

МОРФОСТРУКТУРНО-СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЯВЛЕНИЙ ОПАСНЫХ ЭНДОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО СЕКТОРА АРКТИКИ

Работа выполнена при поддержке гранта (проект № 44 П).

Освещены вопросы теории и практики морфоструктурно-сейсмогеологического анализа территории Дальневосточного сектора Арктики с учетом инженерно-геологических и физико-географических условий, влияющих на размещения и специфику опасных эндодинимических процессов и явлений. Комплексный анализ прямых и косвенных признаков современной эндодинимики региона на морфоструктурной основе позволил подтвердить и уточнить известные, а также выявить новые пространственные и очевидно генетические связи ряда преимущественно дизъюнктивных морфоструктур с проявлениями соответствующей активности.

Ключевые слова: морфоструктуры; инженерно-геологические и физико-географические условия; эндодинимическая опасность; ротационные движения; Дальневосточный сектор Арктики.

Введение

В «Основе государственной политики РФ...» и «Стратегии развития Арктической зоны РФ... до 2020 г.» в 2013 г. был изложен комплекс необходимых мер по ее освоению, который впоследствии был частично конкретизирован в материалах Научной сессии Общего собрания членов РАН и отделений РАН [1]. В этих и других документах отмечается важная роль изучения, в частности опасных эндодинимических процессов как составной части комплексного географического анализа устойчивого развития геосистем [2].

К современным опасным эндодинимическим процессам относят прежде всего сейсмичность, изученность которой в пределах дальневосточного сектора Арктики (ДВСА) зачастую оказывается недостаточной [3–8]. В данных условиях, по нашему мнению, целесообразен комплексный подход с использованием не только прямых, но и косвенных геолого-геофизических, геоморфологических (морфоструктурных) и некоторых физико-географических признаков эндодинимической опасности [9, 10].

Поскольку данная проблема многогранна, авторами пока рассмотрены следующие вопросы:

1. Общее обоснование методики комплексного морфоструктурно-сейсмогеологического анализа эндодинимической опасности с учетом влияния инженерно-геологических и физико-географических условий на проявление сейсмичности и эндодинимики ДВСА.

2. Региональные инженерно-геологические и физико-географические условия ДВСА.

3. Анализ инфраструктуры известных сейсмоопасных поясов и потенциально активных региональных морфотектонических образований и локальных типовых участков на морфоструктурной основе.

Вопросы методики. Распространено мнение, что эндодинимическая опасность – это степень сейсмичности, которую наиболее целесообразно определять по геолого-геофизическим данным о строении территории, историческим свидетельствам о землетрясениях и инструментальным измерениям. Карты сейсми-

ческого районирования обычно составляются по факту – самому сильному сейсмическому событию, без учета физико-географических (геоморфологических и др.) условий конкретного региона. Информативность соответствующих карт уменьшается для таких территорий, как ДВСА, где инструментальные измерения малочисленны, документированная история охватывает короткий временной период, а сейсмогеологические данные редки и неравномерны [3–10].

Мы считаем, что более корректное, а в ряде случаев и более эффективное определение эндодинимической опасности возможно, если построения ведутся комплексно на морфотектонической основе с учетом региональных инженерно-геологических и физико-географических условий. Базовыми для таких построений являются морфоструктурные карты. При выявлении и изучении морфоструктур и их картографировании осуществляется синтез данных о геологическом, глубинном, тектоническом, геоморфологическом, инженерно-геологическом, гидрогеологическом строении территории, современных процессах экзо- и эндодинимики, а также других физико-географических процессах и явлениях.

Сейсмическая балльность по шкале MSK-64, указанная на любых картах общего и детального сейсмического районирования (ОСР, ДСР), относится к «средним» талым и мерзлым грунтам. Однако она может существенно изменяться в зависимости от региональных и локальных физико-географических условий ДВСА, особенно в разных типах многолетнемерзлых пород (ММП). Согласно [11] по характеру проявления ММП выделено несколько ее типов, основные из которых: 1) островная мерзлота и мерзлота с островами таликов, где велика вероятность резонансных и кумулятивных явлений (сейсмическая балльность может увеличиваться от 1 до 3); 2) сплошная мерзлота преимущественно с твердомерзлыми грунтами (возможно снижение балльности на 1–2 балла); 3 – мерзлота двухслойная, где верхний слой – современная мерзлота, а также слой глубоко погребенной мерзлоты разделены слоем талых грунтов (может быть резкое искажение изосейсмального поля в широких пределах).

Помимо ММП на степень потенциальной эндодинамической опасности, хотя и в меньшей мере, влияют нивально-гляциальные образования (повышенная мощность снежного покрова и горных ледников, каменные глетчеры и др.), создающие дополнительную нагрузку, слоистость и неустойчивое состояние верхних горизонтов земной коры, а также крупные водохранилища, способствующие явлениям наведенной сейсмичности.

Экзогенные геологические процессы (ЭГП), так же как и землетрясения, извержения вулканов, проявления термальных источников подземных вод, относятся к геодинамическим процессам. На их распространение, типы и интенсивность влияют холодный и сырой арктический климат, вертикальная поясность в горах, специфичный ветровой и температурный режимы с неравномерными атмосферными осадками, гидрологические и другие условия, а также самое главное – характер пространственно-генетических связей морфологических и структурно-вещественных комплексов морфоструктур региона ДВСА [10, 12].

Таким образом, региональные особенности геолого-геоморфологического строения и ЭГП, а также физико-географические условия могут значительно усилить или ослабить проявления эндодинамических опасностей от землетрясений и наоборот (прямые и обратные связи). Если указанные факторы и условия имеют широкое распространение, а изученность прямых признаков сейсмичности недостаточна, то они должны учитываться не только при сейсмическом микрорайонировании (СМР), как считается в большинстве теоретических и практических разработок, но и при региональном ДСР, а также в комплексных оценках эндодинамической опасности [6, 9–12].

Распространение соответствующих типов ЭГП, ММП и других указанных процессов и явлений контролируется не только климатическими, но и морфоструктурными, инженерно-геологическими и другими особенностями строения ДВСА. Если акцентировать внимание именно на синергетическом аспекте взаимодействия, указанных выше составляющих, можно более корректно вести речь о интегральной оценке проявлений эндодинамической опасности. Покомпонентные методические приемы достаточно освещены в литературе [5, 6, 9, 11], а комплексный синергетический анализ еще слабо разработан. Поэтому ограничимся краткой характеристикой природных условий ДВСА, влияющих на оценку эндодинамической опасности региона, но сначала несколько слов о его границе.

Граница Арктической зоны РФ, в том числе и ДВСА, как известно, проведена согласно границам административных подразделений, имеющих выход к арктическим морям [1–2]. Однако она не совпадает ни с Северным полярным кругом, ни с главным водоразделом соответствующей мегавпадины, ни с геолого-геоморфологическими выделами. В наших же целях необходимо наиболее полно охватить как раз региональные геологические, геоморфологические и особенно морфоструктурные подразделения. Еще С.С. Воскресенский и др. [13] выделили как самостоя-

тельную геоморфологическую страну гор и равнин Северо-Восток СССР. Здесь низкогорья и среднегорья создают основной фон, а низменные равнины у берегов морей Лаптевых и Восточно-Сибирского имеют широкое, но относительно подчиненное распространение. Они сложены толщами рыхлых кайнозойских отложений, которые перекрывают пересеченный рельеф мезозойских и более древних образований, вскрывающихся в горных территориях. Впоследствии в пределах контуров геоморфологической страны выделена Яно-Колымская мега-морфоструктура центрального типа (мега-МЦТ) с радиально-концентрическими особенностями размещения геолого-геофизических и геоморфологических конформных комплексов [14, 15] (рис. 1).

Основные инженерно-геологические и физико-географические условия ДВСА. Арктическую зону РФ слагают континентальные, переходные и океанические инженерно-геологические (ИГ) структуры мега-, макро- и мезоуровней с преимущественно сплошным распределением ММП на суше, островными и тальми породами в прибрежных территориях, а также на дне акваторий [16] (см. рис. 1, таблицу).

В пределах континентальной части ДВСА это Яно-Колымская платформа с плитами и выступами (щитами), Верхояно-Чукотский, Полоусный, Улахан-Систский и Алазейский орогены, а также Момский рифт с отдельными звеньями. Приморская арктическая Яно-Индиговская и другие низменности в пределах платформенных образований отличаются широким развитием озер различного генезиса (а следовательно, сильным увлажнением грунтов, которое, как правило, увеличивает энергию сейсмических процессов) и одними из самых суровых на Земле физико-географических условий. Температура ММП здесь опускается до -13°C , мощность достигает 500 м, а в отдельных случаях – 1 500 м [16]. В орогенах мощность ММП доходит до 900 м, а в Момском рифте – до 1100 м, что определяется преимущественно резким горизонтальным и вертикальным расчленением рельефа и большими перепадами абсолютных высот.

На юго-западе, юго-востоке и юге ДВСА совместно распространены массивно-островные типы ММП и тальные породы с разной мощностью и количеством промежуточных горизонтов.

Относительно низкопорядковые инженерно-геологические структуры ДВСА отличаются сезонным протаиванием верхних частей разрезов с небольшими мощностями соответствующих пород: на плитах и щитах (от 0,1 до 1,5 м); вулканогенных, складчатых и массивных частях орогенов (от 100 м во впадинах до 900 м в пределах хребтов); в зоне Момского рифта (от 300–500 м во впадинах до 1100 м на горных территориях).

Переходные субаквальные ИГ структуры ДВСА простираются до 1 500 км, охватывая акваторию морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского (рис. 1). Шельф моря Лаптевых наиболее специфичен. Непосредственно у береговой черты он характеризуется сочленением платформенных и рифтовых ИГ структур с практически сплошным распространением

ММП и осадков (сезонно протаивающих на мелководных в верхних частях разреза), которые при удалении от берега замещаются преимущественно рифтовыми ИГ структурами с совместным распространением ММП и талых пород с осадками, а затем – распространением талых и немерзлых пород и осадков. Практически все Новосибирские острова и о. Врангеля – это останцовые возвышенности (блоки) с выходами на поверхность образований молодой платформы с распространением талых и немерзлых пород и осадков верхней части разреза.

В рассматриваемую нами территорию ДВСА фрагментарно входят прибрежные зоны и акватории Баренцева и Охотского морей. Переходные ИГ структуры здесь представлены подводными окончаниями прилегающих структур суши и моря с совместным распространением преимущественно талых и островных ММП с осадками, а чаще просто талых и немерзлых пород и осадков.

Арктические океанические ИГ структуры ДВСА фрагментарно представлены главным образом рифтом хребта Гаккеля с распространением талых и немерзлых пород и осадков, которые в верхних частях разреза сильно увлажнены. Рифт начал формироваться с конца палеоцена – верхнего эоцена сначала в режиме повышенных скоростей спрединга и потом его прекращения, затем спрединг медленно возобновился в конце плиоцена, а в настоящее время его скорость не превышает 0,5 см в год (ультрамедленный спрединг по [17]). Преобладающие здесь ИГ структуры мезоуровня – это поднятия и рифтогенные впадины без сезонного промерзания пород и осадков, мощность которых в рифтовой долине достигает до 6 км. Поскольку сопряженные ИГ структуры Тихоокеанской впадины практически не входят в состав ДВСА, то здесь и не рассматриваются.

Физико-географические условия ДВСА определяют протекание современных процессов эндогенного и экзогенного геоморфогенеза. Последние весьма разнообразны – от различных видов, типов и комплексов проявлений преобладающей денудации и аккумуляции до региональных и локальных процессов зонального, азонального, колебательного, автономного и синергетического характера развития [18, 19]. В отношении эндодинамической опасности различных территорий ДВСА имеет смысл обратить внимание на некоторые из них. Это прежде всего принципиально отличные волнообразные, сводово-блоковые и глыбовые поднятия и опускания, создающие соответствующие типы рельефа и морфоструктуры. На локальном уровне разнообразие аналогичных процессов многократно увеличивается вплоть до дифференцированных современных движений отдельных небольших морфотектонических блоков («клавишная» морфотектоника). В ряде районов и участков, о которых будет сказано ниже, имеет место несоответствие общих тенденций развития геоморфологических процессов или геодезических данных, что особенно актуально при оценке эндодинамических опасностей. Заслуживают внимание такие условия протекания современного геоморфогенеза, как вертикальная поясность,

например, в горных системах хребтов Черского, Верхоянского и др. Дело в том, что в средневысотном поясе (условно 1 500–2 500 м) преобладает высокая увлажненность, интенсивная расчлененность и эрозионная деятельность, которые выше и ниже часто значительно уменьшаются (изменяются качественно и количественно). В соответствующих условиях по-разному и с разной интенсивностью будут проявляться эндодинамические и экзодинамические процессы и их синергетические последствия. Подчеркнем также и немаловажное значение потенциальной наведенной сейсмичности, связанной, например, с искусственными водохранилищами (Колымское и Усть-Среднеканское) на р. Колыма.

Таким образом, инженерно-геологические структуры со своими структурно-вещественными комплексами, а также физико-географические условия, определяющие особенности распространения ММП и ЭГП ДВСА, отличаются большим разнообразием и сложной пространственной организацией, в частности чередованием талых и мерзлых горизонтов разной мощности, водонасыщенных пород и т.д. Все это в разной степени влияет на проявление сейсмических событий и в целом на эндодинамическую опасность исследуемого региона. В условиях недостаточной изученности прямых признаков сейсмичности следует учитывать отмеченные выше косвенные признаки и условия, а также морфоструктурные данные и критерии потенциальной современной эндодинамической активности морфоструктур и особенно инфраструктуру сейсмоактивных образований.

Инфраструктура современных эндодинамически активных морфоструктур ДВСА. Анализ имеющихся геологических, геофизических и геоморфологических данных о строении морфоструктур, карт и схем районирования [13–24], а также дополнительных характеристик, в частности разломно-блоковых морфоструктур ДВСА, позволил выявить периоды их активного развития и уточнить современную эндодинамическую опасность ДВСА. Как известно, почти половина территории ДВСА официально оценивается в 6–7 баллов как фоновая по шкале MSK 64 согласно ОСР-97-А, В, С [6].

Проведенные разными авторами целенаправленные сейсмогеологические и геофизические работы позволили создать соответствующие региональные модели и сделать вывод о значительно более высокой сейсмичности ДВСА. Наши исследования подтверждают и дополняют их. В частности, одним из основных выводов оказалось подтверждение глубокой унаследованности разломного каркаса региональных морфоструктур ДВСА с мезозоя по кайнозой вплоть до настоящего времени. Это позволяет считать их, наряду с другими косвенными признаками, потенциально сейсмоопасными даже при недостаточном количестве инструментальных и сейсмогеологических данных (см. рис. 2). На схеме совмещены аномалии сейсмической активности (A_{10}), мезозойские и кайнозойские разломы с преобладающими типами кинематики, повышенные градиенты силы тяжести, позднемиоценовые и кайнозойские вулканы, а также известные и предполагаемые нами современ-

менные эндодинамические режимы геоморфогенеза. Обнаруживается достаточно тесная пространственная и вероятно генетическая связь указанных признаков

эндодинамической активности с региональными морфоструктурами ДВСА, что подталкивает к решению и некоторых обратных задач.

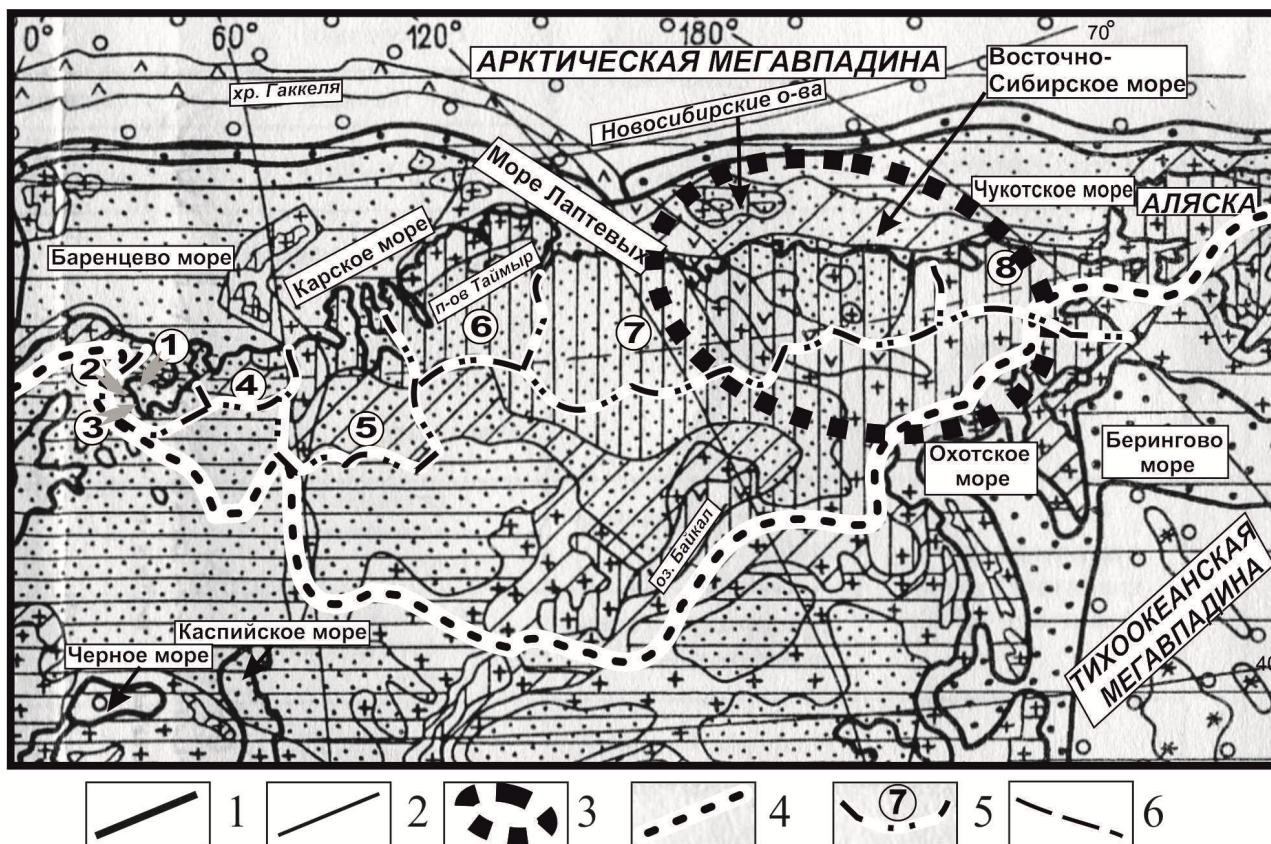


Рис. 1. Арктическая зона РФ в системе региональных инженерно-геологических структур по материалам [16] с контурами Яно-Колымской мегакольцевой морфоструктуры (мега-МЦТ) по [14, 15]: 1–2 – границы инженерно-геологических суперструктур (1) и мегаструктур (2); 3 – контуры Яно-Колымской мега-МЦТ; 4 – главный водораздел Арктического бассейна РФ и сопредельных государств; 5 – административные единицы РФ, граничащие с арктическими морями: Мурманская область (1), муниципальные районы Республики Карелия (2), Архангельской области (3), Ненецкого АО (4), Ямало-Ненецкого АО (5), районы Красноярского края (6), Республики Саха (Якутия) (7), Чукотского АО (8); 6 – северный полярный круг. Легенда к схеме приведена в табличной форме

Характеристика типов инженерно-геологических мегаструктур по [16]

Структуры неотектонические Структуры геологические климатогенные		1-го порядка		Континентальные			Переходные		Океанические		
		2-го порядка	платформы	орогены	рифты	Континентальные окраины		платформы	орогены	рифты	
						пассивные	активные				
1-го порядка	2-го порядка										
Субаэральные	с практически сплошным распространением ММП										
	с совместным распространением талых и ММП										
	с распространением талых и немерзлых пород										
Субакеальные	с практически сплошным распространением ММП и осадков										
	с совместным распространением талых и ММП и осадков										
	с распространением талых и немерзлых пород и осадков										

В первую очередь к зонам высокой эндодинамической опасности относятся фрагменты Момско-Верхояно-Колымского линеамента (МВКЛ), значительная часть которого совпадает с сейсмическим поясом Черского [4, 21]. Основными отличительными особенностями данной территории являются: 1) наличие не монолитных, а разных типов узких линейно упорядоченных систем чередующихся тектоногенно-магматогенных и тектоногенных горстообразных хребтов и грабенообразных впадин; 2) в осевой части МВКЛ преобладание цепочек расширяющихся и сужающихся рифтогенных впадин с относительно небольшими мощностями рыхлых кайнозойских (неоген-четвертичных) отложений по сравнению с рифтом хр. Гаккеля; 3) проявления признаков конформного сопряжения МВКЛ с дугообразными группировками в пределах сводово-депресссионной системы проседания центральной части, а также с веерообразными в плане рисунками расщепления горстов-хребтов и грабен-впадин во внешней относительно приподнятой части Яно-Колымской мега-МЦТ. При более детальном изучении инфраструктуры МВКЛ выделяется осевая и две периферийные продольные подзоны, несколько поперечных подзон, а также множество локальных морфоструктур центрального и линейного типов (МЦТ и ЛМ), отличающихся определенной автономией и разной степенью эндодинамической опасности.

Осевая продольная подзона (I) высокой эндодинамической опасности условно ограничена Момско-Селеняхской и Сеймчано-Буюндинской предположительно единой системой разломов. Подзона характеризуется максимальным сгущением субпараллельных разломов, сопряженных с МВКЛ, здесь сконцентрированы также низкопорядковые МЦТ, ЛМ и блоковые морфоструктуры, вместе образующие сложные группировки. При этом активные дизъюнктивные структуры выражены в основном граничными разломами высокоамплитудных горст-хребтов и грабен-долин. В осевой подзоне располагается большинство крупных и внесмасштабных кайнозойских впадин (грабенов) и геодзически подтвержденных современных поднятий и опусканий, пространственное размещение и строение которых определяется сложным взаимоотношением линейных и кольцевых разломов упомянутых морфоструктур. Так, общее простираание грабенов и разделяющих их горстов ориентировано согласно МВКЛ и в значительной степени дисимметрично относительно осевой плоскости подзоны. Большинство МЦТ и ЛМ сформировалось главным образом в мезозое – раннем кайнозое, а в настоящее время они или «впаяны» в более крупные линейные блоки, испытывавшие преимущественно высокоамплитудные сдвиги по крупным разломам, или сами имеют признаки автономных ротационных вращений, в том числе и субвертикальных движений, будучи заключенными между блоками или разломами МВКЛ.

Периферийные продольные подзоны (II) умеренной эндодинамической опасности окружают осевую подзону, а их внешние границы условно проходят по системам разломов вдоль Индигиро-Зырянской (с севе-

ра) и прерывистых локальных впадин и разлом-долин (с юга). Для этих подзон характерно следующее: 1) относительно меньшая концентрация субпараллельных разломов МВКЛ с относительно малоамплитудными сдвигами; 2) МЦТ и изометрично-блоковые морфоструктуры реже имеют признаки ротационного генезиса; 3) разнопорядковые ЛМ не всегда устойчиво вытянуты согласно МВКЛ и часто образуют узлы веерообразного и дугообразного расщепления крупных разломов, дисимметрично ориентированные относительно осевой части МВКЛ.

Поперечные подзоны (III) высокой эндодинамической опасности являются главным образом фрагментами радиально-концентрических глубинных разломных зон Яно-Колымской мега-МЦТ [14, 15]. Специфической особенностью их в пределах зоны МВКЛ можно назвать: признаки разно ориентированного смещения отдельных мозаичных блоков («клавишная» морфотектоника), а также дополнительные их виргации и клиновидные (или в виде «конского хвоста») группировки. В целом же в зонах глубинных разломов Яно-Колымской мега-МЦТ наиболее типичны субвертикальные, реже горизонтальные тектонические движения блоков по каркасным разломам как мега-МЦТ, так и более низкопорядковых морфоструктур. Как правило, это вызвано магматической адвекцией [22] в связи с развитием вулканических и плутонических, а также магматогенно-сводовых морфоструктур. Они наиболее активно формировались в основном в мезозое – кайнозое, а в настоящее время (ввиду оставшихся плотностных неоднородностей или сосдвиговых, термофлюидных и других напряжений) испытывают дифференцированные движения, активизируя каркасные разломы морфоструктур. Интенсивность соответствующих субвертикальных и горизонтальных движений усиливается, а тип движений усложняется, если эти морфоструктуры оказываются в зонах эндодинамического влияния МВКЛ или других региональных морфоструктур. К последним относятся также зоны растяжений земной коры вдоль сопряжения континента и окраинных морей [15, 18, 19, 21].

Кольцевые эндодинамически высокоопасные, предположительно ротационные морфоструктуры (РМ) выявляются чаще при крупномасштабных построениях и в основном группируются вдоль крупных сдвиговых разломных зон МВКЛ. Из всего их множества можно выделить три основных морфогенетических подтипа, условно названных массивными, вихревыми и пучковыми ротационными морфоструктурами. Основная морфотектоническая природа первых, вероятно, связана с круговой ротацией жестких изометричных массивов, вторых – с вихревой ротацией блоков консолидированного основания, третьих – с сосдвиговой пучкообразной ротацией отдельных глыбовых блоков в виде «конского хвоста». При этом, в отличие от сводовых магматогенных МЦТ [25], здесь тектоногенная составляющая зачастую значительно преобладает над магматогенной, а пространственно-временное омоложение конформных комплексов горных пород имеет в основном центростремительный вид (типа «смерча»), а не центробежный, как у сводо-

вых. Кроме того, эволюция магматических комплексов в РМ зачастую имеет антидромный характер (от кислых к основным разностям), тогда как в сводовых, наоборот, гомодромный. Каждый подтип подразделяется на несколько видов в зависимости от начальной, средней и зрелой стадий их развития, соответствующих слабой, средней и высокой амплитуде вращения РМ [25–27].

Типовые участки потенциально опасных эндо-динамических режимов ДВСА. Основными сейсмогенерирующими структурами ДВСА являются сейсмический пояс Черского, а также Корякская и Чукотская сейсмические зоны. Согласно преимущественно данным о фокальных напряжениях изученных землетрясений [4, 7, 28] в сейсмическом поясе Черского ранее выделены следующие сегменты с преобладающим субгоризонтальным геодинамическим режимом: Лаптевоморский (спрединг), Хараулахский (переходная область от растяжения к сжатию), Яно-Индигирский (надвиги, взбросо-сдвиги, сдвиги), Индигиро-Колымский (сдвиги). Морфоструктурно-сейсмогеологические данные дополнительно выявили систему активных разломно-блоковых морфоструктур и дифференцированные характеристики эндодинамики, в том числе и значительные субвертикальные движения на каждом из участков (см. рис. 2, 3).

Лаптевоморский сегмент (продолжение рифта хр. Гаккеля) в геологических и геоморфологических структурах (рис. 3, А, Б, В) в продольном направлении соответствует эндодинамической модели «растущей трещины» [27, 29] со следующими типовыми участками (см. рис. 2): А – клинообразная структура рифта с уменьшением скорости океанического спрединга [4], Б – изометричная аномалия сейсмической активности на конце «трещины» в подножье материкового склона, В – система веерообразных и дуговых группировок известных и предполагаемых (узкие подводные долины) кайнозойских грабенов и разломов шельфа (рассеянный рифтинг по [4, 17]). При этом поперечный трансрегиональный (Хатангско-Бофортский) и разнонаправленные сдвиги трансформного типа, пересекающие рифтогенные впадины (по нашим данным, это фрагменты внешней зоны дуговых разломов Яно-Колымской мега-МЦТ), усложняют поля эндодинамических напряжений, что отражается в сложном эпицентральных поле землетрясений и проявлениях новейшего (менее 1 млн лет) вулканизма островов Де Лонга [6, 30], а также подтверждают предположение общего ротационного вращения всей мега-МЦТ или ее частей преимущественно по часовой стрелке (унаследованно с мезозоя по кайнозой) (рис. 2) [22].

В пределах **Хараулахского сегмента** Г (рис. 3, Г) дополнительно выявлены линейные и дуговые активные разломно-блоковые морфоструктуры с признаками разноамплитудных субвертикальных и субгоризонтальных движений. В частности, блок 1 поднят относительно 2 по разлому, освоенному протокой Б. Туматская. На побережье губы Буор-Хая к востоку от Хараулахского хребта (к югу от пос. Тикси) выявлены современные, в значительной степени унаследо-

ванные с позднего мела, взбросо-сдвиги вдоль субмеридионального Севастьяновского шарьяжа [31, 32]. Тектонические пластины последнего при этом оказались повернутыми наподобие ротационных вращений. Активные новейшие (голоценовые) вертикальные тектонические движения со скоростями 3–5 мм/год вдоль разломов, ограничивающих локальные рифтогенные впадины, были выявлены по датировкам поднятых береговых линий с использованием данных о современных движениях (повторных нивелировок, наблюдений на уровнемерных постах и др.). В целом установлено, что западная часть области суши Лаптевоморского шельфа испытала в голоцене относительное поднятие, а глубоководные восточные шельфовые области – опускание [32].

Яно-Индигирский сегмент МВКЛ (рис. 3, Д, Е) состоит из участка Д, отличающегося относительно меньшей концентрацией активных поперечных разломов Яно-Колымской мега-МЦТ, а также участка Е (рис. 2), где их концентрация выше, дополнительно появляются радиальные разломы и сейсмодислокации [5], а МЦТ имеют признаки разноориентированных ротационных вращений (7 – по часовой, 8 – против часовой стрелки). Последнее может быть причиной «инденторной» инверсии поля напряжений вблизи хр. Андрей-Тас [28]. В ряде случаев отмечается несоответствие геоморфологических и геодезических данных, однако последних вообще крайне мало и они не всегда подтверждаются повторными наблюдениями.

Индигиро-Колымский сегмент (рис. 3, Ж, З, И) включает три участка, которые характеризуют специфику эндодинамики сочленения МВКЛ с внутренней Ж и внешней З, И (рис. 2) концентрическими зонами мега-МЦТ. В последних еще и отмечаются позднемиоценовые – кайнозойские вулканы, рои сейсмодислокаций и южные границы распространения ММП, усиливающие сейсмическую опасность (совместное присутствие сплошной и островной мерзлоты, а также талых горизонтов). Кроме того, на участке Ж (рис. 2) расположен эпицентр наиболее сильного в регионе (9 баллов) Артыкского землетрясения (7) и кайнозойский вулкан Балаган-Тас (6) [4, 7]. При этом, по-видимому, не случайно здесь аномально сконцентрированы группировки разломов в виде «встречных дуг», а также вихревых (рис. 3, Ж, номер 3) и пучковых (рис. 3–4, номер 6) РМ.

Участки К, Л, М формально относятся к **Корякско-Чукотской фланговой ветви Тихоокеанского пояса** [8, 33] (Корякская и Чукотская сейсмические зоны), которая по морфоструктурным и другим данным соединяется с сейсмическим поясом Черского и одновременно является внешним дуговым фрагментом Яно-Колымской мега-МЦТ (рис. 2; 3, К, Л, М). Чукотский полуостров и прилегающий шельф (прогиб Хоуп и рифтогенная впадина Колочинской губы) характеризуются активной новейшей тектоникой и высокой сейсмической активностью (A_{10}), что подтверждают многочисленные очаги близповерхностных землетрясений (преимущественно до 10 км глубиной) магнитудой 5–6, 9 и энергетическим классом 10 с частотой иногда несколько раз в год [34, 35]. В пределах южной части полуострова (Провиденский горный мас-

сив) обнаружены признаки крупных палеосейсмодислокаций (плейстоценовая зона до 30 км радиусом) с каменными глетчерами и мощными ледово-грунтовыми телами аномальной морфологии, разбитыми системами активных трещин (цит. по: [36]). Участки **к**, **м** на рис. 2, кроме того, отличаются аномально высоким проявлением источников термальных вод, что дополнительно к вышесказанному позволяет предполагать там эндодинамически высокую активность и совмещение режимов растяжения и, возможно, рассеянного рифтинга [37]. На участке **л** еще присутствуют и кайнозойские вулканы, РМ и

южная граница распространения прерывистой и массивно-островной мерзлоты. Соответствующие морфотектонические построения и потенциально высокая эндодинамическая активность разломно-блоковых морфоструктур подтверждены детальными геологическими, сейсмогеологическими и геоморфологическими работами, в том числе и критическим анализом парагенетической связи достоверных и предполагаемых палеосейсмодислокаций, а также каменных глетчеров с эпицентрными полями крупных Халилинского (1991 г.) и Олюторского (2006 г.) землетрясений [33–36, 38].

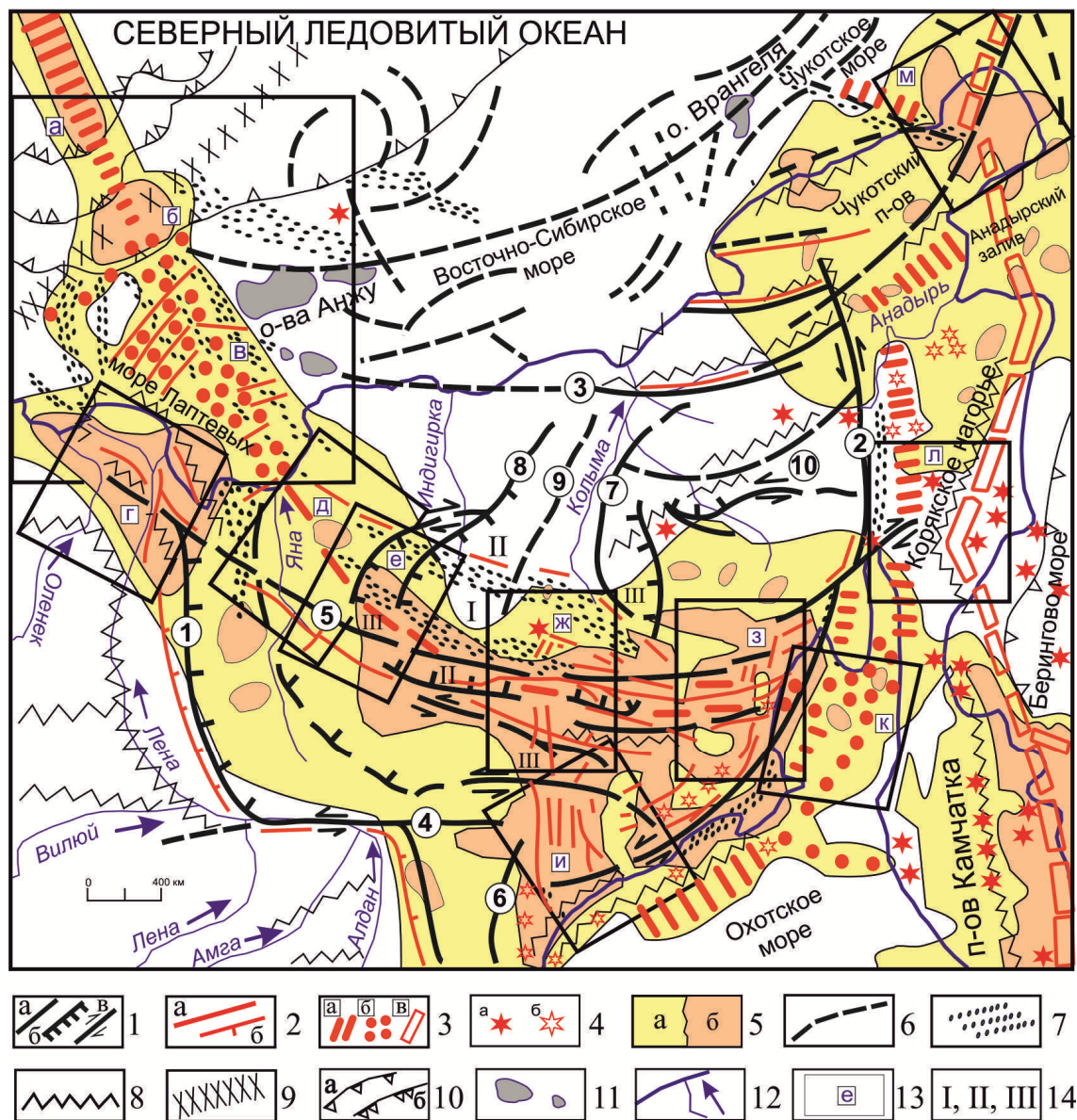


Рис. 2. Схема эндодинамической активности разломов Дальневосточного сектора Арктики (составлена с использованием материалов [4–8, 22]): 1 – преимущественно мезозойские разломы сбросового (*а*), надвигового (*б*) и сдвигового (*в*) типов; 2 – кайнозойские сейсмоактивные (?) разломы преимущественно сдвигового (*а*) и надвигового (*б*) типов; 3 – разломные зоны сейсмических поясов с разной эндодинамикой (*а*, *б*, *в*) (пояснения в тексте); 4 – кайнозойские (*а*) и позднемиоценовые – кайнозойские (*б*) вулканы; 5 – зоны умеренной (*а*), высокой (*б*) сейсмической активности (А10); 6 – разломы, предполагаемые преимущественно в акватории; 7 – достоверные и предполагаемые рифтогенные позднекайнозойские впадины; 8 – зоны высоких градиентов силы тяжести; 9 – Хатангско-Бомфортский трансрегиональный разлом; 10 – уступы и перегибы бровки континентального склона (*а*) и его подножья (*б*); 11 – крупные острова; 12 – береговая линия и речная сеть; 13 – контуры участков; 14 – инфраструктурные подзоны. Цифрами в кружках обозначены дизъюнктивные структуры: Лено-Алданская (1), Охотско-Анадырская (2), Южно-Ануйская (3), Право-Алданская (4), Яно-Момская (5), Билякчанская (6), Колымская (7), Полоусненская (8), Алазея-Чукотчинская (9), Мологдинская (10)

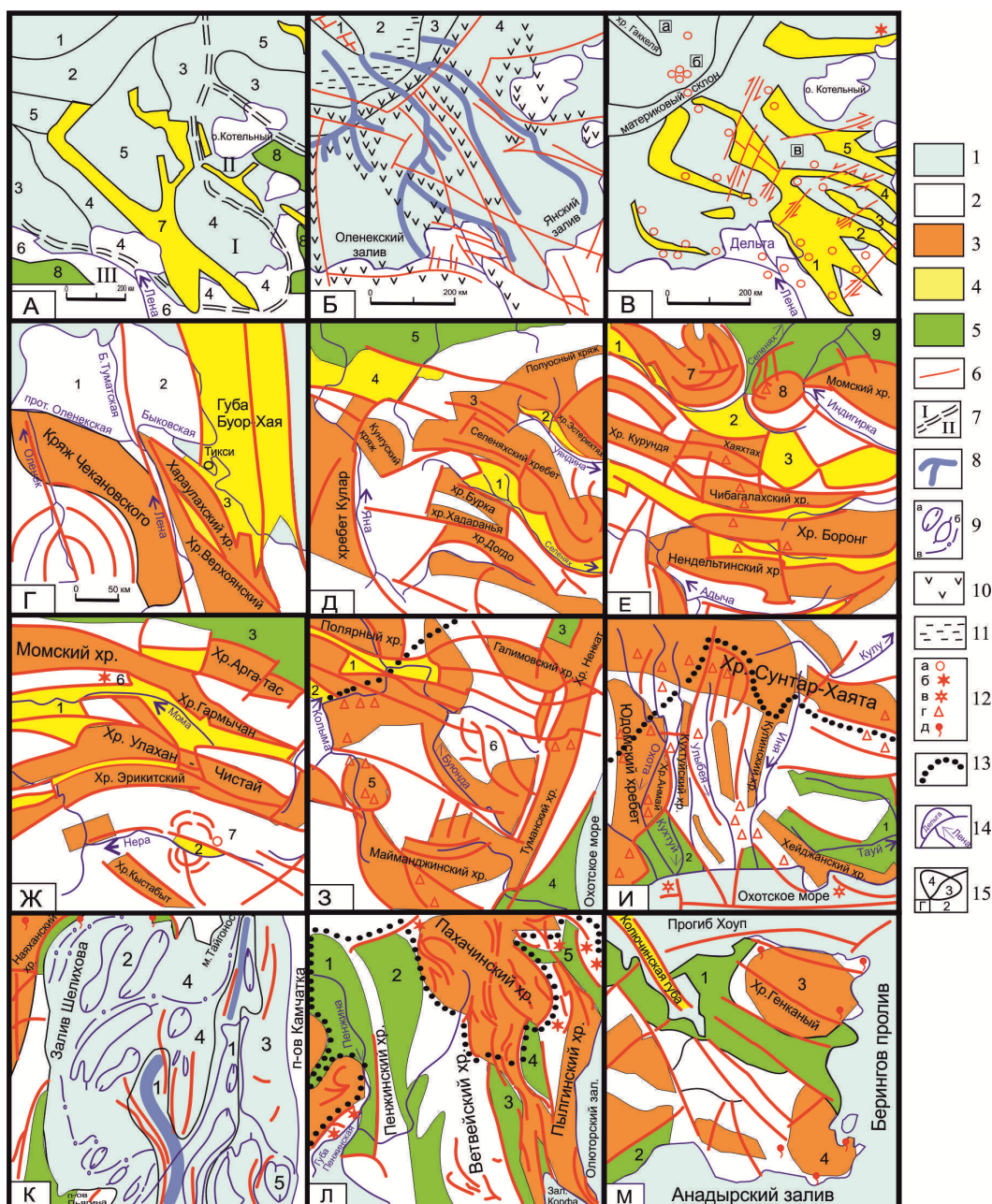


Рис. 3. Типовые участки эндодинамических режимов: 1 – акватория; 2 – блоковые морфоструктуры слабоамплитудных поднятий или опусканий; 3 – блоковые морфоструктуры высокоамплитудных поднятий; 4 – кайнозойские рифтогенные грабены; 5 – кайнозойские прогибы и впадины; 6 – кайнозойские активные разломы; 7 – флексурно-разломные границы плит по [38]; 8 – затопленные речные долины по [19, 37, 38]; 9 – подводные ложбины (а), поднятия (б), древние береговые линии (в); 10 – участки повышенных градиентов мощности криолитозоны дна экваторий; 11 – пояса талых пород континентальной окраины; 12 – характерные проявления эндогенной активности (описанные в тексте): эпицентры землетрясений (а), кайнозойские (б) и позднемеловые-кайнозойские (в) вулканы, сейсмодислокации (г), гидротермы (д); 13 – северная граница распространения островных и талых типов ММП; 14 – береговая линия и речная сеть; 15 – характерные морфоструктурные элементы (в рамках А–М). Цифрами обозначены: А – геологические структуры [38]: осевая рифтовая система моря Лаптевых (I), периферийные выступы киммерийской (II) и мезозойской (III) складчатости, фрагменты абиссальной рифтовой впадины (I) и материкового склона (2), окраинно-материковые прогибы (3), структурные террасы (4), погребенные сводовые поднятия (5), надводные горы (6), преимущественно подводные рифтогенные желоба и грабены, выполненные осадками (7), кайнозойские тектонические депрессии (8). Б – геоморфологические структуры [18, 19, 38]: сводовое поднятие срединно-океанического хребта (I), глубоководная впадина (2), континентальный склон (3), шельф континентальной окраины (4). В – кайнозойские сейсмостектонические рифты [7]: Усть-Ленский (I), Усть-Янский (2), Чондонский (3), Широстонский (4), Бельковско-Святоносский и Ляховский (5). Г – малоамплитудные блоки современного воздымания (I) и опускания (2), Севастьяновский шарьяж (3) [31, 32]. Д – Селеняхский (I), Уядинский (2), Усть-Янский (4) грабены, внесмасштабные веерообразные группировки локальных впадин и разлом-долин (3), Яно-Индиго-Зырянский прогиб (5). Е – Селеняхский (I), Кыринский (2), Нижнеомский (3) грабены, Томмотский (7) и Андрей-Тасский (8) горные изометрические массивы (PM); Индиго-Зырянский прогиб (9). Ж – Верхнеомский (I) и Верхненерский (2) грабены, Индиго-Зырянский прогиб (3), эпицентр Артыкского землетрясения (7), вулкан Балаган-Тас (6). З – Сеймчано-Буондинский (I) и Тасканский (2) грабены, Верхнесугойская (3) и Ямская (4) впадины, Бахапчинский горный массив (5), Буондинская ротационная МЦТ (6). И – Тауйская (I) и Охото-Кухтуйская (2) впадины. К – Гижигинский (I), Кыринский (2), Восточно-Шелиховский (3), Вымпольский (5) прогибы, Тайгонско-Пьянинское поднятие (4) по [37]. Л – Пенжинская (I), Парампольская (2), Вывенская (3), Пылговаямская (4), Ачайваямская (5) впадины по [33]. М – впадины Колочинская (I) и залива Креста (2), цокольная возвышенность массива Дауркин (3), Провиденский горный массив (4). Линейный масштаб на врезках Г–М одинаков

Установлено, что аномально высокое размещение каменных глетчеров, несомненно, связано с повышенной сейсмической активностью отдельных геоструктурных элементов Пылгинского и Ветвейского хребтов. Вместе с тем основная часть глетчеров связана с морфоклиматическими процессами. Поэтому предполагаемые по дистанционному картированию палеосейсмодислокации, имеющие некоторые конвергентные морфологические признаки с каменными глетчерами, требуют полевых подтверждений и возрастных датировок (цит. по: [36]).

Заканчивая описание опасных эндодинамических процессов, необходимо подчеркнуть такую, на наш взгляд, принципиально важную особенность, характерную для большинства отмеченных зон, подзон и участков МВКЛ и всего ДВСА (на крупномасштабных построениях особенно): дуговые и кольцевые разломы, по-видимому, являются одними из наиболее эндодинамически опасных зон, так как именно они зачастую фиксируют кульминационные стадии развития морфоструктур центрального и линейного типов. К такому выводу авторов привели не только вышепредставленные материалы, но и многочисленные собственные исследования на юге Дальнего Востока и литературные данные наблюдений на природных объектах и экспериментальных моделях. А именно: кольцевые разломы магматогенных МЦТ образуются в период их кардинальной тектонической перестройки (опустошение глубинных и близповерхностных очагов и обрушение надочаговых построек); дугообразные разломы РМ возникают при критических напряжениях сдвиговых и вращательных движений на границах монолитно-целостных линейных и изометричных блоков; дуговые тектонические нарушения в зонах растяжений континентальных окраин, мега-МЦТ и окраинных морях часто формируются при максимальной степени гравитационной и сейсмогравитационной деструкции этих структурно предопределенных зон; кольцевые и веерообразные разломы взрывообразно возникают «на конце растущей трещины» – как релаксация напряжений растяжения и т.д. [26, 27, 29].

Заключение

Обоснован методический подход и выполнены морфоструктурно-сейсмогеологические исследова-

ния по комплексному изучению современной эндодинамической опасности территории ДВСА. Дана характеристика инженерно-геологических и физико-географических (ММП, ЭГП и др.) условий региона, влияющих на проявления эндодинамической (сейсмической) опасности. Уточнены особенности инфраструктуры сейсмоактивных поясов, зон и типовых участков ДВСА. Установлены связи ряда морфоструктур с прямыми признаками сейсмической активности (эпицентры землетрясений и палеосейсмодислокации), а также с косвенными признаками и инженерно-геологическими и физико-географическими условиями региона (повышенные градиенты аномалий силы тяжести, различные типы ММП, современные проявления гидротермальных источников подземных вод и др., а также различные формы аномально высоких эндогенных геоморфологических процессов). В результате основными зонами потенциальной эндодинамической опасности оказались те морфоструктуры и морфотектонические участки, в пределах которых происходили неоднократные накопления и релаксации напряжений сжатия, растяжения или сдвига в пределах долгоживущих с мезозоя по кайнозой каркасных глубинных разломов преимущественно высокопорядковых морфоструктур, а также сопряженных с ними локальных МЦТ и ЛМ. Среди локальных морфоструктур особенно опасными в эндодинамическом отношении являются те, которые характеризуются комплексными признаками автономных субгоризонтальных и вертикальных ротационных вращений, «клавишной» морфотектоники и несоответствия геоморфологических и геодезических данных. При оценке эндодинамической опасности необходимо по возможности наиболее полно учитывать весь комплекс инженерно-геологических, физико-географических и особенно морфоструктурных критериев и их синергетический эффект.

Проведенные исследования, с одной стороны, уточняют и дополняют имеющиеся материалы по указанной проблеме и должны использоваться не только при микросейсмическом районировании локальных территорий ДВСА, но и при ДСР всего региона, а с другой – требуют дальнейших доработок и детализаций как в теории, так и в практике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Научно-технические проблемы освоения Арктики / РАН. М. : Наука, 2015. 490 с.
2. Бакланов П.Я., Романов М.Т. Геополитические факторы долгосрочного развития Арктических районов России // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2015. № 1. С. 95–99.
3. Fujita K., Stone D., Lauer P.W. et al. Cooperative program helps decipher tectonics of Northeastern Russia // EOS. Trans. Amer. Geophys. Union. 1997. Vol. 78, № 24. P. 245, 252–253.
4. Геодинамические модели сейсмических поясов Якутии. Препринт / Л.М. Парфенов, Б.М. Козьмин, О.В. Гриненко, В.С. Имаев, Л.П. Имаева. Якутск : Изд-во Якут. филиала СО АН СССР, 1987. 48 с.
5. Важенин Б.П. Принципы, методы и результаты палеосейсмогеологических исследований на Северо-Востоке России. Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2000. 205 с.
6. Сейсмические опасности. Тематический том / под ред. Г.А. Соболева. М. : КРУК, 2000. 296 с.
7. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). М. : МАИК «Наука / Интерпериодика», 2001. 571 с.
8. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. Кн. 1 / под ред. А.И. Ханчука. Владивосток : Дальнаука, 2006. С. 47–92.
9. Олейников А.В., Олейников Н.А. Палеосейсмогеология. Владивосток : Дальнаука, 2009. 164 с.
10. Мясников Е.А. Сейсмическая опасность Дальнего Востока России по морфоструктурным данным // Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии : сб. докл. Благовещенск : ИГИП ДВО РАН, 2010. С. 30–31.

11. *Сейсмическое районирование Восточной Сибири и его геолого-геофизические основы* / отв. ред. В.П. Солоненко. Новосибирск : Наука, 1977. 302 с.
12. *Хосташвили Г.Р.* Экзогенные геологические процессы и сейсмичность // Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе : материалы Всесоюз. совещ. Иркутск : ИЗК СО РАН, 2012. Т. 1. С. 121–123.
13. *Геоморфологическое районирование СССР и прилегающих морей* : учеб. пособие для вузов / С.С. Воскресенский, О.К. Леонтьев, А.И. Спиридонов и др. М. : Высш. Школа, 1980. 343 с.
14. *Соловьев В.В.* Структуры центрального типа территории СССР по данным геолого-морфологического анализа: объяснительная записка к карте морфоструктур центрального типа м-ба 1:10 000 000. Л. : ВСЕГЕИ, 1978. 110 с.
15. *Кулаков А.П.* Морфоструктура Востока Азии. М. : Наука, 1986. 175 с.
16. *Трофимов В.Т., Аверкина Т.И.* Теоретические основы региональной инженерной геологии. М. : ГЕОС, 2007. 463 с.
17. *Хайн В.Е., Ломизе М.Г.* Геотектоника с основами геодинамики. М. : Изд-во МГУ, 1995. 480 с.
18. *Геоморфологическая карта СССР*. М 1:2500000 / гл. ред. И.П. Герасимов. М., 1987.
19. *Карта современной динамики рельефа северной Евразии (в пределах России и сопредельных стран)*. М 1:5000000 / гл. ред. В.М. Котляков. М., 2003.
20. *Уфимцев Г.Ф.* Тектонический анализ рельефа (на примере Востока СССР). Новосибирск : Наука, 1984. 183 с.
21. *Мясников Е.А., Худяков Г.И.* Типы и эндодинамика морфоструктур северо-востока Азии // География и природные ресурсы. 2010. № 2. С. 19–26.
22. *Кузнецов В.М.* Делимость земной коры северо-востока Азии: структурно-вещественные комплексы, дизъюнктивные дислокации : автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук. Магадан, 2002. 55 с.
23. *Лопатин Д.В.* Морфотектоника северо-восточной Азии // Геоморфология. 2003. № 2. С. 3–9.
24. *Смирнов В.Н.* Морфотектоника областей горообразования Северо-Востока Азии : автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. М., 1995. 41 с.
25. *Мясников Е.А.* Магматические и рудоконтролирующие морфоструктуры центрального типа (на примере Верхнего Приамурья). Владивосток : Дальнаука, 1999. 84 с.
26. *Шахтыров В.Г.* Морфоструктуры центрального типа в сдвиговых зонах Северо-Востока СССР // Морфотектонические системы центрального типа Сибири и Дальнего Востока. М. : Наука, 1988. С. 102–106.
27. *Hoagland R.G., Rosenfield A.K., Hahn G.T.* Mechanisms of Fast Fracture and Arrest in Stels // Metallurg. Transact. 1972. Vol. 3, № 1. P. 123–136.
28. *Имаева Л.П., Имаев В.С., Козьмин Б.М., Смекалин О.П.* Закономерности сейсмотектонической деструкции сейсмического пояса Черского // Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе. Иркутск : ИЗК СО РАН, 2012. Т. 2. С. 28–31.
29. *Мясников Е.А.* О природе дислокаций и кольцевых гидротермальных проявлений (некоторые материалы физического моделирования) // Вихри в геологических процессах / ред. А.В. Викулин. Петропавловск-Камчатский : Изд-во Камчат. гос. пед. ун-та, 2004. С. 222–228.
30. *Новейший и современный вулканизм на территории России*. М. : Наука, 2005. 305 с.
31. *Большаинов Д.Ю., Макаров А.С., Шнайдер В., Штоф Г.* Происхождение и развитие дельты реки Лены. СПб. : ААНИИ, 2013. 268 с.
32. *Баранская А.В.* Роль новейших вертикальных тектонических движений в формировании рельефа побережий Российской Арктики : автореф. ... дис. канд. геогр. наук. СПб., 2015. 26 с.
33. *Егоров О.Н.* Геодинамика и палеосейсмичность фланговой области северо-западного сектора зоны перехода Тихий океан – континент. М. : Наука, 2008. 186 с.
34. *Андреев Т.А., Мигович И.М., Смирнов В.Н.* Сейсмичность Северо-Востока СССР и её связь с геологическими структурами и неотектоникой // Геофизические исследования структуры и геодинамика земной коры и верхней мантии Северо-Востока СССР. Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1979. С. 113–117.
35. *Рогожин Е.А.* Сейсмотектоника зон сильнейших землетрясений России за 2003–2006 гг. // Национальный отчет международной ассоциации сейсмологии и физики недр Земли Международного геодезического и геофизического Союза Фонда Национального геофизического комитета РАН. М., 2007. С. 28–37.
36. *Галанин А.А.* Каменные глетчеры Северо-Востока России: строение, генезис, возраст, географический анализ : автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. Владивосток, 2009. 35 с.
37. *Бабошина В.А.* Комплексная интерпретация геолого-геофизических данных при изучении строения земной коры Охотского моря в связи с перспективами нефтегазоносности : автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Оха, 1984. 20 с.
38. *Павлидис Ю.И., Ионин А.С., Щербаков Ф.А., Дунаев Н.Н., Никифоров С.Л.* Арктический шельф. Позднечетвертичная история как основа прогноза развития. М. : ГЕОС, 1998. 187 с.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 15 июля 2015 г.

MORPHOSTRUCTURAL, GEOSEISMIC AND PHYSIOGRAPHIC ASPECTS OF ENDODYNAMIC DANGERS OF THE RUSSIAN FAR EAST ARCTIC REGION

Tomsk State University Journal, 2015, 400, 381–392. DOI: 10.17223/15617793/400/59

Myasnikov Evgeni A. Pacific Institute of Geography Far East branch of Russian Academy of Sciences (Vladivostok, Russian Federation). E-mail: paveleco@tig.dvo.ru

Sorokin Pavel S. Pacific Institute of Geography Far East branch of Russian Academy of Sciences (Vladivostok, Russian Federation). E-mail: paveleco@tig.dvo.ru

Keywords: morphostructure; engineering-geological and physiographic conditions; endodynamic danger; rotational movements; Far East Arctic region of Russia.

The article provides a brief substantiation of morphostructural seismological analysis with consideration of the impact of engineering-geological and physiographic conditions on endodynamic events of the Far Eastern Arctic region (such as territorial distribution and specificity of hazardous endodynamic processes and phenomena). The peculiarities of geological, engineering and physiographic conditions in the Far Eastern Arctic region are presented. The features of seismic zone infrastructure, zones and typical areas of the Far Eastern Arctic sector are clarified. The relationship of a number of morphological structures with direct signs of seismic activity (earthquake epicenters and paleoseismodislocations), as well as indirect signs and engineering, geological, physical and geographical conditions of the region (higher gradients of gravity anomalies, different types of permafrost, modern groundwater hydrothermal sources, as well as various forms of abnormally high endogenous geomorphological processes). As a result, the main sites of potential endodynamic hazard are morphostructural and morphotectonic areas, showing repeated accumulation and compression stress relaxation, tension or shift of mostly high-order morphological structures and associated local morphostructures of central and

linear type within long-lived deep Mesozoic-Cenozoic rifts. Among local morphostructures, particular endodynamic hazard is displayed by those with complex features of self-contained sub-horizontal and vertical rotations, "key" morphotectonics and inconsistencies in geomorphological and geodetic data. In assessing of endodynamic hazard, a full range of engineering, geological, physiographic and especially morphostructural criteria and their synergistic effect should be taken into account. Complex analysis of direct and indirect indicators of modern endodynamics of the Far Eastern Arctic region on a morphostructural basis facilitated determination and clarification of new spatial and genetic links of a number of disjunctive morphostructures with certain examples of related activity. There are revealed: 1) inherited activation of skeletal fractures in basic morphostructures from the Mesozoic to Cenozoic age and presently; 2) synergistic impact of predominantly horizontal movements of regional morphostructures and sub-vertical movements of local morphostructures within the typical areas; 3) the highest endodynamic danger is demonstrated by morphostructures with signs of variously oriented rotational movements, many of which are registered for the first time.

REFERENCES

1. RAS Authors. (2015) *Nauchno-tekhnicheskie problemy osvoeniya Arktiki* [Scientific and technical problems of the Arctic exploration]. Moscow: Nauka.
2. Baklanov, P.Ya. & Romanov, M.T. (2015) Geopolitical Factors of Long-Term Development of Russia's Eastern Arctic Regions. *Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo tsentra DVO RAN – Bulletin of the North-East Scientific Center, Russia Academy of Sciences Far East Branch*. 1. pp. 95–99.
3. Fujita, K. et al. (1997) Cooperative program helps decipher tectonics of Northeastern Russia. *EOS. Trans. Amer. Geophys. Union*. 78:24. pp. 245, 252–253.
4. Parfenov, L.M. et al. (1987) *Geodinamicheskie modeli seismicheskikh poyasov Yakutii*. Preprint [Geodynamic model of seismic zones of Yakutia. Preprint]. Yakutsk: Izd-vo Yakut. filiala SO AN SSSR.
5. Vazhenin, B.P. (2000) *Printsipy, metody i rezul'taty paleoseismogeologicheskikh issledovaniy na Severo-Vostoke Rossii* [Principles, methods and results of paleoseismogeological research in the North-East of Russia]. Magadan: SVKNII DVO RAN.
6. Sobolev, G.A. (ed.) (2000) *Seismicheskie opasnosti. Tematicheskii tom* [Seismic Hazard. A topical issue]. Moscow: KRUK.
7. Parfenov, L.M. & Kuzmin, M.I. (eds) (2001) *Tektonika, geodinamika i metallogeniya territorii Respubliki Sakha (Yakutiya)* [Tectonics, geodynamics and metallogeny of the Republic of Sakha (Yakutia)]. Moscow: Nauka / Interperiodika.
8. Khanchuk, A.I. (ed.) (2006) *Geodinamika, magmatizm i metallogeniya Vostoka Rossii* [Geodynamics, magmatism and metallogeny of Eastern Russia]. V. 1. Vladivostok: Dal'nauka.
9. Oleynikov, A.V. & Oleynikov, N.A. (2009) *Paleoseismogeologiya* [Paleoseismogeology]. Vladivostok: Dal'nauka.
10. Myasnikov, E.A. (2010) Seismicheskaya opasnost' Dal'nego Vostoka Rossii po morfostrukturnym dannym [Seismic hazard of the Russian Far East by morphostructural data]. In: *Voprosy geologii i kompleksnogo osvoeniya prirodnkh resursov Vostochnoy Azii* [Geology and Exploration of Natural Resources of Eastern Asia]. Blagoveshchensk: IGIP DVO RAN.
11. Solonenko, V.P. (ed.) (1977) *Seismicheskoe rayonirovaniye Vostochnoy Sibiri i ego geologo-geofizicheskie osnovy* [Seismic zoning of East Siberia and its geological and geophysical framework]. Novosibirsk: Nauka.
12. Khositashvili, G.R. (2012) [Exogenous geological processes and seismicity]. *Sovremennaya geodinamika Tsentral'noy Azii i opasnye prirodnye protsessy: rezul'taty issledovaniy na kolichestvennoy osnove* [Modern geodynamics of Central Asia and threatening natural processes: the results of research on a quantitative basis]. Proceedings of the All-Union meeting. V. 1. Irkutsk: IZK SO RAN. pp. 121–123. (In Russian).
13. Voskresenskiy, S.S. et al. (1980) *Geomorfologicheskoe rayonirovaniye SSSR i prilagayushchikh morey* [Geomorphological zoning of the USSR and adjacent seas]. Moscow: Vysshaya Shkola.
14. Solov'ev, V.V. (1978) *Struktury tsentral'nogo tipa territorii SSSR po dannym geologo-morfologicheskogo analiza: ob'yasnitel'naya zapiska k karte morfostruktur tsentral'nogo tipa m-ba 1:10 000 000* [The structures of the central type in the USSR according to the geological and morphological analysis: an explanatory note to the map of morphostructures of the central type at a scale of 1:10 000 000]. Leningrad: VSEGEI.
15. Kulakov, A.P. (1986) *Morfostruktura Vostoka Azii* [The morphostructure of East Asia]. Moscow: Nauka.
16. Trofimov, V.T. & Averkina, T.I. (2007) *Teoreticheskie osnovy regional'noy inzhenernoy geologii* [Theoretical foundations of regional geology]. Moscow: GEOS.
17. Khayn, V.E. & Lomize, M.G. (1995) *Geotektonika s osnovami geodinamiki* [Geotectonics with the basics of geodynamics]. Moscow: Moscow State University.
18. Gerasimov, I.P. (ed.) (1987) *Geomorfologicheskaya karta SSSR. M. 1:2500000* [The geomorphological map of the USSR. Scale 1: 2500000]. Moscow: GUGK.
19. Kotlyakov, V.M. (ed.) (2003) *Karta sovremennoy dinamiki rel'efa severnoy Evrazii (v predelakh Rossii i sopredel'nykh stran). M. 1:5000000* [Map of the current dynamics of relief in northern Eurasia (within Russia and neighboring countries). Scale 1: 5000000]. Moscow: IG RAN.
20. Ufimtsev, G.F. (1984) *Tektonicheskii analiz rel'efa (na primere Vostoka SSSR)* [The tectonic relief analysis (by example of the East of the USSR)]. Novosibirsk: Nauka.
21. Myasnikov, E.A. & Khudyakov, G.I. (2010) The types and endodynamics of morphostructures in northeastern Asia. *Geografiya i prirodnye resursy – Geography and Natural Resources*. 2. pp. 19–26. (In Russian).
22. Kuznetsov, V.M. (2002) *Delimost' zemnoy kory severo-vostoka Azii: strukturno-veshchestvennye komplekсы, diz'yunktivnye dislokatsii* [Dividability of the earth crust of Northeast Asia: the structural-material complexes, disjunctive dislocations]. Abstract of Geology and Mineralogy Dr. Diss. Magadan.
23. Lopatin, D.V. (2003) Morfotektonika severo-vostochnoy Azii [The morphotectonics of Northeast Asia]. *Geomorfologiya*. 2. pp. 3–9.
24. Smirnov, V.N. (1995) *Morfotektonika oblastey gorobrazovaniya Severo-Vostoka Azii* [Morphotectonics of mountain building areas of Northeast Asia]. Abstract of Geography Dr. Diss. Moscow.
25. Myasnikov, E.A. (1999) *Magmaticheskie i rudokontroliruyushchie morfostruktury tsentral'nogo tipa (na primere Verkhnego Priamur'ya)* [Magmatic and ore-controlling morphological structures of the central type (by example of the Upper Amur region)]. Vladivostok: Dal'nauka.
26. Shakhtyrov, V.G. (1988) Morfostruktury tsentral'nogo tipa v sdvigovykh zonakh Severo-Vostoka SSSR [Morphostructure of the central type in the shear zones of the Northeast of the USSR]. In: Shakhtyrov, V.G. et al. *Morfotektonicheskie sistemy tsentral'nogo tipa Sibiri i Dal'nego Vostoka* [Morphotectonic systems of the central type in Siberia and the Far East]. Moscow: Nauka.
27. Hoagland, R.G., Rosenfield, A.K. & Hahn, G.T. (1972) Mechanisms of Fast Fracture and Arrest in Steels. *Metallurg. Transact.* 3:1. pp. 123–136.
28. Imaeva, L.P. et al. (2012) Zakonomernosti seismotektonicheskoy destrukttsii seismicheskogo poyasa Cherskogo [Laws of seismotectonic destruction of the seismic belt Cherskogo]. In: Levi, K.G. (ed.) *Sovremennaya geodinamika Tsentral'noy Azii i opasnye prirodnye protsessy: rezul'taty issledovaniy na kolichestvennoy osnove* [Modern geodynamics of Central Asia and threatening natural processes: the results of research on a quantitative basis]. V. 2. Irkutsk: IZK SO RAN. pp. 28–31.
29. Myasnikov, E.A. (2004) O prirode dislokatsiy i kol'tsevykh gidrotermal'nykh proyavleniy (nekotorye materialy fizicheskogo modelirovaniya) [On the nature of dislocations and ring hydrothermal manifestations (some materials of physical modeling)]. In: Vikulin, A.V. (ed.) *Vikhri v geologicheskikh protsessakh* [Vortices in geological processes]. Petropavlovsk-Kamchatskiy: Kamchatka State Pedagogical University.

30. Laverov, N.P. (ed.) (2005) *Noveyshiyy i sovremennyy vulkanizm na territorii Rossii* [Modern and Holocene volcanism in Russia]. Moscow: Nauka.
31. Bol'shiyanov, D.Yu. et al. (2013) *Proiskhozhdenie i razvitie del'ty reki Leny* [The origin and development of the delta of the Lena River]. St. Petersburg: AANIL.
32. Baranskaya, A.V. (2015) *Rol' noveyshikh vertikal'nykh tektonicheskikh dvizheniy v formirovaniye rel'efa poberezhnykh Rossiyskoy Arktiki* [The role of the newest vertical tectonic movements in the formation of the Russian Arctic coasts relief]. Abstract of Geography Cand. Diss. St. Petersburg.
33. Egorov, O.N. (2008) *Geodinamika i paleoseysmichnost' flangovoy oblasti severo-zapadnogo sektora zony perekhoda Tikhyy okean – kontinent* [Geodynamics and paleoseismicity of the flanking region of the north-western sector of the transition zone the Pacific – the continent]. Moscow: Nauka.
34. Andreev, T.A., Migovich, I.M. & Smirnov, V.N. (1979) Seysmichnost' Severo-Vostoka SSSR i ee svyaz' s geologicheskimi strukturami i neotektonikoy [The seismicity of the North-East of the Soviet Union and its relation with geological structures and neotectonics]. In: Vashchilov, Yu.Ya. (ed.) *Geofizicheskie issledovaniya struktury i geodinamika zemnoy kory i verkhney mantii Severo-Vostoka SSSR* [Geophysical studies of the structure and geodynamics of the crust and upper mantle of the northeastern USSR]. Magadan: SVKNII DVO RAN.
35. Rogozhin, E.A. (2007) Seysmotektonika zon sil'neyshikh zemletryaseniy Rossii za 2003–2006 gg. [Seismotectonics of the zones of strong earthquakes of Russia for 2003–2006]. In: Zav'yalov, A.D. (ed.) *Natsional'nyy otchet mezhdunarodnoy assotsiatsii seysmologii i fiziki nedr Zemli Mezhdunarodnogo geodezicheskogo i geofizicheskogo Soyuzu Fonda Natsional'nogo geofizicheskogo komiteta RAN* [National report of the International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior of the International Union of Geodesy and Geophysics of the National Geophysical Committee RAS Foundation]. Moscow: Natsional'nyy geofizicheskii komitet RAN.
36. Galanin, A.A. (2009) *Kamennyye gletchery Severo-Vostoka Rossii: stroeniye, genezis, vozrast, geograficheskiy analiz* [Rock glaciers of the North-East of Russia: structure, genesis, age, geographic analysis]. Abstract of Geography Dr. Diss. Vladivostok.
37. Baboshina, V.A. (1984) *Kompleksnaya interpretatsiya geologo-geofizicheskikh dannykh pri izuchenii stroeniya zemnoy kory Okhotskogo morya v svyazi s perspektivami neftegazonosnosti* [Integrated interpretation of geological and geophysical data in the study of crustal structure of the Okhotsk Sea in connection with oil and gas potential]. Abstract of Geology and Mineralogy Cand. Diss. Okha.
38. Pavlidis, Yu.I. et al. (1998) *Arkticheskii shelf. Pozdnechetvertichnaya istoriya kak osnova prognoza razvitiya* [The Arctic shelf. Late Quaternary history as the basis of the development forecast]. Moscow: GEOS.

Received: 15 July 2015