

УДК 551.248(571.56)

ДИНАМИКА РЕЛЬЕФА И СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКАЯ АКТИВИЗАЦИЯ НОВЕЙШИХ СТРУКТУР ДЕЛЬТЫ р. ЛЕНА

Л.П. Имаева^{1, *}, Г.С. Гусев², В.С. Имаев^{1,3}

¹Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128

²Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов РАН, 121357, Москва, ул. Вересаева, д. 15

³Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, 677077, Якутск, пр. Ленина, д. 39

*e.mail: imaeva@crust.irk.ru

Поступила в редакцию 25.01.2019г., после исправления 11.04.2019г., принята в печать 28.05.2019г.

Проведен сейсмогеодинамический анализ новейших структур дельты р. Лена, которые являются ключевыми элементами тектонической эволюции переходной зоны шельф-континент Арктического сегмента границы Евразийской и Североамериканской литосферных плит. Геологическая структура дельты р. Лена определяется сочленением в ее пределах древней Сибирской платформы и мезозойской Лаптевоморской плиты, которые являются крупными разновозрастными геоблоками земной коры – они разделены фрагментом Хараулахского сегмента Верхоянской складчатой системы. С целью выявления закономерностей процессов сейсмоструктурной деструкции земной коры, мы проанализировали данные по геолого-геофизическому строению, активным разломам, новейшему структурному плану, динамическим характеристикам современного рельефа и гидрологическим особенностям перераспределения руслового потока р. Лена. Комплексный анализ полученных данных позволил нам выделить в пределах дельты р. Лена систему активизированных разломов, которые контрастно отображают кинематический план зоны сочленения главных геоструктур. Выявлено доминирующее влияние сдвиговых нарушений на морфологическую выраженность и сейсмогеодинамическую активизацию новейших структур. В субдолготном простирании по региональному правому сдвигу прослеживается главная структурная граница, разделяющая новейшие структуры дельты р. Лена на геодинамические сегменты с транспрессионным, транстензионным и компрессионным типами сейсмоструктурной деструкции земной коры. Данный разлом является не только главным формирующим элементом кинематического плана новейших структур дельты р. Лена, но и контролирует общий структурный рисунок и сейсмоструктурные параметры зон активизации разломов всего северного сектора Верхоянского краевого шва. Полученные нами результаты сейсмогеодинамического анализа дают возможность оценить потенциальную сейсмическую опасность новейших структур дельты р. Лена и корректировать существующие карты сейсмического районирования переходной зоны шельф-континент Арктического сегмента границы Евразийской и Североамериканской литосферных плит.

Ключевые слова: дельта р. Лена, континентально-шельфовая зона, новейшие структуры, динамика рельефа, краевой шов, активные разломы, кинематические типы, механизм землетрясения, сейсмоструктурные деформации, типы тектонических напряжений, геодинамическая модель новейших структур

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0016-853X2019562-77>

ВВЕДЕНИЕ

Новейшие структуры переходной зоны шельф-континент Арктического сегмента границы Евразийской и Североамериканской литосферных плит в сейсмоструктурном аспекте являются наименее изученными. Основное внимание исследователей было уделено процессам рифтогенеза моря Лаптевых [2, 3, 5, 11, 12, 22, 23] или направлено на выявление динамики сейсмогенерирующих структур в прилегающих сегментах континентальной части Арктико-Ази-

атского сейсмического пояса [10, 13, 18, 20, 25]. Мы рассматриваем активные неотектонические структуры дельты р. Лена, где в плане происходит сочленение трех крупнейших геоструктур широкого возрастного диапазона – Сибирской платформы, Лаптевоморской плиты и Хараулахского сегмента Верхоянской складчатой системы (рис. 1).

Применение сейсмогеодинамического анализа как инструмента изучения эволюции и активиза-

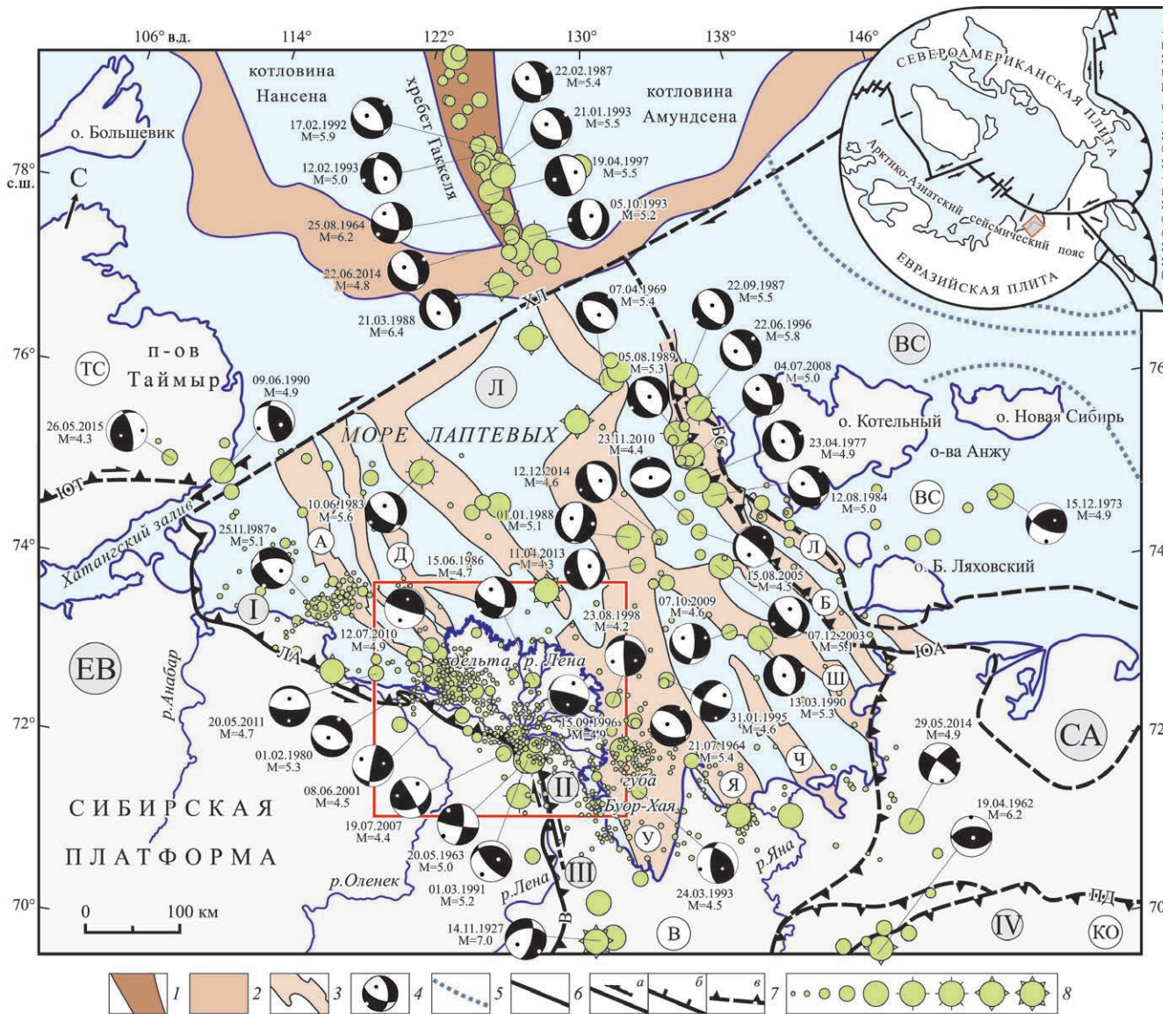


Рис. 1. Схема сейсмоструктуры переходной зоны шельф-континент Арктико-Азиатского сейсмического пояса (по [14, 20] с изменениями и дополнениями).

Литосферные плиты: Ев – Евразийская, Са – Североамериканская.

Коровые плиты: ВС – Восточно-Сибирская, Л – Лаптевоморская.

Сегменты: I – Лено-Анабарский, II – Хараулахский, III – Орулганский, IV – Яно-Индибирский.

Складчатые системы: В – Верхоянская, КО – Колымо-Омолонская, ТС – Таймыро-Североземельская, ВС – Восточно-Сибирская.

Трансформный разлом: ХЛ – Хатанга-Ломоносовский.

Сутурная зона: ЮА – Южно-Аноийская.

На врезке обозначен район исследования.

1 – спрединговый хребт Гаккеля; 2 – континентальный склон; 3 – грабены Лаптевоморской рифтовой системы: А – Арынский, Д – Дунайский, У – Усть-Ленский, Я – Усть-Янский, Ч – Чондонский, Ш – Широстонский, Б – Бельковско-Святоносский, Л – Ляховский; 4 – фокальные механизмы землетрясений: дата возникновения события и магнитуда (нижняя полусфера), выходы осей главных напряжений сжатия (черные точки) и растяжения (белые точки); 5 – границы крупных прогибов и поднятий; 6 – краевые швы складчатых систем: В – Верхоянский, ВС – Бельковско-Святоносский, ЮТ – Южно-Таймырский, ЛА – Лено-Анабарский, ПД – Полоусно-Дебинский; 7 – кинематика разломов, установленных: а – сдвиги, б – сбросы, в – надвиги; 8 – эпицентры землетрясений, соответственно с магнитудой (M_w): $\leq 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0$, по [20]

ции неотектонических структур дельты р. Лена, проводится впервые. Результаты исследования дают возможность уточнить сложную геодинамическую обстановку переходной зоны шельф-континент Арктического сегмента границы Евразийской и Североамериканской литосферных плит и оценить потенциальную сейсмическую опасность новейших структур дельты р. Лена. Полученные материалы способствуют уточнению существующих карт сейсмического районирования и могут быть применены при освоении арктического шельфа крупными российскими компаниями, такими, как ПАО «РОСНЕФТЬ», ОАО «ГАЗПРОМ» и ОАО «АЛРОСА».

В статье приводятся результаты комплексного анализа новейших структур дельты р. Лена, направленного на выявление закономерностей процессов сеймотектонической деструкции и типов напряженно-деформированного состояния земной коры. Целью статьи является:

- обзор структурно-тектонических и геолого-геофизических данных;
- анализ динамических характеристик современного рельефа дельты р. Лена и гидрологических особенностей перераспределения руслового потока;
- анализ планового распределения эпицентров землетрясений, регистрируемых, как сетью стационарных, так и временных полевых сейсмостанций;
- определение кинематических типов сеймотектонических деформаций в очаговых зонах землетрясений с $M_w = 4.3-5.5$;
- составление унифицированного каталога параметров очагов землетрясений;
- выявление зон активизации разрывных нарушений, оказывающих влияние на напряженно-деформированное состояние земной коры сопряженных блоков и сегментирование новейших структур дельты р. Лена;
- выделение в пределах новейших структур дельты р. Лена однородно-деформируемых геодинамических сегментов и выявление их генезиса;
- выявление генезиса структур растяжения;
- определение структурно-кинематического плана сопряжения главных геоструктур.

Для решения поставленных задач мы использовали крупномасштабные неотектонические, структурно-геоморфологические, морфотектонические исследования и дешифрирование дистанционных материалов [13, 14, 20]. В основу

исследований положен новый региональный материал тематических исследований авторов.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

Геологическая структура дельты р. Лена

Представление о геологическом строении докайнозойского основания дельты р. Лена базируется на интерпретации данных геофизических исследований [2, 11, 22, 23] и материалов геологической съемки контактных структур Лено-Анабарского и Хараулахского сегментов Верхоянской складчатой системы [7, 8, 10]. Предполагается, что основанием дельты является сложная складчато-глыбовая структура, близкая по строению и истории развития герцинидам северной части Таймырского полуострова. В дельте р. Лена дочетвертичные образования вскрываются, главным образом, в берегах Быковской, Оленекской и Булкурской протоков, а также в виде эрозионных останцов на островах Столб, Америка-Хая и Сардах (рис. 2). В структурном плане докайнозойское основание дельты р. Лена представлено серией блоков северо-западного простирания, погруженных на разные глубины под кайнозойскими отложениями. На основе интерпретации данных о строении гравитационного поля в дельте, а также находок в районе о. Сардах крупных неокатанных глыб и мелких обломков гранатовых и гранат-силлиманитовых гнейсов, плагиогнейсов и гранито-гнейсов, архейские образования предположительно залегают в пределах высоко приподнятого блока дельты р. Лена и сопоставляются с образованиями архейского комплекса Анабарского массива [4]. По другим данным архейские образования залегают на глубине порядка 100 м, а на северо-востоке дельты Лены, докайнозойское основание погружено на глубину около 3000 м [9].

В пределах дельты р. Лены предполагается широкое распространение ордовик-нижне-каменноугольных терригенно-карбонатных отложений, которые фиксируются на сейсмических профилях [9, 11]. Возраст и состав ордовикских пород определены условно по аналогии с такими же отложениями близлежащих территорий. Общая мощность отложений ордовикской системы достигает 0.2 км [7, 8]. В пределах дельты и ее обрамления залегают породы среднего и верхнего девона, представленные плотными доломити-

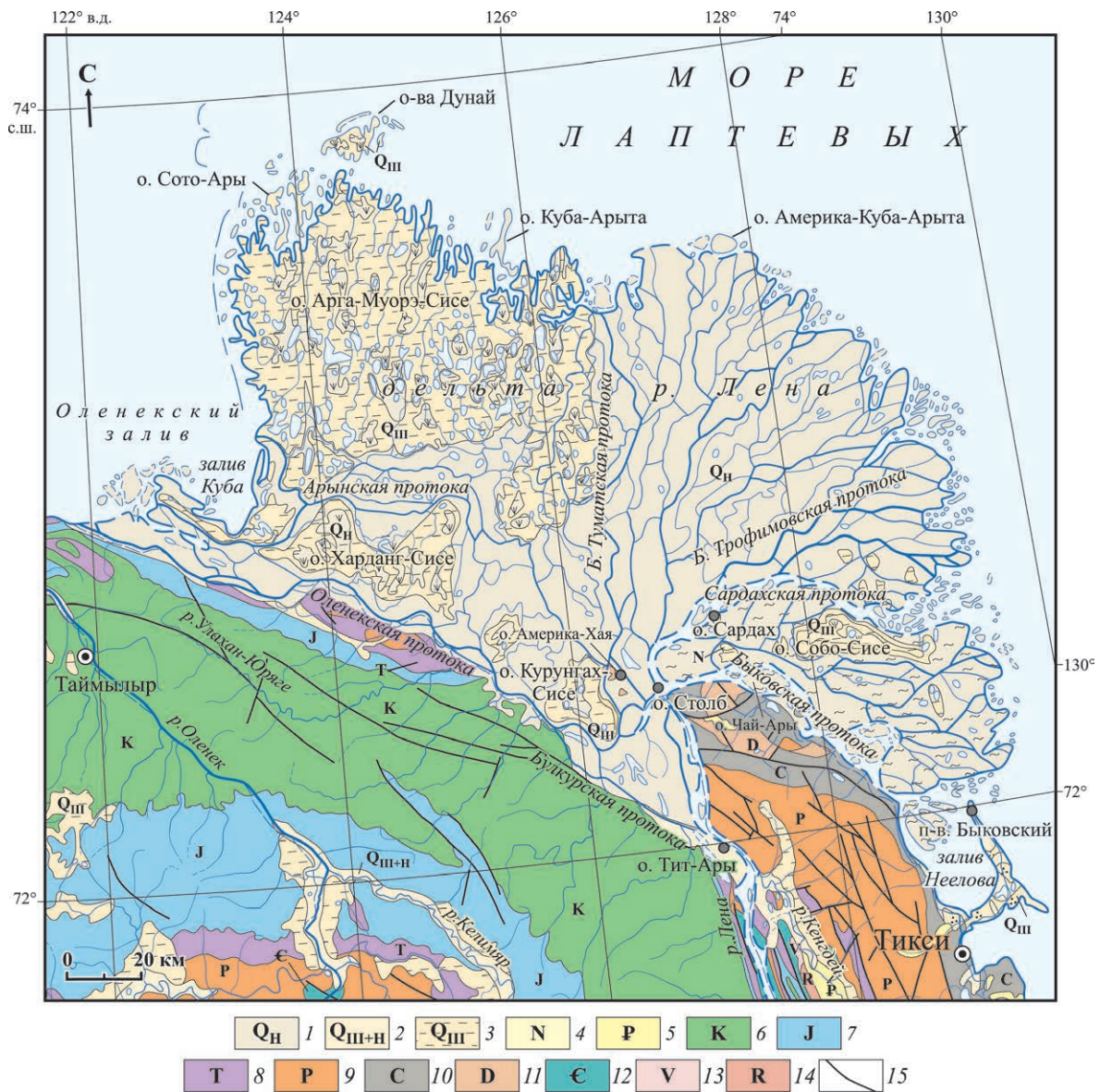


Рис. 2. Фрагмент геологической карты республики Саха (Якутия), масштаб 1:1 500 000 (по [7]).

1–3 – четвертичная система: 1 – голоцен, 2 – неоплейстоцен и голоцен, 3 – неоплейстоцен; 4 – неогеновая система, плиоцен; 5 – палеогеновая система; 6 – меловая система, нижний отдел; 7 – юрская система, верхний отдел; 8 – триасовая система; 9 – пермская система, верхний и нижний отделы; 10 – каменноугольная система, нижний и средний отделы; 11 – девонская система; 12 – кембрийская система; 13 – вендская система; 14 – рифей; 15 – разломы различной кинематики

зированными известняками и базальтами. Они обнажены на правом берегу Быковской протоки, на островах Столб и Америка-Хая, а также в Хараулахском сегменте. Общая мощность отложений девона в дельте р. Лена составляет около 0.5–0.6 км.

Породы каменноугольной системы общей мощностью до 2 км, известны на правом берегу р. Лена и в Хараулахском сегменте. Пермские породы распространены в северном Хараулахе,

на левобережье Оленекской и правобережье Быковской проток. Они согласно залегают на толще каменноугольных отложений. Общая мощность нижнепермских отложений, сложенных аргиллитами с прослоями песчаника, в северной части Хараулахского сегмента меняется от 0.7 до 1 км. Породы триаса на левобережье Оленекской протоки, мощностью 370–460 м, выражены темно-серыми аргиллитами с прослоями алевролитов и известняков. Они осложнены пликативными

и дизъюнктивными нарушениями. Угленосные отложения меловой системы побережья Булкурской протоки представлены песчаниками нижнего и верхнего отделов.

Палеогеновые отложения слагают крупные депрессии-грабены дельты. Общее представление о строении палеогеновых отложений базируется на материалах изучения аналогичных осадков в прилегающих к дельте р. Лена грабенах северного сектора Хараулахского сегмента [7, 8]. Они обнажаются вдоль Быковской протоки и выражены эоценовыми песчаниками с прослоями алевролитов и пластами бурого угля мощностью от 1 до 3–5 м. По данным геофизического сейсмопрофилирования, верхне-палеоцен-эоценовые угленосные отложения выполняют все крупные понижения в акватории [22]. Олигоценные слои в пределах дельты не установлены.

Неогеновые осадки вскрываются фрагментарно в обнажении островов дельты р. Лена. Основной разрез миоценовой толщи представлен в береговом уступе размыва о. Сардах в восточной части дельты. Куполообразная возвышенность на о. Сардах в центре дельты р. Лена имеет в плане изометричную форму и поднимается над окружающими позднеголоценовыми островными массивами на высоту в 35 м. Палеогеновые и неогеновые осадки формировались в обстановке дифференцированных подвижек крупных блоков, поэтому суммарные мощности их колеблются от первых десятков метров до 2–3 км в наиболее прогнутых участках дельты [4].

Четвертичные отложения слагают поверхностный чехол дельты р. Лена. Они сравнительно хорошо обнажены и вскрыты многочисленными буровыми скважинами, благодаря которым они разделены на свиты: установлено их четкое соотношение в разрезе и выявлены изменения в разных частях дельты, что позволило доказать значительные по масштабам вертикальные подвижки блоков, в том числе голоценовые смещения по разломам. Однако возраст четвертичных отложений во многом условный, так как определяется лишь стратиграфическим и геоморфологическим положением выделяемых толщ без достаточной палеонтологической и палинологической характеристик. Большую часть поверхности дельты р. Лена слагают современные отложения, представленные аллювиальными, озерно-болотными, озерно-болотно-эоловыми, эоловыми, склоновыми и морскими отложениями. Геологическое строение островов дельты

р. Лена, состоящих из разновозрастных и разнородных отложений, свидетельствует о резкой смене обстановок осадконакопления как в латеральном направлении и по вертикали, так и во времени [4].

Кайнозойский этап активизации тектонических движений

Развитие Арктического сегмента шельфа моря Лаптевых, включая сопряженные структуры континентального побережья, связывается с раскрытием Евразийского суббассейна, начало которого предполагается около 56 млн лет назад, в конце палеоцена [11, 23]. В конце эоцена – начале олигоцена в регионе началась активизация тектонических движений, отразившаяся в регрессии моря и привносе грубообломочного материала в грабены из областей относительно приподнятых блоков. В среднем олигоцене – раннем и начале среднего миоцена в регионе, включая шельф, устанавливается обстановка сжатия, с частыми перерывами осадконакопления. Во впадинах Хараулахского сегмента палеогеновые отложения смяты в складки и разбиты надвигами и взбросами, что указывает на проявление фазы сжатия в среднем миоцене. Результаты специальных структурных исследований позволяют говорить о субширотной ориентировке оси сжатия [20]. С активизацией в среднем миоцене связано возникновение систем сдвигов, деформировавших толщу меловых–раннемиоценовых образований. Разломно-блоковые дислокации значительной амплитуды, затронувшие, начиная со второй половины среднего миоцена, практически весь шельф моря Лаптевых наиболее контрастно проявились в районе современной дельты Лены и прилегающей к ней северо-западной части шельфа. Следующим этапом кайнозойской истории района была фаза растяжения в плиоцен–четвертичное время. Сбросы, смешивающие неогеновую кору выветривания, зафиксированы геолого-структурными методами вдоль побережья залива Буор-Хая. Ось растяжения при этом, была ориентирована в северо-восточном направлении [20].

История развития шельфовой части моря Лаптевых, включая дельту р. Лена и полуостров Быковский, в четвертичное время резко отличается от континентальной части Хараулахского сегмента. Здесь широко проявились тектонические движения в основном сбросо-сдвигового типа,

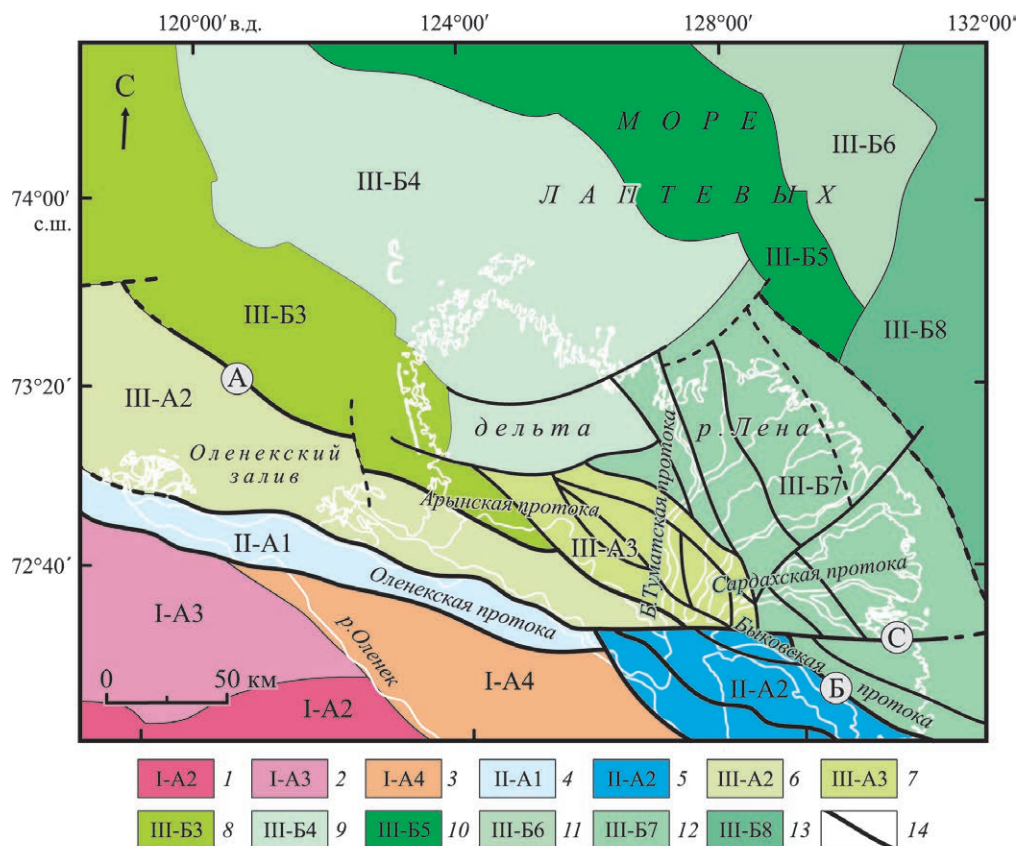


Рис. 3. Схема тектонического районирования юго-восточного фланга Западно-Лаптевоморской рифтовой системы (с использованием [22], с изменениями и дополнениями).

Разломы: А – Арынский, Б – Быковский, С – Сардахский.

1–3 – Сибирская платформа: 1 – Северо-Сибирская моноклираль, 2 – Лено-Анабарский краевой прогиб, 3 – Чекановская зона инверсионного прогиба; 4–5 – Верхоянская складчатая система: 4 – Прончищевско-Оленекская полого-складчатая зона, 5 – Бастахско-Хараулахская складчато-глыбовая зона; 6–14 – Лаптевоморская эпипозднекиммерийская плита: 6 – Хараулахско-Таймырская зона грабенов и горстов, 7 – Туматский выступ, 8 – Южно-Лаптевская зона прогибов, 9 – Трофимовская зона поднятий, 10 – Усть-Ленская рифтовая система, 11 – Центрально-Лаптевская региональная ступень, 12 – Сагастырская региональная ступень, 13 – Омолойская зона прогибов, 14 – разломы различной кинематики

обусловившего блоковое строение этой территории. Это хорошо прослеживается по различному гипсометрическому положению позднечетвертичных и голоценовых осадков (см. рис. 2). В центральной части дельты р. Лена подошва голоценовых аллювиальных отложений прослеживается у современного уровня Трофимовской протоки, а в ее северо-восточной оконечности скважина, пробуренная до глубины 25 м, не достигла центральной части дельты [6]. В западной части дельты зырянско-сартанские (верхнеплейстоценовые) слои смещены по разлому на 30 м. Формирование сбросовых структур в регионе свидетельствует о фазе растяжения с осями предположительно субширотного и северо-восточного направлений [20]. В данных геодинамических условиях в кайнозойское время активными яв-

лялись разломы двух направлений. По субдолготным нарушениям отмечают в основном сбросовые и сбросо-сдвиговые разновозрастные подвижки, тогда как субширотные разломы обнаруживают более сложную кинематику с преобладанием разнонаправленной взбросо-сдвиговой компоненты [20].

Тектонические элементы дельты р. Лена

Основные тектонические элементы дельты р. Лена (рис. 3) выявлены по материалам комплексных геофизических исследований, выполненных в западном сегменте шельфа моря Лаптевых [1, 2, 11, 22]. В определенной структурной закономерности здесь наблюдаются фрагменты Сибирской платформы (эпикарель-

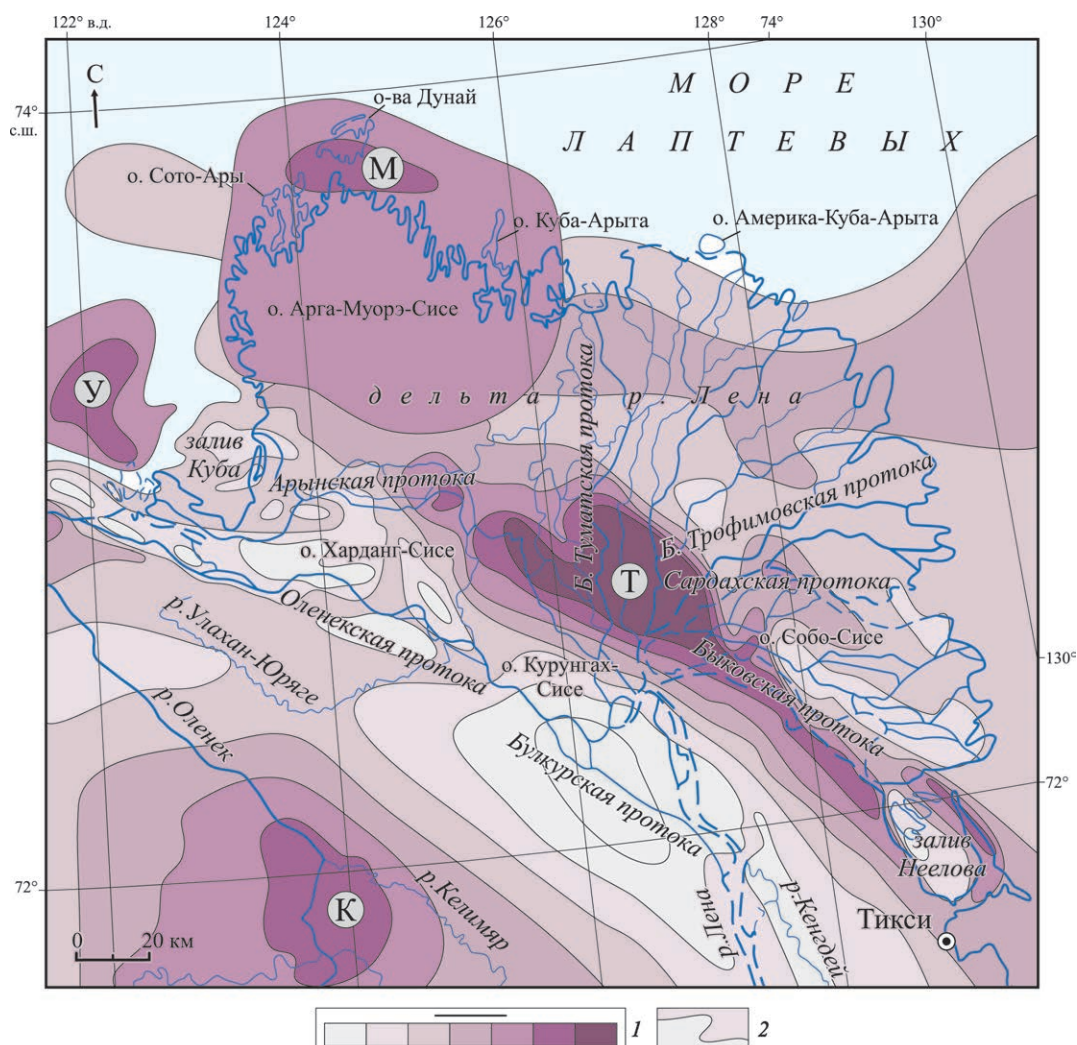


Рис. 4. Схема районирования гравитационного поля дельты р. Лена (по [9], с изменениями и дополнениями).

Обозначены максимумы значений поля силы тяжести: У – Усть-Оленекский, М – Муоринский, Т – Туматский, К – Келимярский.

1 – аномалии поля силы тяжести: показано (стрелка) их увеличение от минимальных значений к максимальным; 2 – изоаномалии поля силы тяжести

ской) и мезозойской Лаптевоморской плиты (эпипозднекиммерийской), разделяемых породами (позднекиммерийскими) Хараулахского сегмента Верхоянской складчатой системы [7, 8, 22].

Заложение и формирование сложно построенной Западно-Лаптевской рифтовой системы связано с раскрытием Евразийского бассейна, о чем свидетельствует общее утонение земной коры до 25–22 км в осевых частях бассейна, выраженных глубокими грабенами, раздробленность осадочного чехла многочисленными дизъюнктивными нарушениями [22]. Глубины залегания складчатого основания в ее пределах достигают 7–13 км, с погружением к осевой части. В пределах рифтовой системы выделяются Южно-Лаптевская

зона прогибов, Трофимовская зона поднятий, Усть-Ленская рифтовая зона, Центрально-Лаптевская и Сагастырская региональные ступени (см. рис. 3). В Южно-Лаптевской зоне прогибов наибольшей глубиной прогибания характеризуются Арынский и Оленекский грабены, в Усть-Ленской рифтовой зоне – Усть-Ленский осевой грабен. На северо-западе региона грабены ограничены Хатангским разломом, по которому они смещаются в восточном направлении. Южно-Лаптевская зона прогибов и Усть-Ленская рифтовая зона разделены Трофимовской зоной поднятий, которая включает в себя крупные выступы, поднятия, горсты и ступени с глубинами залегания складчатого основания от 1 до 5.5–6 км.

Анализируя закономерности тектонического строения дельты р. Лены можно выделить два основных направления разрывных нарушений, составляющие диагональную систему: северо-западную и северо-восточную, которые определяют структуру осадочного чехла (см. рис. 3). Преобладающей является система разломов северо-западного простирания, отображающая шовные зоны границы Сибирской платформы, Лаптевоморской плиты и Верхоянской складчатой системы. Формирование этой зоны связано с верхоянскими движениями в раннем-позднем мелу в результате которых во фронтальной части складчатой системы происходило образование надвигов, а позднее, в позднемеловое-кайнозойское время в тыловой – по ослабленным зонам закладывались сбросо-сдвиговые структуры [7, 8, 22].

Структура основания дельты р. Лены, установленная по сейсморазведочным данным [22] и основные региональные разрывные нарушения отражаются в гравитационном поле (рис. 4). Здесь выделяются несколько линейных максимумов, ограниченных высокоградиентными зонами. Наиболее ярко выражено Быковское поле гравитационных аномалий с интенсивным максимумом северо-западного простирания, соответствующее крупному выступу древних высокоплотных пород фундамента. Оно вытянуто узкой полосой вдоль Быковской протоки и существенно расширяется в дельте р. Лена, где обособляется в отдельный блок (Туматский выступ), характеризующийся контрастным гравитационным максимумом, со значениями до 55 мГал (см. рис. 4). Туматский выступ – это блок кристаллических пород дорифейского основания и реоморфизованных в рифее раннепротерозойских пород, перекрытый маломощным покровом плиоценовых и четвертичных отложений [7, 8, 22]. Южное крыло выступа по высокоградиентным гравитационным зонам контрастно ограничено сдвигами, взбросами и взбросо-надвигами северо-западного простирания, которые входят в систему Верхоянского краевого шва. Трассы разломов заложены по Быковской, Сардахской и Арынской протокам р. Лена.

Другой блок складчатого основания – Муоринский выступ, расположен в северо-западной части дельты Лены и занимает практически всю площадь о. Арга-Муорэ-Сисе. В гравитационном поле он выражен овальной формы максимумом (до 38 мГал), ориентированным в северо-запад-

ном направлении. От Туматского выступа он отделен системой субширотных дуговых разломов (см. рис. 3). По аналогии с Туматским выступом предполагается, что в ядре Муоринского выступа под кайнозойскими отложениями залегают протерозойские метаморфические породы, обрамленные верхневендско–среднекаменноугольными толщами, мощность кайнозойских отложений в его своде составляет первые сотни метров. Муоринский выступ имеет характерный образ на всех геологических материалах и космических снимках, четко обособляясь от остальной части дельты р. Лена. Все русла и протоки дельты обтекают этот выступ, что свидетельствует о его новейшем поднятии.

Усть-Оленекская аномалия смещена на 100 км к западу от Туматской, охватывая дельту р. Оленек и прилегающий участок шельфа моря Лаптевых до устья Оленекской протоки (см. рис. 4). За пределами границы исследований, она продолжается к западу зоной пониженной интенсивности гравитационного поля в виде ряда малых по контурам аномалий северо-западной ориентировки, близкой к простиранию Оленекской зоны [5, 9, 12, 22]. В районе Анабарского залива имеет место отчетливая виргация гравитационных аномалий. Одна ветвь, сохраняя широтное направление, пересекает устье р. Анабар и затухает. Другая ветвь меняет простирание на субмеридиональное и протягивается к полуострову Таймыр.

Сейсмотектоническая активность

Для выявления сейсмически активизированных зон разломно-блоковых структур проведен анализ эпицентрального поля землетрясений (рис. 5). На схему нанесены эпицентры землетрясений, регистрируемые, как сеть стационарных, так и временных полевых сейсмостанций [21]. Сейсмические проявления дельты р. Лена пространственно входят в Лено-Таймырскую зону землетрясений Арктико-Азиатского сейсмического пояса, которая начинается от дельты р. Лена и далее следует через Оленекский и Анабарский заливы моря Лаптевых к полуострову Таймыр (см. рис. 1). Основное эпицентрального поле и проявление землетрясений с максимальной магнитудой ($M_w=5.3$) приурочено к субширотной зоне разломов динамического влияния Верхоянского краевого шва (см. рис. 5). В ней определены два значимых меха-

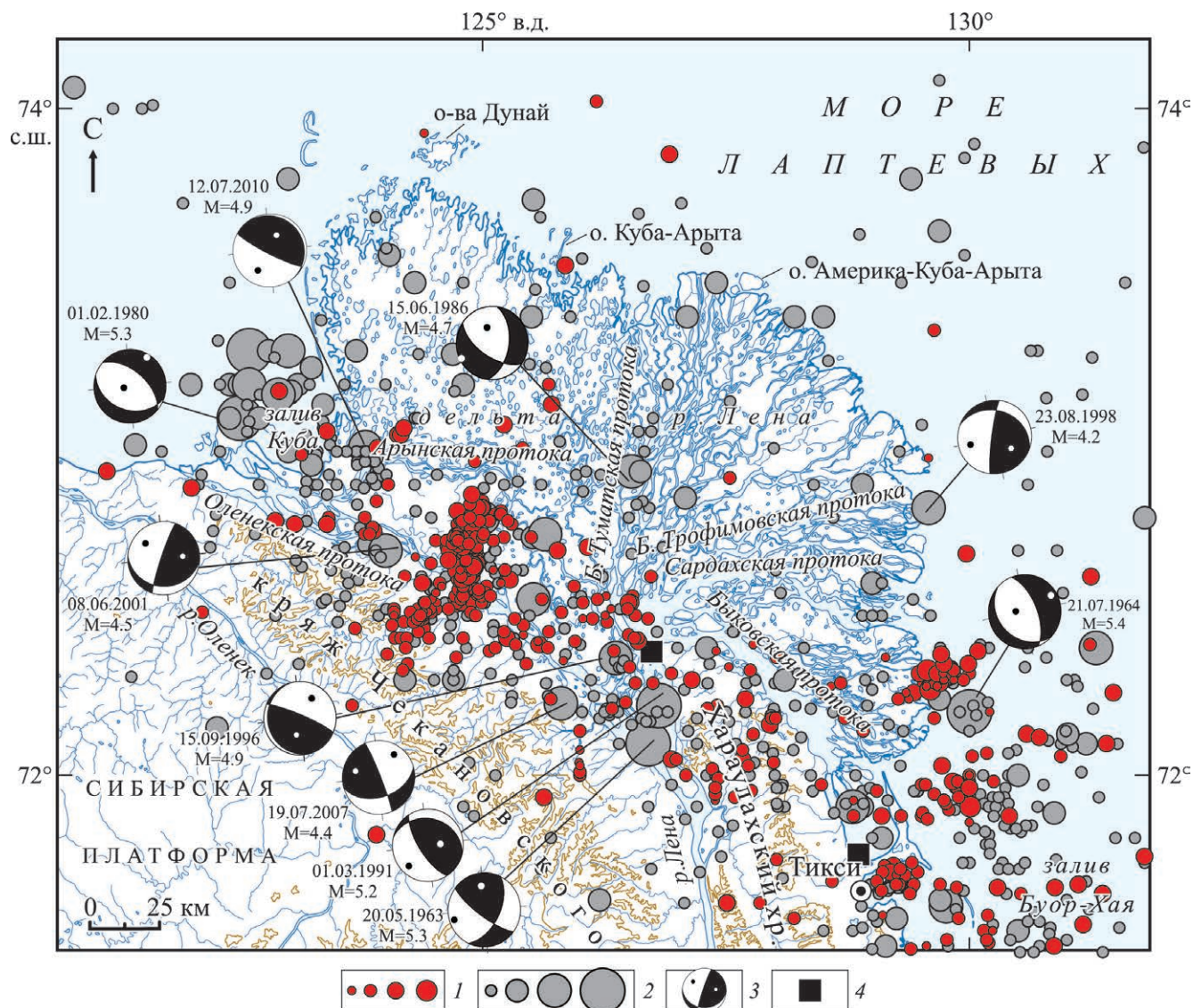


Рис. 5. Схема эпицентров землетрясений и фокальных механизмов дельты р. Лена (по данным [19, 20]).

1 – эпицентры землетрясений с магнитудой (M_w), соответственно: $-1.5 - -0.1$, $-0.1 - 1.2$, $1.2 - 2.6$, $2.6 - 4.0$, по [21]; 2 – эпицентры землетрясений с магнитудой (M_w), соответственно: < 3.0 , $3.1 - 4.0$, $4.1 - 5.0$, $5.1 - 6.0$; 3 – фокальные механизмы землетрясений: дата возникновения события и магнитуда (нижняя полусфера), выходы осей главных напряжений сжатия (черные точки) и растяжения (белые точки); 4 – стационарные сейсмические станции ЯФ ФИЦ ЕГС РАН

низма очагов землетрясений ($M_w = 5.2 - 5.4$) со взбросо-сдвиговыми и надвиговыми подвижками и глубинами очагов землетрясений 37–40 км. Сеть временных сейсмических станций также выявила здесь плотностной максимум эпицентров землетрясений малых магнитуд, расположенный к северо-западу от о. Курунгах-Сисе. Остальные плотностные максимумы эпицентров землетрясений отмечаются за пределами дельты р. Лена в заливах Куба и Буор-Хая (см. рис. 5).

С целью дополнения информационной базы об очаговых параметрах сейсмических событий

средних магнитуд, произошедших в пределах Лаптевоморского и Хараулахского сегментов прибрежно-шельфовой зоны (см. рис. 1), были использованы данные тензора сейсмического момента, моментные магнитуды, механизмы и глубины очагов землетрясений с $M_w = 4.3 - 5.5$. Даны определения фокальных механизмов очагов землетрясений, полученные различными исследователями для района дельты р. Лена (таблица). Разнообразие очаговых параметров сейсмических событий различных магнитуд свидетельствует о том, что в пределах дельты

Таблица. Механизмы очагов землетрясений с $M_w \geq 4.2$ дельты р. Лена.

№ п/п	Дата: число, месяц, год; Время: ч, мин, с	Координаты гипоцентра			M_w	Механизм очага			Источник	Тип подвижки
		φ , °N	λ , °E	h , км		stk	dip	slip		
1	20.05.1963 17:01:35	72.2	126.3	15	5.3	356	70	-164	F, 2009	Сдвиг
2	21.07.1964 9:56:17	72.2	130.0	35	5.4	130	45	-112	F, 2009	Сброс
3	01.02.1980 17:30:27	73.04	122.61	27	5.3	315	55	-78	HRVD	Сброс
4	15.06.1986 06:55:36	72.8	126.3	10	4.7	130	60	-134	F, 2009	Сбросо-сдвиг
5	01.03.1991 01:57:06	72.2	126.7	39.4	5.2	290	7	49	F, 2009	Надвиг и взброс
6	15.09.1996 00:21:23	72.36	126.38	4–5	4.9	170	12	140	C, 2017	Взброс и надвиг
7	23.08.1998 09:59:03	72.77	129.73	33–35	4.2	302	29	14	C, 2017	Надвиг
8	08.06.2001 04:59:02	72.70	123.92	10–12	4.5	205	84	67	C, 2017	Взброс и надвиг
9	19.07.2007 06:18:44	72.24	125.80	37–38	4.4	79	45	7	C, 2017	Взброс со сдвигом
10	12.07.2010 10:06:43	72.98	123.79	6–7	4.9	325	9	112	C, 2017	Надвиг и взброс

Примечание. M_w – моментная магнитуда; параметры нодальной плоскости: stk – простираение, dip – падение, slip – подвижка, в градусах. Источники: C, по [19], F, по [24], HRVD, по [26].

р. Лена активизирована сложная система разломно-блоковых дислокаций различного генезиса.

ДИНАМИКА РЕЛЬЕФА НОВЕЙШИХ СТРУКТУР ДЕЛЬТЫ р. ЛЕНА

Геоморфологические особенности

Геоморфологические индикаторы рельефа указывают на проявления тектонической активности новейших структур р. Лена. Современная структура дельты сформирована отдельными сегментами региональных дельт выполнения. Анализ возраста отложений конусов выноса, датировки которого получены методами радиоуглеродного и спорово-пыльцевого анализов [4, 17], показывает, что наиболее древней (8.6 тыс лет) частью дельты р. Лена являются острова западного сегмента дельты. Они ограничены Арынской и Туматской протоками (см. рис. 2, рис. 6), наиболее молодой (1.5–2 тыс лет) –

острова Быковской протоки, расположенные в юго-восточном сегменте дельты. Геоморфологическое строение дельты р. Лена отличается сложным блоковым строением и характеризуется разновозрастными аккумулятивными и денудационными формами поверхности рельефа (см. рис. 6). Аккумулятивные формы являются бассейновыми террасами и пляжами в береговой зоне, пойменными и надпойменными террасами, русловыми образованиями в протоках, а также конусами выноса, приуроченными к горным массивам Хараулахского хребта и кряжа Чекановского. Денудационные формы рельефа представлены эрозионными и абразионными останцами дочетвертичных пород, слагающих окружающие дельту горы, и останцами четвертичных отложений [9].

В дельте Лены находятся три эрозионных останца:

- о. Столб высотой 111 м в центральной части дельты, где и происходит деление р. Лена на протоки;

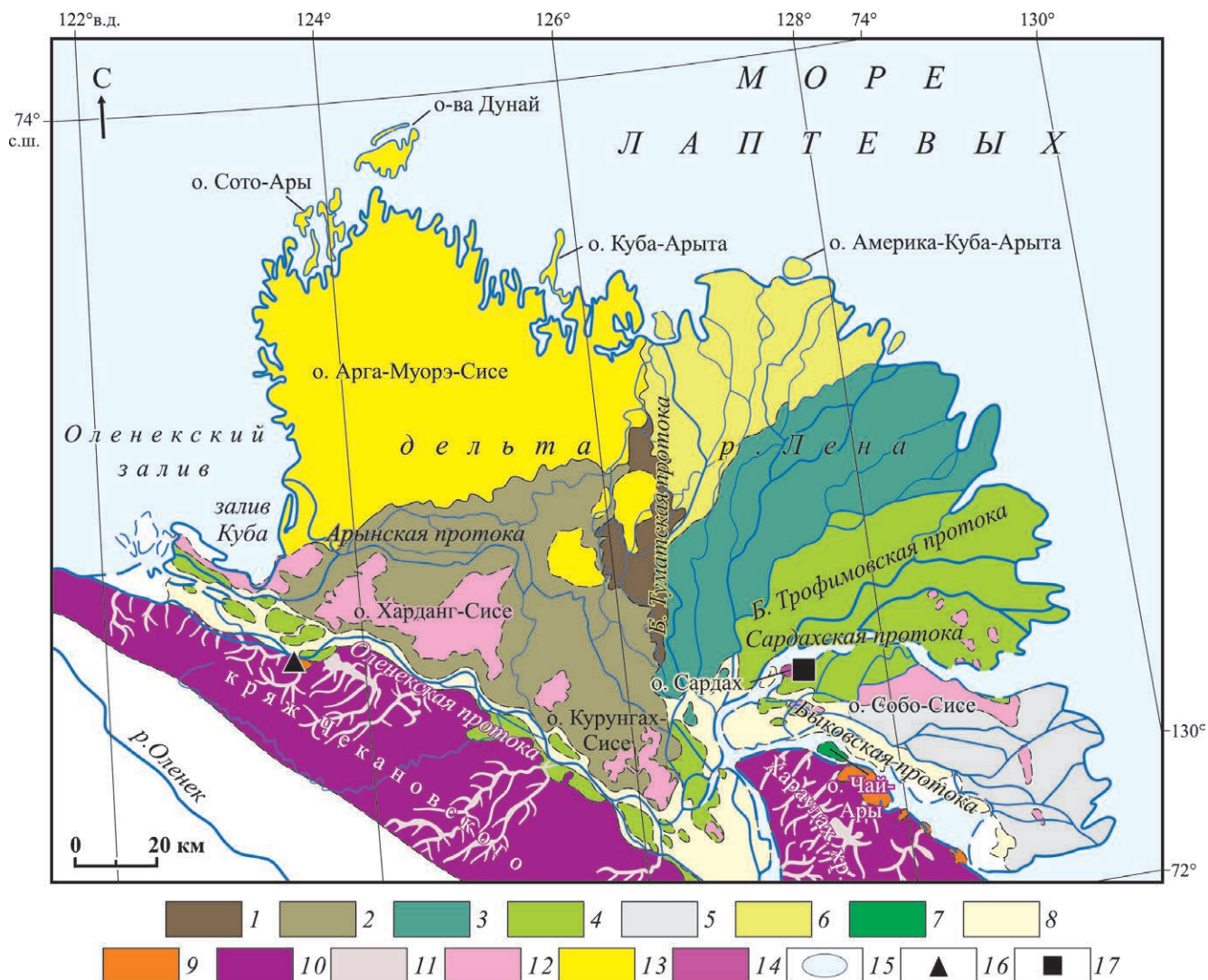


Рис. 6. Геоморфологическая карта, отражающая аккумулятивные и денудационные формы рельефа дельты р. Лена (по данным [4]).

1–6 – аллювиально-морская терраса возрастом: 1 – 8000, 2 – 6000–4000, 3 – 3000, 4 – 2500–3000, 5 – 1500–800, 6 – 1200–500 лет; 7 – терраса о. Чай-Ары, сложенная грубообломочными осадками высотой до 12 м; 8 – пойменная терраса, сложенная песками высотой до 7 м и возрастом от 200 лет до нашего времени; 9 – конусы выноса отложений талых ледниковых вод возрастом 500–200 лет; 10 – структурно-денудационный рельеф низкогорий, сложенных породами дочетвертичного возраста; 11 – нетеррасированные долины водотоков; 12 – термоденудационная, останцовая поверхность высотой до 50 м, сложенная породами ледового комплекса; 13 – останец аллювиально-морской террасы о. Арга-Муорэ-Сисе высотой 20–22 м; 14 – эрозионно-абразионный останец о. Сардах высотой до 50 м, сложенный породами неогена; 15 – озерные котловины термокарстового происхождения, заполненные водой высоких террасовых уровней. 16–17 – внесштабные условные обозначения: 16 – бассейновая терраса возрастом 138 000 лет и высотой до 30 м, 17 – бассейновая терраса возрастом 48 000 лет и высотой 10–15 м

- останцы края Чекановского, высотой 86 м, располагаются в районе о. Америка-Хая;
- о. Сардах, который представляет собой купольное поднятие высотой до 60 м, сложенное миоценовыми и плиоценовыми отложениями (см. рис. 2). Здесь по данным геофизики (см. рис. 4) кристаллический фундамент залегает в непосредственной близости от дневной

поверхности с редкими выходами на дневную поверхность [9].

Береговая линия дельты р. Лена (см. рис. 6) в соответствии с расположением региональных дельт выполнения также сегментирована. В западной части дельты (залив Куба) закартированы голоценовые морские террасы высотой до 8 м и возрастом до 3 тыс лет [9]. Северная

часть дельты р. Лена представлена побережьем Туматского конуса выноса. Тип берега здесь абразионно-аккумулятивный и представлен абразионным уступом высотой до 1 м, который периодически заливается водой в процессе приливного и нагонного воздействия, активизируя аккумуляцию. К востоку характер береговой линии дельты р. Лена становится исключительно абразионной. Восточная часть дельты, устьевая область Сардахской, Трофимовской и Быковской протоки, представляют собой активно развивающиеся эстуарии.

Деформации русла и протоков

Геоморфологическое строение дельты свидетельствует о том, что роль блоковых современных тектонических движений земной коры также значительна для перераспределения стока по протокам. В результате анализа картографических материалов и расшифровки космических снимков мы выявили закономерность в расположении протоков дельты р. Лена и распределения стока воды по ним. В приустьевой части направление стока р. Лена резко меняется. Сток поворачивает к востоку по Трофимовской и к юго-востоку по Быковской протокам, принимая в последнем случае обратное направление основному стоку реки Лены. В западном сегменте дельты р. Лена по Булкурской протоке сток воды может осуществляться только в половодье. Оленекская протока, получающая руслоформирующий, но слабый, приток воды из Булкурской протоки находится в стадии отмирания. По центральной системе Туматских протоков отмечаются русловые деформации, которые делают их непроходимыми для судов. Сток по Большой Трофимовской протоке сокращается и перераспределяется в Сардахскую протоку, которая частично подпитывает Быковскую протоку по мелким извилистым рукавам [4]. Таким образом, общий сток в дельте р. Лена концентрируется в восточных и юго-восточных протоках, что свидетельствует о топографическом уклоне поверхности дельты в направлении от субдолготной системы Туматских протоков к востоку и юго-востоку.

Прямое доказательство данного факта отмечено при исследовании разреза четвертичных отложений южной оконечности о. Курунгнах-Сисе (см. рис. 6), который подмыт Оленекской протокой [4]. Здесь наблюдается четкая литоло-

гическая граница между ледовым комплексом пород и подстилающими их песками, которая от юго-восточной оконечности острова подымается на высоту 8 м на протяжении 4 км по направлению к устью Булкурской протоки, затем снова опускается к разлому Оленекской протоки. Вдоль о. Курунгнах отмечается противотечение воды. Разные высотные отметки поверхности ледового комплекса пород в западной и восточной частях дельты рассмотрены в [4, 9, 17]. Таким образом, общее поднятие земной коры западного сегмента дельты р. Лена и дифференцированные блоковые движения по разломам объясняют аномальное перераспределение стока воды по протокам дельты. Вода и наносы стекают преимущественно на восток и юго-восток по Быковской и Трофимовской протокам, а не следуют прямым путем на север-запад по Оленекской протоке. Максимально интенсивное тектоническое погружение происходит в районе Быковской протоки (юго-восток), что обуславливает наибольший сток воды исключительно в данном направлении.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Нами представлен структурно-кинематический план новейших структур дельты р. Лена (рис. 7), который подтверждается анализируемыми геолого-геофизическими данными (см. рис. 2, см. рис. 4, см. рис. 5, см. рис. 6) и динамическими характеристиками современного рельефа. Выявляется предопределенный сейсмотектонический характер заложения основных протоков дельты р. Лена, который соответствует простиранию сопряженных Лено-Анабарского и Хараулахского сегментов Верхоянской складчатой системы. Отмечено в [4, 9, 16], что на всех дистанционных изображениях дельты р. Лена четко выделяются линеаменты первого порядка, которые в определенной закономерности отображают структурно-динамические изменения формы дельты р. Лена в плане [4, 16].

В субдолготном простирании прослеживается главная структурная граница, проявляющаяся в виде различий в фототоне изображения, которая разделяет дельту р. Лена на два основных сегмента. На космическом снимке в западной части дельты четко просматривается резкое уменьшение количества речных русел, наблюдается изображение наиболее пятнистой структуры на снимке за счет большего развития крупных тер-

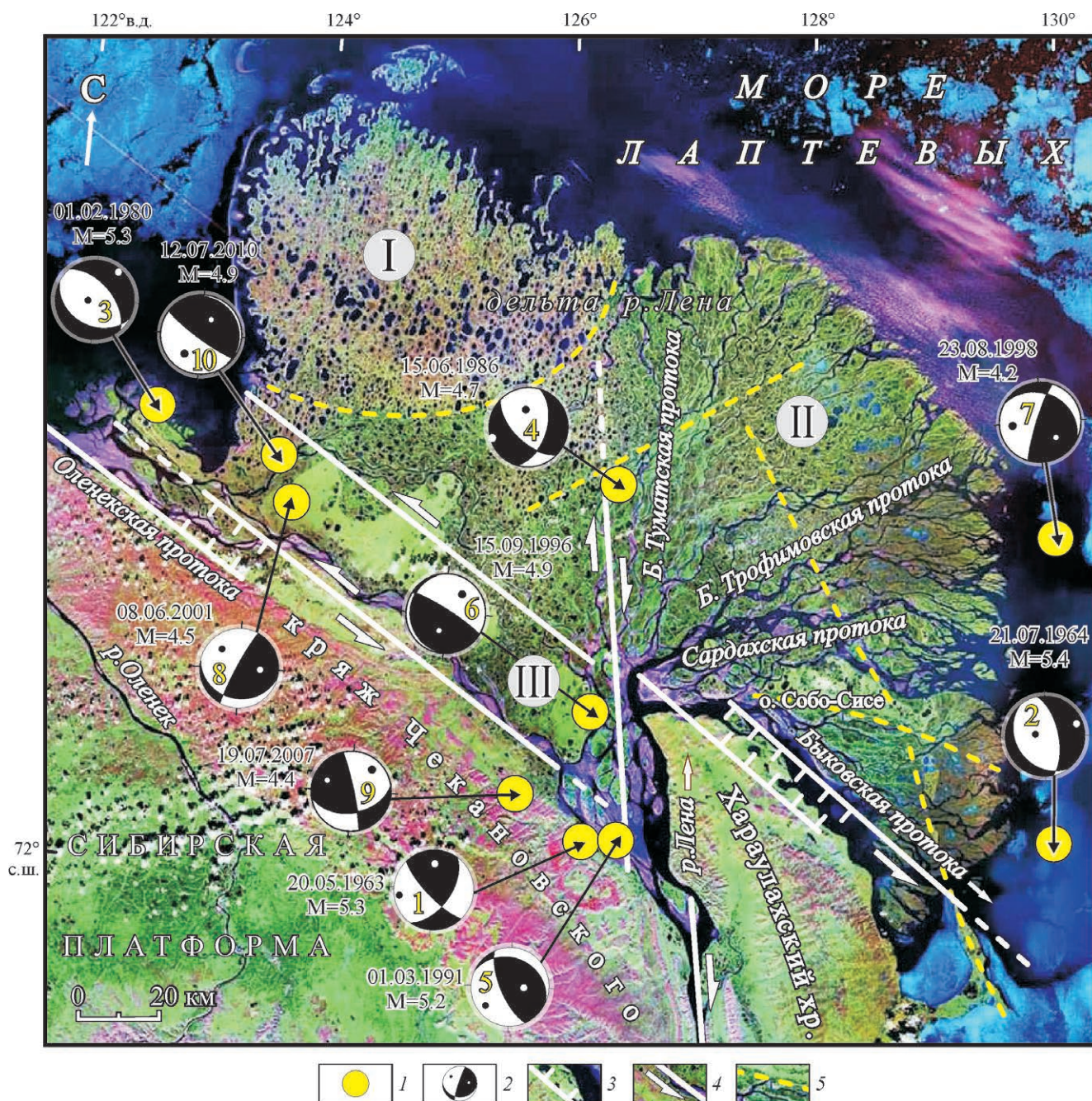


Рис. 7. Космический снимок дельты р. Лена со спутника Landsat-7 (2000 г.) с элементами активной тектоники (по [27], с дополнениями).

Типы тектонических режимов: I – транспрессионный, II – транстенсионный, III – компрессионный.

1 – эпицентры землетрясений (по [20]); 2 – фокальные механизмы землетрясений: дата возникновения события и магнитуда (нижняя полусфера), выходы осей главных напряжений сжатия (черные точки) и растяжения (белые точки); номер в центре соответствует номеру сейсмического события в таблице 1; 3–4 – кинематика разломов: 3 – сбросы, 4 – сдвиги; 5 – активизированные разломные структуры голоценового (?) возраста

мокарстовых озер (см. рис. 7). Можно предположить, что дельтовые территории, расположенные к западу от разлома, испытывают тектоническое поднятие, тогда как к востоку от разлома территории опускаются. Данная позиция подтверждается

и геодезическими данными [15]. В западном сегменте фиксируются положительные скорости новейших вертикальных тектонических движений до 2–4 мм/год, которые к востоку снижаются до слабо отрицательных значений.

Продолжением линеамента к югу является разлом, расположенный на границе Сибирской платформы и северного сектора Хараулахского сегмента, который формирует прямолинейное русло р. Лены до ее деления на рукава (см. рис. 1). На мелкомасштабных геологических и тектонических картах, а также космических снимках он структурно выражен блоковыми структурами сжатия по западному борту Хараулахского сегмента до границы с Орулганским сегментом Верхоянской складчатой системы (см. рис. 1). На его юго-восточном окончании расположено Булунское эпицентрально-поле землетрясений с $M_w = 6.8-7.0$ и выявлена обширная зона сейсмодислокаций [20]. На северо-западном фланге разлома по системе Туматских проток структурно оформлена обширная зона растяжения, состоящая из локальных правосдвиговых впадин.

Принимая во внимание строгую структурную закономерность расположения блоков сжатия и структур растяжения по отношению к простиранию трассы данного линеамента, их морфологическую выраженность, а также очаговые параметры землетрясения 1986 г. (см. таблицу, рис. 7), можно принять его кинематику, как право-сдвиговую со сбросовой компонентой. Данный разлом не только является главным формирующим элементом кинематического плана новейших структур дельты реки Лены, но контролирует общий структурный рисунок и субширотный изгиб разломов, входящих в зону динамического влияния северного сектора Верхоянского краевого шва (см. рис. 1).

В основании дельты р. Лена четко дешифрируется система линеаментов лево-сдвиговой кинематики, характеризующаяся общим северо-западным простиранием. Данная система линеаментов наиболее четко выражена высокоградиентным полем гравитационных аномалий с интенсивным максимумом по Быковской и Арынской протокам р. Лена (см. рис. 4). В районе Быковской протоки по системе левых сдвигов сформирована обширная присдвиговая зона растяжения (см. рис. 7). К данной системе линеаментов приурочено основное эпицентрально-поле, в котором определены очаговые параметры землетрясений со взбросовыми, взбросо-сдвиговыми и надвиговыми подвижками и глубинами очагов землетрясений от 4–12 км до 37–40 км (см. рис. 5). Данные факты свидетельствуют о сейсмоструктурной акти-

визации субширотного сегмента активизированных разломов зоны динамического влияния Верхоянского краевого шва. Другие линеаменты, отображенные на космическом снимке (см. рис. 7), являются структурами второго порядка, возникшими вследствие активизации сопряженных систем главных разломов.

Определение кинематики главных систем дизъюнктивных нарушений, а также очаговые параметры землетрясений стали основой районирования новейших структур дельты р. Лена по типу сейсмоструктурной деструкции. Сейсмогеодинамический анализ всех исходных данных позволил выделить в пределах дельты р. Лена структурно-динамические сегменты с различным типом напряженно-деформированного состояния земной коры, которые контрастно отображают кинематический план зоны сочленения главных геологических структур (см. рис. 7). По субдолготному правому сдвигу основная часть дельты р. Лена разделена на два динамических сегмента с транспрессионным (на западе) и транстенсионным (на востоке) типом сейсмоструктурной деструкции земной коры. Между Оленекской и Арынской протоками в основании дельты р. Лена установлен однородно-деформируемый компрессионный режим, приуроченный к активизированным разломам субширотной ветви зоны динамического влияния Верхоянского краевого шва. Смена режимов сейсмоструктурной деструкции происходит к западу и востоку от дельты р. Лена, где на шельфе моря Лаптевых фиксируется смешанное поле тектонических напряжений (см. рис. 1).

ВЫВОДЫ

Проведенные сейсмогеодинамические исследования новейших структур дельты р. Лена и анализ полученных результатов позволили нам сделать следующие выводы.

1. Кинематический план новейших структур дельты р. Лена обусловлен сопряжением разнонаправленных сдвиговых систем северного сектора Хараулахского сегмента Верхоянской складчатой системы, которые формируют разломно-блоковые дислокации различного генезиса.

2. Установленные закономерности процессов сейсмоструктурной деструкции земной коры и морфодинамические характеристики современ-

ного рельефа позволяют выделить в пределах новейших структур дельты р. Лена геодинамические сегменты с транспрессионным, транстенционным и компрессионным типами напряженно-деформированного состояния земной коры.

3. Структуры растяжения, характерные для процессов рифтогенеза, затронувшего акваторию шельфа моря Лаптевых, в пределах дельты р. Лена не выявлены. Система Туматских впадин закономерно сформирована в режиме сдвига и транстенсии.

4. Новейшие структуры дельты р. Лена обладают потенциальной сейсмической опасностью и способны продуцировать сейсмические события с магнитудой $M_w = 6.5-7.0$ и интенсивностью до 8–9 баллов по шкале MSK-64.

Финансирование. Исследования проведены по проектам РФФИ № 19–05–00062, ИЗК СО РАН № 346–2018–0001, ИГАБМ СО РАН № 0381–2616–0001, а также в рамках комплексной программы Правительства Республики Саха (Якутия).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аветисов Г.П., Гусева Ю.В.* Глубинное строение района дельты Лены по сейсмологическим данным // Советская геология. 1991. № 4. С. 73–81.
2. *Аветисов Г.П.* Сейсмоактивные зоны Арктики. СПб.: ВНИИОкеангеология, 1996. 185 с.
3. *Андиева Т.А.* Тектоническая позиция и основные структуры моря Лаптевых // Нефтегаз. геология. Теория и практика. 2008. № 3. С. 1–28.
4. *Большаинов Д.Ю., Макаров А.С., Шнайдер В., Штоф Г.* Происхождение и развитие дельты реки Лены. СПб.: ААНИИ, 2013. 268 с.
5. *Верниковский В.А., Добрецов Н.Л., Метелкин Д.В., Матушкин Н.Ю., Кулаков И.Ю.* Проблемы тектоники и тектонической эволюции Арктики // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 8. С. 1083–1107.
6. *Галабала Р.О.* Новые данные о строении дельты р. Лена (четвертичный период) Северо-Востока Азии. Магадан: СВКНИИ ДВО АН СССР, 1987. С. 152–172.
7. Геологическая карта республики Саха (Якутия) // Масштаб 1:1 500 000. Лист 1 / Л.Н. Ковалев (ред.). СПб.: ВСЕГЕИ, 2006.
8. Государственная геологическая карта Российской Федерации / Д.Ю. Большаинов, Б.С. Васильев, Н.П. Виноградова, А.В. Гавриш и др. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Лаптево-Сибироморская. Лист S-51 – Оленекский зал., S-52 – дельта р. Лены. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2014. 274 с.
9. *Григорьев М.Н., Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М., Куницкий В.В., Ларионов А.Г., Микуленко К.И., Скрябин Р.М., Тимиршин К.В.* Геология, сейсмичность и мерзлотные процессы Арктических районов Западной Якутии. Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1996. 84 с.
10. *Гусев Г.С.* Складчатые структуры и разломы Верхояно-Колымской системы мезозоид. М.: Наука, 1979. 207 с.
11. *Драчев С.С.* О тектонике фундамента шельфа моря Лаптевых // Геотектоника. 2002. № 6. С. 60–76.
12. *Заварзина Г.А., Шкарубо С.И.* Тектоника западной части шельфа моря Лаптевых // Нефтегаз. геология. Теория и практика. 2012. Т. 7. № 3. С. 1–18.
13. *Имаева Л.П., Имаев В.С., Козьмин Б.М.* Структурно-динамическая модель составных сегментов сейсмостектонической зоны Черского (континентальная часть Арктико-Азиатского сейсмического пояса) // Наука и образование. 2015. № 1. С. 22–30.
14. *Имаева Л.П., Имаев В.С., Мельникова В.И., Козьмин Б.М.* Новейшие структуры и тектонические режимы напряженно-деформированного состояния земной коры северо-восточного сектора Российской Арктики // Геотектоника. 2016. № 6. С. 3–22.
15. *Имаева Л.П., Имаев В.С., Козьмин Б.М.* Сейсмостектоническая активизация новейших структур Сибирского кратона // Геотектоника. 2018. № 6. С. 36–54.
16. *Кандрюкова Н.А.* Геоморфологическая и линеamentная структура дельты реки Лены по материалам дистанционной съемки // Вестник СПбГУ. Сер. науки о Земле. 2014. Вып. 1. С. 169–176.
17. *Коротаев В.Н.* Формирование гидрографической сети Ленской дельты в голоцене // Вестник МГУ. Сер. геогр. 1984. № 6. С. 39–44.
18. *Парфенов Л.М., Оксман В.С., Прокопьев А.В., Тимофеев В.Ф., Третьяков Ф.Ф., Трунилина В.А., Дейкуненко А.В.* Коллаж террейнов Верхояно-Колымской орогенной области // Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). М.: Наука. 2001. С. 199–254.
19. *Середкина А.И.* Тензор сейсмического момента землетрясений Северного Верхоянья и шельфа моря Лаптевых // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XII Международной сейсмологической школы 11–15 сентября 2017 г., Республика Казахстан. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. С. 338–341.
20. Сейсмостектоника северо-восточного сектора Российской Арктики / Л.П. Имаева, И.И. Колодезников (ред.). Новосибирск: ИЗК СО РАН–Ин-т алмаза и благородн. металлов, 2017. 136 с.
21. *Туктаров Р.М., Петров А.Ф., Шибяев С.В., Козьмин Б.М., Тимиршин К.В., Гейслер В.* Первые результаты изучения локальной сейсмичности в Арктической части Якутии (международная российско-германская экспедиция) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России. Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции 18–20 апреля 2018 г. Якутск: Издательский дом СВФУ, 2018. Т. 2. С. 193–196.
22. *Шкарубо С.И., Заварзина Г.А., Зуйкова О.Н.*

Результаты современного этапа изучения Лаптевоморского шельфа: от гипотез к новым фактам и проблемам // Разведка и охрана недр. 2014. № 4. С. 23–30.

23. *Drachev S.S., Mazur S., Campbell S., Green C., Tishchenko A.* Crustal architecture of the East Siberian Arctic Shelf and adjacent Arctic Ocean constrained by seismic data and gravity modeling results // *J. of Geodynamics*. 2018. P. 1–78.

24. *Fujita K., Kozmin B.M., Mackey K.G., Riegel S.A., Imaev V.S., McLean M.S.* Seismotectonics of the Chersky seismic belt, eastern Russia (Yakutia) and Magadan district, Russia // *Geology, geophysics and tectonics of Northeastern Russia: a tribute to Leonid*

Parfenov / Stephan Mueller Spec. Publ. 2009. Ser. 4. P. 117–145.

25. *Imaeva L.P., Gusev G.S., Imaev V.S., Mel'nikova V.I.* Neotectonic activity and parameters of seismotectonic deformations of seismic belts in the Northeast Asia // *J. of Asian Earth Sci.* 2017. V.148. P. 254–264.

26. <http://seismology.harvard.edu/resources.html>. Harvard University. Dep. of Earth and Planet. Sci. Accessed September–January, 2015.

27. <http://landsat.gsfc.nasa.gov/earthasart/lena.html>. Accessed June 2018.

Рецензенты В.Г. Трифонов, А.Н. Овсяченко

DYNAMICS OF THE RELIEF AND SEISMOTECTONIC ACTIVITY OF THE MODERN STRUCTURES IN THE DELTA OF THE RIVER LENA

L.P. Imaeva^{a,*}, G.S. Gusev^b, V.S. Imaev^{a,c}

^a*Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of RAS, 664033, Irkutsk, Russia*

^b*Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements of RAS, 121357, Moscow, Russia*

^c*Institute of Geology of Diamonds and Precious Metals, Siberian Branch of RAS, 677077, Yakutsk, Russia*

**e.mail: imaeva@crust.irk.ru*

Received January 25, 2019; Revised April 11, 2019; Accepted May 28, 2019

This paper presents seismogeodynamic analysis of modern structures located in the Lena river delta. These structures are key elements in the tectonic evolution of the shelf–continent transition zone in the Arctic segment of the boundary between the Eurasian and North American lithospheric plates. The geological structure of the Lena river delta is predetermined by the junction of the ancient Siberian platform and the Mesozoic Laptev Sea plate. These two large geoblocks of the crust, which differ in age, are separated by a fragment of the Kharaulakh segment of the Verkhoyansk fold system. In our study aimed to reveal regularities in seismotectonic destruction of the crust, we analyzed the geological and geophysical data on the crustal structure, active faults, modern structural plan, dynamic characteristics of the modern relief, and hydrological features characterizing of the flow redistribution in the Lena riverbed. A system of active faults identified in the Lena river delta shows a contrasting kinematic plan of the junction zone of the main geostructures. According to the analysis results, shear faulting is a dominant factor of impact on the morphologic features and seismogeodynamic activation of the modern structures. A regional right-lateral strike-slip fault of the sublatitudinal strike is traced as a major structural boundary that cuts the Lena river delta into several geodynamic segments. Seismotectonic destruction of the crust in the segments differs in types (transpression, transtension and compression). The above-mentioned fault is not only the main element of the kinematic plan of the newest structures in the Lena river delta – it controls the general structural pattern and seismotectonic parameters of active fault zones in the entire northern sector of the Verkhoyansk marginal suture. The seismogeodynamic analysis results obtained in our study provide a reliable basis for estimating potential seismic hazard of the modern structures in the Lena river delta and updating the available seismic zoning maps of the shelf–continent transition zone in the Arctic segment of the boundary between the Eurasian and North American lithospheric plates.

Keywords: Lena River delta, continental shelf zone, modern structures, dynamics of the relief, marginal suture, active faults, kinematic types, earthquake mechanism, seismotectonic deformation, tectonic stress types, geodynamic model of modern structures