного пояса // Геодинамика и тектонофизика. 2014. Т. 5, № 3. С. 667–682.
39. Шерман С.И. Физические закономерности развития разломов. Новосибирск: Наука, 1977. 102 с.

40. Шерман С.И., Борняков С.А., Буддо В.Ю. Области динамического влияния разломов. Новосибирск: Наука, 1983. 112 с.
41. Шерман С.И., Сорокин А.П., Черемных А.В. Новый подход к тектоническому районированию Приамурья по фрактальной размерности разломов земной коры // Докл. АН. 2001. Т. 381, № 3. С. 388–392.
42. Kasahara J., Sato T., Mochizuka K., Kobayashi. Paleotectonic structures and their influence on recent seismo-tectonics in the south Kuril subduction zone // The Island Arc. 1997. V. 6. P. 267–280.
43. Fujiwara T., Hirano N., Abe N., Takizawa K. Subsurface structure of the «Petit-spot» intra-plate volcanism, in the northwestern Pacific // JAMSTEC Report of Research and Development. 2006 V. 3. P. 31–42.
44. Zlatopolsky A. Description of texture orientation in remote sensing data using computer program LESSA // Computers & Geosci. 1997. V. 23, N. 1. P. 45–62.
45. Zhang L., Liu Z., Yang H., Wu J., Jian W., Li G. Gravity and magnetic field features and basement relief of the Sanjiang Basin in Heilongjiang Province, China // J. Geophys. and Engineering. 2012. N. 9. P. 147–161.
46. Wang K., Chen Sh., Lui L. Characteristics of transmission fault belt and its petroleum geological significance in the Tertiary basin of East part of Heilongjiang Province // Petrol. Geol. & Oil field Development in Daging. 1998. V. 17, N. 4. P. 1–3.

*Рекомендована к печати В.Г. Быковым
после доработки 15.12.2020 г.
принята к печати 22.01.2021 г.*

T.V. Merkulova, G.Z. Gil'manova, and S.A. Tusikova

Mapping of the NW-trending hidden faults from analysis of the relief and geophysical fields in the Priamurye region

The paper investigates indications of the NW-trending hidden faults in the Priamurye region. Four major fault zones and a series of lower-rank faults are mapped, which are indicated by lineaments of the relief, magnetic anomalies and arranged earthquake foci sequences. The NW-trending faults control the block divisibility of the upper part of the lithosphere in the region and are currently seismically active. Two NW-trending hidden faults are characterized by a considerable amount of the seismic energy released which should be accounted for in the seismic hazard assessment of the region.

Key words: hidden faults, lineaments, relief, magnetic anomalies, Priamurye.