

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НОВЕЙШИХ СТРУКТУР ОЛЕНЕКСКОГО И ВИЛЮЙСКОГО РАЙОНОВ ЯКУТСКОЙ КИМБЕРЛИТОВОЙ ПРОВИНЦИИ

Имаева Л. П., Имаев В. С., Козьмин Б. М.

Аннотация

Для Оленекского и Вилюйского районов Якутской кимберлитовой провинции впервые проведено комплексное сейсмотектоническое исследование, направленное на установление степени геодинамической активности новейших структур Сибирского кратона и оценке экологической опасности групп кимберлитовых полей. По степени активности и направленности геодинамических процессов разработаны региональные принципы классификации неотектонических структур Сибирского кратона и его горно-складчатого обрамления с обоснованием дифференциации их на классы. Проанализированы активные сегменты Верхоянского и Байкало-Патомского складчато-надвиговых поясов, которые оказывают динамическое влияние на стиль тектонических деформаций смежных участков Сибирской платформы, где локализованы группы кимберлитовых полей. Выявленные закономерности процессов сейсмотектонической деструкции позволили установить интенсивность и типы напряженно-деформированного состояния земной коры зон реактивизации краевых швов Сибирского кратона. С применением методов математической статистики для Оленекского и Вилюйского районов Якутской кимберлитовой провинции проведен количественный анализ геодинамических показателей геологической среды по значимым факторам активизации новейших структур, как проявлений единого процесса накопления и разрядки напряжений в земной коре. Комплекс сейсмотектонических данных позволил дифференцировать зоны активизации по степени интенсивности напряженно-деформированного состояния земной коры, а также оценить потенциальный экологический риск групп кимберлитовых полей Якутской алмазоносной провинции.

Ключевые слова:

Сибирский кратон, кимберлитовая провинция, группа кимберлитовых полей, краевой шов, активные разломы, кинематические типы, геодинамические показатели, механизм землетрясения, сейсмотектонические деформации, потенциальная сейсмичность

**ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НОВЕЙШИХ СТРУКТУР
ОЛЕНЕКСКОГО И ВИЛЮЙСКОГО РАЙОНОВ
ЯКУТСКОЙ КИМБЕРЛИТОВОЙ ПРОВИНЦИИ**

Л.П. Имаева¹, В.С. Имаев^{1,3}, Б.М. Козьмин²

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

*²Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН
677077, Якутск, пр. Ленина, д. 39*

*³Академия Республики Саха (Якутия),
677007, Якутск, пр. Ленина, д. 33*

e-mail: imaeva@crust.irk.ru

АННОТАЦИЯ

Для Оленекского и Вилюйского районов Якутской кимберлитовой провинции впервые проведено комплексное сейсмоструктурное исследование, направленное на установление степени геодинамической активности новейших структур Сибирского кратона и оценке экологической опасности групп кимберлитовых полей. По степени активности и направленности геодинамических процессов разработаны региональные принципы классификации неотектонических структур Сибирского кратона и его горно-складчатого обрамления с обоснованием дифференциации их на классы. Проанализированы активные сегменты Верхоянского и Байкало-Патомского складчато-надвиговых поясов, которые оказывают динамическое влияние на стиль тектонических деформаций смежных участков Сибирской платформы, где локализованы группы кимберлитовых полей. Выявленные закономерности процессов сейсмоструктурной деструкции позволили установить интенсивность и типы напряженно-деформированного состояния земной коры зон реактивизации краевых швов Сибирского кратона. С применением методов математической статистики для Оленекского и Вилюйского районов Якутской кимберлитовой провинции проведен количественный анализ геодинамических показателей геологической среды по значимым факторам активизации новейших структур, как проявлений единого процесса накопления и разрядки напряжений в земной коре. Комплекс сейсмоструктурных данных позволил дифференцировать зоны активизации по степени интенсивности напряженно-деформированного состояния земной коры, а также

оценить потенциальный экологический риск групп кимберлитовых полей Якутской алмазоносной провинции.

Ключевые слова: кимберлитовая провинция, кимберлитовые поля, активные разломы, кинематические типы, геодинамические характеристики, механизм землетрясения, сеймотектонические деформации, потенциальная сейсмичность, экологическая обстановка

GEODYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE NEWEST STRUCTURES OLENEK AND VILUI AREAS YAKUT KIMBERLITE PROVINCE

L. P. Imaeva^a, V. S. Imaev^{a, c}, B.M. Koz'min^b

*^aInstitute of the Earth's Crust, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
st. Lermontova 128, Irkutsk, 664033 Russia*

*^bInstitute of Diamond and Precious Metals Geology, Siberian Branch,
Russian Academy of Sciences, pr. Lenina 39, Yakutsk, 677077 Russia*

*^cAcademy of Sciences of the Sakha Republic (Yakutia),
pr. Lenina 33, Yakutsk, 677007 Russia*

e-mail: imaeva@crust.irk.ru

ABSTRACT

For the Olenek and Vilyui districts of the Yakut kimberlite province, a comprehensive seismotectonic study was conducted for the first time, which was aimed at establishing the degree of geodynamic activity of the latest structures Siberian craton and assessing the environmental hazard of groups of kimberlite fields. According to the degree of activity and orientation of geodynamic processes, regional principles for the classification of neotectonic structures of the Siberian craton and its mountain-folded frame with the rationale for their differentiation into classes have been developed. The active segments of the Verkhoyansk and Baikal-Patom fold-thrust belts are analyzed, which have a dynamic effect on the style of tectonic deformations of adjacent sections of the Siberian platform, where groups of kimberlite fields are localized. The revealed patterns of seismotectonic destruction processes made it possible to establish the intensity and types of stress-strain state of the earth's crust of the reactivation zones of the marginal sutures of the Siberian craton. Using the methods of mathematical statistics for the Olenek and Vilyui districts of the Yakut kimberlite province, a quantitative analysis of the geodynamic parameters of the geological environment was carried out by significant factors of activation of the latest structures, as manifestations of a single process of accumulation and

discharge of stresses in the earth's crust. The complex of seismotectonic data allowed us to differentiate the zones of activation according to the degree of intensity of the stress-strain state of the earth's crust, as well as to assess the potential environmental risk of groups of kimberlite fields in the Yakutsk diamondiferous province.

Keywords: kimberlite province, kimberlite fields, active faults, kinematic types, geodynamic characteristics, earthquake mechanism, seismotectonic deformations, potential seismicity, environmental risk.

ВВЕДЕНИЕ

Создание научных основ безопасных и эффективных технологий эксплуатации месторождений алмазов базируется на проведении разномасштабного сейсмотектонического анализа, данные которого учитывают фактор времени и отражают равномерную для конкретного уровня риска расчетную интенсивность сейсмических сотрясений. Геодинамические процессы, происходящие в земной коре, отличаются сложностью и зависят от множества факторов, действие которых в разных по активности тектонических структурах проявляются дифференцировано. Проблема сейсмотектонической активизации структур докембрийских кратонов, которые традиционно считаются в тектоническом отношении стабильными областями, в последнее время пересматривается. [Артюшков и др., 2018]. Как отмечалось нами ранее [Имаева и др., 2018], на территории Сибирского кратона инструментальными сейсмологическими наблюдениями зарегистрирован ряд эпицентров землетрясений с $M_w = 4.0-5.7$ и зафиксированы высокоградиентные зоны деформаций новейших и современных вертикальных тектонических движений.

Исследования, представленные в данной статье, направлены на установление степени геодинамической активности новейших структур Сибирского кратона и оценке экологической опасности групп кимберлитовых полей Оленекского и Вилюйского районов Якутской алмазоносной провинции. Группы кимберлитовых полей данных районов расположены в различных тектонических структурах, а некоторые из них, сближены с зонами динамического влияния краевых швов Сибирской платформы. На примере проведения комплексного сейсмотектонического исследования показано, что среднемасштабный анализ геодинамических параметров по значимым факторам активизации новейших структур, позволяет дифференцировать контактные зоны краевых швов по степени интенсивности напряженно-деформированного состояния земной коры, а также оценить экологическую обстановку групп кимберлитовых полей Оленекского и Вилюйского районов Якутской алмазоносной провинции.

В процессе исследования решались следующие научные задачи:

- анализ опубликованных структурно-тектонических, геолого-геофизических, геодезических и сейсмологических данных,
- разработка региональных принципов классификации неотектонических структур Сибирского кратона с обоснованием дифференциации их на классы;
- выявление активных сегментов Верхоянского и Байкало-Патомского складчато-надвиговых поясов, которые оказывают динамическое влияние на стиль тектонических деформаций кимберлитовых полей смежных участков Сибирской платформы;
- установление интенсивности и типов напряженно-деформированного состояния земной коры зон реактивизации краевых шовных зон Сибирского кратона;
- проведение количественного анализа геодинамических характеристик геологической среды по значимым показателям факторного анализа;
- оценка потенциального экологического риска групп кимберлитовых полей Оленекского и Вилуйского районов Якутской алмазоносной провинции.

В основу исследований положен региональный материал тематических исследований авторов. Также использованы сведения по геологии, тектонике, геофизике, сейсмогеологии и других смежных дисциплин, полученные другими производственными и научно-исследовательскими организациями.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для решения поставленных задач нами был применен новый комплекс исследований, направленный на выявление степени геодинамической активности новейших структур Оленекского и Вилуйского районов Якутской кимберлитовой провинции и определения параметров их сейсмоструктурных деформаций. По степени активности и направленности геодинамических процессов для всей территории Сибирского кратона были разработаны региональные принципы классификации неотектонических структур с обоснованием дифференциации их на классы [Карта..., 2015; Гусев и др., 2016; Сейсмоструктура..., 2017; Imaeva et al., 2017]. Новейший геодинамический площадной таксон территориального ранга рассматривается нами, как пространственно локализованный целостный объект с многофакторным взаимодействием его основных компонентов в разрезе земной коры. Здесь мы используем термины «домен» и «новейшая структура» как синонимы, и термин «сегмент» объединяет ряд доменов (новейших структур), которые в своем развитии подчиняются единым геодинамическим условиям.

Классификация доменов представляет собой многоуровневую систему, состоящую из 8 классов активности современных геодинамических процессов формирования

неотектонических структур. Каждый класс активности характеризуется свойственным ему набором и оптимальным количеством признаков. В их числе рассматриваются следующие факторы: тектонический (геодинамическая обстановка); вещественный, геофизический (величина теплового потока, аномалии поля силы тяжести, мощность земной коры); морфоструктурный (высота рельефа, его контрастность, скорость вертикального и горизонтального перемещения земной поверхности). Дополнительно рассматривалась унаследованность динамики неотектонических структур в зависимости от условий формирования в предшествующие этапы развития домена, а также деформационные признаки и GPS данные. Определение геодинамической активности неотектонических структур и установление конкретного класса осуществлялась путем интерпретации как первичных, так и дополнительных характеристик. По степени активности новейших тектонических движений классы доменов объединяются в три группы: низкая (классы 1–2), умеренная (классы 3–5) и высокая (классы 6–8). Зональность активности геодинамических процессов неотектонических структур Сибирской платформы ее горно-складчатого обрамления представлены на рис. 1.

Геодинамические показатели деформации геологической среды, способные вызвать экологические последствия, в первую очередь связаны с интенсивностью проявлений напряженно-деформированного состояния земной коры, позволяющих оценить степень ее деструкции. Такими данными могут являться: сейсмичность; новейшие и современные тектонические движения; особенности распространения тектонической трещиноватости и сети разрывных нарушений и др. Набор геодинамических показателей геологической среды для платформенных и орогенных структур, характеризующихся различным типом напряженно-деформированного состояния земной коры, существенно отличается. Этот факт должен учитываться другими исследователями. Для оценки значимости геодинамических характеристик Оленекского и Вилюйского районов Якутской кимберлитовой провинции нами была применена методика (R-модификация) факторного анализа, которая является многомерно-статистической и выделяет вклады отдельных факторов [Гзовский, 1975; Николаев, 1980]. Данная методика впервые была применена нами при сейсмотектоническом анализе активных структур зон коллизии Арктико-Азиатского и Байкало-Станового сейсмических поясов, где подробно описаны подсчеты плотностных характеристик и классификация активности современных геодинамических процессов [Имаев и др., 2000; Имаева и др., 2005]. При этом принимались во внимание следующие факторы: плотность разломов (P), градиенты новейших вертикальных тектонических движений ($\text{Grad } V$), амплитуда новейших тектонических движений (A),

плотность эпицентров землетрясений (S), геофизические данные, характеризующие аномалии поля силы тяжести (G).

Рассмотренные матрицы корреляционных связей площадного факторного анализа показала наличие положительных значимых связей между отдельными переменными. Наиболее устойчивы между собой ассоциации следующих элементов: плотность разломов – плотность эпицентров – геофизические данные ($r = 0.6$); плотность разломов – градиент новейших тектонических движений – амплитуда новейших тектонических движений ($r = 0.3$). Одной из форм записи полученных значений сравниваемых параметров служат факторные уравнения, представляющие собой произведение множителей, расположенных в последовательном порядке по мере уменьшения соответствующего коэффициента корреляции. По результатам анализа уравнение геодинамического процесса может быть записано в следующем виде: $F = P_{0.8} \times A_{0.6} \times \text{Grad } V_{0.6} \times S_{0.5} \times G_{0.4}$. При этом три первых фактора (показателя) являются наиболее весомыми и в сумме достигают 80 % влияния: плотность разломов, амплитуда новейших тектонических движений и градиент новейших вертикальных тектонических движений. При оценке потенциального экологического риска групп кимберлитовых полей Оленекского и Вилуйского районов мы пользовались наиболее значимыми показателями факторного анализа (плотность разломов и градиенты новейших вертикальных тектонических движений). Другие геодинамические факторы: тепловой поток, скорость современных вертикальных тектонических движений, сейсмическая активность, принимались во внимание в виде абсолютных величин при определении класса геодинамической активности неотектонических структур и итоговой оценке экологического риска групп кимберлитовых полей.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Активизация тектонических структур Сибирского кратона. Основную часть Сибирского кратона занимает платформа, образованная сложно деформированными метаморфическими породами фундамента, которые перекрыты полого залегающими осадочными и вулканическими отложениями чехла [Мокшанцев и др., 1975; Гусев и др., 1985; Структура и эволюция, 1985; Прокопьев и др., 2001]. Верхоянский и Байкало-Патомский складчато-надвиговые пояса являются ее восточной и южной окраинами (рис. 2). Верхоянский складчато-надвиговой пояс образован мощным (до 15 км) клином деформированных пород карбона, перми, триаса и юры, которые представляют собой типичные накопления пассивной континентальной окраины [Гусев и др., 1985; Прокопьев, Дейкуненко, 2001]. Байкало-Патомский складчато-надвиговой пояс представляет собой недифференцированную зону, сложенную ниже- и верхнеархейскими разнородными

комплексами. Начиная с раннего протерозоя и все последующее время, он развивался как структура сводово-глыбового типа, испытывая перманентно поднятие, размыв и внедрение интрузий различного возраста и состава [Гусев и др., 1985; Структура и эволюция, 1985; Смелов и др., 2001].

За новейший этап тектонического развития структуры Сибирского кратона испытали сравнительно дифференцированные поднятия, величины которых колеблются от 100 до 1500 м. Важной особенностью неотектонической структуры является большая плотность линейных тектонических нарушений [Структура и эволюция, 1985]. Границы неотектонических структур совпадают с активизированными разломами различного ранга, возраста и глубины заложения. Это указывает на то, что новейшие движения носят преимущественно блоковый характер и отражают общую тенденцию тектонического развития территории [Имаева и др., 2018]. Степень геодинамической активности новейших структур Сибирского кратона (рис. 1) и плановое распределение элементов (рис. 2) показывают, что наиболее высокие **показатели** геодинамической активности характерны для региональных сдвиговых зон и краевых швов надвиговой природы, отделяющих Сибирскую платформу от Верхояно-Колымской и Байкало-Становой складчатых систем. Для центральных областей Сибирской платформы характерны низкие и умеренные значения характеристик геодинамической активности неотектонических структур (рис. 1).

Обращает на себя внимание факт, что слабо активизируемые структуры платформы отличаются дифференцированным полем скоростей современных вертикальных тектонических движений и их высокими значениями (рис. 2). Высокоградиентные зоны деформаций современных движений фиксируется на северном борту Анабарской антеклизы. Их плановый рисунок типичен для периферических зон гляциоизостатических поднятий других платформ. Скорость вертикальных движений в аналогичных структурах достигает десятков сантиметров в год, что на 1–2 порядка превышает их значения вне ледниковых зон, что сопоставимо с геодезическими параметрами Анабарской антеклизы [Никонов, 1977]. Другим фактором активизации тектонических структур докембрийских кратонов в плиоцен-четвертичное время возможно является поступление в литосферу за последние несколько миллионов лет большого объема флюидов [Трифонов, 1999; Артюшков, 2003; Трифонов и др., 2008; Артюшков и др., 2018 и др.]. Индикаторами их воздействия на геологическую среду считаются месторождения флюидного генезиса, в том числе и кимберлиты [Летников, 2006]. Примером активизации данного типа может являться Оленекский кимберлитовый район, где сформированы обширные высокоградиентные зоны деформаций с максимальными значениями скоростей новейших и современных вертикальных тектонических движений (рис. 2).

К геодинамическим факторам активизации новейших структур платформы и реактивизации ее краевых швов помимо структурно-динамических характеристик относятся и данные теплового потока (рис. 2). Для Сибирской платформы характерно преобладание низких значений, которые составляют в среднем 20–35 мВт/м² [Дучков, Соколова, 1997; Дучков и др., 2018]. Выше этого уровня (до 50–70 мВт/м²) значения отмечаются в области динамического влияния краевых швов, что возможно связано с теплогенерацией в ходе коллизионных процессов на границе литосферных плит. В пределах кимберлитовой провинции Сибирского кратона при максимальной мощности криолитозоны был зафиксирован аномально низкий тепловой поток (20–30 мВт/м²). Криолитозона такой мощности могла сформироваться только при условии существования здесь низких значений теплового потока 20–15 тыс. л. н. [Балобаев, 1991]. В аналогичных кимберлитовых провинциях платформ Америки и Африки средний геотермический тепловой поток практически одинаков и изменяется в пределах 46–54 мВт/м². Вследствие этого тепловые аномалии Якутской кимберлитовой провинции, возможно, являются «поверхностными» и не отражает температурные условия в глубоких слоях земной коры.

СейсмоTECTоника. В данном подразделе проанализированы активные сегменты Верхоянского и Байкало-Патомского складчато-надвиговых поясов, которые оказывают динамическое влияние на стиль тектонических деформаций смежных участков Сибирской платформы, где локализованы группы кимберлитовых полей Оленекского и Вилюйского районов Якутской кимберлитовой провинции. Краевые шовные зоны Сибирского кратона пространственно сближены с главными сейсмогенерирующими структурами Верхоянской и Байкало-Становой складчатых систем и сопряжены с ними по определенному кинематическому типу (рис. 1, 2). В данных зонах проявлены основные эпицентральные поля, сейсмологические параметры которых, полностью отражают стиль тектонических деформаций сопряженных разломных систем. Активизация краевых шовных зон, оказывает динамическое воздействие на возникновение в контактных структурах Сибирской платформы проявлений местной сейсмичности.

В Оленекском кимберлитовом районе, расположенном в основном в градиентной зоне умеренных значений показателей геодинамической активности, зарегистрированы единичные местные сейсмические события средней интенсивности с $M_w = 4.0–5.5$. Основная зона проявлений местной сейсмичности проходит в пределах Лено-Анабарского краевого шва, тектонические структуры которого, отделяют активную в сейсмическом отношении область шельфовой части моря Лаптевых от менее активных и пассивных структур северной и центральной части Сибирской платформы (рис. 1, 2). Тектонические структуры Лено-Анабарской шовной зоны отчетливо дешифрируются на аэрофото и

космоснимках, а также отражаются в геофизических полях [Прокопьев и др., 2001]. В качестве основных тектонических элементов здесь выделяются: Анабаро-Хатангская седловина, Оленекский сектор Верхоянского складчато-надвигового пояса, Лено-Анабарский прогиб и Оленекское поднятие (рис. 3). Наиболее активен Оленекский сектор, фронтальная зона которого, при ширине до 70 км, протягивается на 500 км в широтном направлении от устья р. Лена до Хатангского залива. Тектонические структуры сектора представлены серией складок запад – северо-западного простирания, сформированных в мезозое под влиянием субширотных левосдвиговых перемещений вдоль северной окраины Сибирской платформы. На это указывают кулисная ориентировка складок, а также резкий разворот структур на фланге северного крыла и косо расположенные сбросы на западе южного крыла данной сдвиговой зоны. Можно полагать, что Оленекский сектор в наземном выражении определяет фронт крупной позднемезозойской Верхоянской покровно-складчатой системы. В окрестностях дельты р. Лена зона деформаций меняет близдолготное простирание на субширотное и прослеживается под мощным чехлом Южно-Лаптевского рифтового прогиба до ее сопряжения с Южно-Таймырской складчатой зоной [Сейсмогеология..., 2017].

Активизированные структуры Оленекского сектора в сейсмическом отношении приурочены к Лено-Таймырской зоне эпицентров землетрясений (рис. 1). За период инструментальных наблюдений здесь было отмечено около 400 местных землетрясений, происходящих в пределах земной коры на глубинах 10–30 километров. Внутри зоны выделяются несколько максимумов сейсмической активности (рис. 3), которые коррелируются с субширотной системой гравитационных аномалий различной интенсивности. Сейсмический процесс в Лено-Таймырской эпицентральной зоне развивается как в условиях растяжения (дельта р. Лена, побережье Оленекского и Анабарского заливов), так и обстановки сжатия (п-ов Таймыр). Такое разнообразие решений фокальных механизмов объясняет наличие здесь различного кинематического спектра разрывных нарушений (сбросы, взбросы, сдвиги и их модификации). По расчетам сейсмогеологических деформаций в пределах Лено-Анабарского структурного шва действует преимущественно режим растяжения земной коры с небольшой сдвиговой компонентой. Азимут действия напряжений растяжения, при сравнении с подобными в Лаптевоморской рифтовой зоне, отличается своей ориентацией. Направления главных осей напряжений указывают на расположение их вкrest простирания основных тектонических элементов и при пологих углах погружения они имеют северо-восток – юго-западное направление [Имаева и др., 2016].

Вилуйский кимберлитовый район находится в зоне динамического влияния сейсмогенерирующих структур западного фланга Байкало-Станового сейсмического пояса (рис. 1, 2). Здесь наиболее активизирована юго-восточная часть Предпатомского прогиба, выраженная в виде сложно построенной синклинальной структуры, которая может рассматриваться как длительно развивающийся Предпатомский краевой прогиб [Гусев и др., 1985; Прокопьев, Дейкуненко, 2001]. Тектонические структуры прогиба являются пограничными и активизированы в сейсмотектоническом отношении активными процессами как Байкальской рифтовой зоны, так и Становой складчатой системы. Юго-восточная часть Предпатомского прогиба сложена мощными позднекембрийскими отложениями, суммарная мощность которых в центральной ее части достигает 12–14 км, а к периферии уменьшается до 4–5 км. Выделяются внешняя Приленская и внутренняя Бодайбинская подзоны, существенно различающиеся по своему строению (рис. 4).

Во внешней подзоне Патомского краевого шва развиты линейные асимметричные, нередко опрокинутые в сторону платформы складки, интенсивность которых уменьшается в северном направлении. Наиболее сложным строением характеризуются складки, протягивающиеся вдоль северо-восточного фланга Предпатомской зоны близ границы ее с Березовской впадиной, характеризующиеся крутыми крыльями (30–70°) и узкими сводами. На северо-западном фланге зоны развиты менее крутые, иногда брахиформные складки, осложненные крупноамплитудными нарушениями. По данным глубокого бурения и сейсморазведочным исследованиям, было расшифровано внутреннее строение впадины [Прокопьев, Дейкуненко, 2001]. Установлено, что картируемые линейные складки и антиклинальные зоны являются отражением сложной глубинной надвиговой структуры, представляющей собой комбинацию различных типов дуплексов, рамповых антиклиналей и чешуйчатых вееров. Базальный срыв надвиговой зоны последовательно переходит на более высокие стратиграфические уровни при движении в сторону Сибирской платформы. Суммарное горизонтальное тектоническое укорочение составляет 10–15 км. В тыловой части зоны рифейские отложения Патомского синклинория по Байкало-Патомской системе надвигов надвинуты на образования Нюйско-Джербинской впадины. Ядра крупных антиклинальных зон представлены дуплексами, реже одиночными рамповыми антиклиналями [Прокопьев, Дейкуненко, 2001]. Западный борт Березовской впадины нарушен фронтальными надвигами Жуинской системы, по которым рифейские толщи перекрывают кембрийские отложения западного склона Алданской антеклизы. В тыловой части зоны, западнее Жуинских надвигов, картируются кулисно ориентированные линейные складки, а сами разломы имеют комбинированную взбросо-правосдвиговую кинематику.

Сейсмотектонические исследования данной территории показывают, что в ее пределах продолжается формирование обширных сводовых поднятий. В ряде случаев современные движения земной коры приобретают контрастный характер, что приводит к активизации краевых швов и региональных разрывных нарушений. Такие тектонические подвижки могут сопровождаться проявлениями сейсмической активности. Прямым подтверждением возможности появления сейсмических событий служат ряд местных землетрясений, зарегистрированных в 1957–2018 годах (рис. 1, 3). Зона сейсмичности выражена в виде единичных землетрясений, которые отмечены на левобережье р. Лена (между Пеледуем и Олекминском), а также на севере Патомского нагорья. В Березовском прогибе отмечено Средне-Ленское (Меликчанское) землетрясение с $M_w = 5.5–5.7$, эпицентр которого расположен в бассейне р. Бирюк, левого притока реки Лены [Имаева и др., 2018]. Его механизм (правый взбросо-сдвиг по субдолготной плоскости) полностью отражает стиль тектонических деформаций в зоне контакта (по Жуинскому разлому) структур Предпатомского прогиба и Алданской антеклизы, а также направленность сейсмотектонической активизации от структур Байкало-Патомского складчато-надвигового пояса к Сибирской платформе.

Геодинамические характеристики факторного анализа Оленекского и Вилюйского районов Якутской кимберлитовой провинции. При оценке геодинамических показателей факторного анализа для отдельных групп кимберлитовых полей мы пользовались наиболее значимыми из них: плотность разломов и градиенты новейших вертикальных тектонических движений (рис. 5, 6). Схемы амплитуд новейших вертикальных тектонических движений с обозначенными линиями активных разломов (рис. 5а и 6а), являлись расчетными для выше обозначенных двух факторов.

Для Оленекского района, который объединяет Куонапскую (1–6), Средне-Оленекскую (7–10) Нижне-Оленекскую (11–15) группы кимберлитовых полей, характерно совпадение простираения изолиний плотности разломов и основных кимберлитоконтролирующих зон (рис. 5б). Максимальная плотность разломов (≥ 5) отмечена для единичных кимберлитовых полей Куонапской и Средне-Оленекской групп. В остальных случаях эта величина плотности разломов приурочена к областям сочленения региональных разломов (на севере участка) или к зонам их динамического влияния (на юге). Для Нижне-Оленекской группы кимберлитовых полей характерно однородное поле средних плотностных значений, лишь центральная часть Толоупского поля находится в зоне минимальных величин. Куонапская группа кимберлитовых полей отличается более высоким уровнем тектонической трещиноватости. В основном ее поля тяготеют к областям высоких значений плотности разломов с переходом к средним величинам (Орто-

Наргинское, Дюкенское, Лучаканское, Куранахское поля). Исключение составляют Староречинское и часть Ары-Мастахского кимберлитового поля, где фиксируется максимальная плотность разломов. Средне-Оленекская группа находится в зоне высоких плотностных значений (Восточно-Укукутское поле) с их переменной в сторону повышения (Огонер-Юряхское поле) и понижения величин плотности разломов (Западно-Укукутское и Чомурдахское поля).

В приделах Оленекского кимберлитового района распространены значительные площади, занятые зонами максимальных и высоких значений градиента скоростей новейших вертикальных тектонических движений (рис. 5в). Они приурочены к областям резко расчлененного рельефа, где развита сеть активных разрывных нарушений (рис. 5а). Ориентация зон градиента скоростей соответствует простиранию основных морфоструктурных элементов участка. Области минимальных значений градиента расположены, в основном, на юге и оконтуривают выравненные водораздельные поверхности. Нижне-Оленекская группа кимберлитовых полей характеризуется градиентными зонами со значительным разбросом их значений: от высоких на севере и западе, до минимальных на юге. Для Куонапской группы кимберлитовых полей отмечается преобладание высоких и максимальных значений градиентных зон. Так, Лучаканское и Дюкенское поля находятся в однородных областях максимальных значений. Ары-Мастахское поле на юге характеризуется максимальными значениями градиента, величина которого к северу уменьшается до средних значений. Ортонаргинское и Староречинское кимберлитовые поля расположены в зонах высоких и средних значений градиента. В Средне-Оленекской группе для Западного-и Восточно-Укукутского полей характерны резкие смены значений градиентных зон от минимальных и средних до максимальных величин. Чомурдахское и Огонер-Юряхское кимберлитовые поля расположены в зоне минимальных значений градиента скоростей новейших вертикальных тектонических движений.

Для *Вилуйского* района, который объединяет Мало-Ботуобинскую (Мирнинскую) (18), Далдыно-Алакитскую (16–17) группы кимберлитовых полей, характерна более высокая степень плотность разломов (рис. 6б). Зоны максимальных и высоких величин охватывают здесь большую площадь, расположенную в областях динамического влияния региональных разломов. Мало-Ботуобинская (Мирнинская) кимберлитовая группа оконтурена изометричным субдолготным максимумом высоких значений плотности разломов в центре и на западе. Для кимберлитовых полей Далдыно-Алакитской группы характерен значительный разброс плотностных величин. Мало-Ботуобинское поле на севере имеет зону высоких значений плотности разломов, а к югу их величины

понижаются. На юге Алакитского кимберлитового поля фиксируется плотностный максимум, который к северу уменьшается до средних значений. Однородностью тектонической трещиноватости отличается Далдынское поле, для которого характерно преобладание средних плотностных величин с незначительным увеличением значений плотности разломов к востоку. Накынская группа кимберлитовых полей (№ 6 на рис. 1, 2) характеризуется сходными характеристиками с кимберлитовыми полями Далдыно-Алакитской группы.

Вилюйский кимберлитовый район резко отличается от Оленекского низкой степенью контрастности неотектонических движений (рис. 6в). Здесь преобладают зоны минимальных и средних значений градиента скоростей новейших вертикальных тектонических движений, а зоны с максимальными и высокими показателями имеют локальное распространение на севере, западе и востоке. Мало-Ботуобинское (Мирнинское) поле полностью размещается в пределах области минимальных значений градиентов, что согласуется со слабой расчлененностью рельефа его рельефа. Территория кимберлитовых полей Далдыно-Алакитской группы характеризуется различными по интенсивности градиентными зонами. Мало-Ботуобинское поле однородно и расположено в области минимальных величин градиента. Алакитское и Далдынское кимберлитовые поля более дифференцированы в градиентном отношении. Значения градиента скоростей здесь увеличиваются с юга на север от минимальных величин, до максимальных. Накынская группа кимберлитовых полей характеризуется максимальными значениями градиента скоростей новейших вертикальных тектонических движений.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

При оценке потенциальной экологической опасности групп кимберлитовых полей Оленекского и Вилюйского районов мы пользовались расчетными показателями, как факторного анализа (плотность разломов и градиенты новейших вертикальных тектонических движений (рис. 5, 6)), так и абсолютными величинами других геодинамических характеристик активизации новейших структур (геодинамическая активность, скорость современных вертикальных тектонических движений, интенсивность сейсмической активности в баллах (рис. 1, 2)). В зависимости от полученных значений геодинамических показателей геологической среды нами оценена степень экологической опасности отдельных групп кимберлитовых полей, согласно критериям оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 30 ноября 1992 года [<http://docs.cntd.ru...>,

2019]. В данном руководстве указывается, что «геодинамические показатели деформации геологической среды с экологическими последствиями могут быть представлены в форме интенсивности и масштаба проявления современного напряженно-деформированного состояния верхних частей литосферы. Эти показатели определяются параметрами критических скоростей деформации и масштабом ожидаемого сейсмического эффекта». В документе разработана шкала оценки экологической обстановки территорий (относительно удовлетворительная, напряженная, критическая, катастрофическая (или зона экологического бедствия)), которой мы пользовались. Нами составлена результирующая таблица «Геодинамические характеристики новейших структур Оленекского и Вилюйского районов Якутской кимберлитовой провинции», где отражены все анализируемые факторы активизации новейших структур и оценена степень экологической опасности (табл.).

Оленекский район расположен в зоне контакта тектонических структур Анабарского щита и одноименной антеклизы. Он находится в дифференцированном поле общих показателей геодинамической активности новейших структур (табл.). Практически все кимберлитовые поля расположены в зонах со значительным разбросом плотности разломов, градиентов скоростей современных и новейших вертикальных тектонических движений (рис. 2, 5) и низких и умеренных значений геодинамической активности (рис. 1). В его пределах территории Куонапской и Средне-Оленекской кимберлитовых групп могут оцениваться относительно удовлетворительной экологической обстановкой. По рангу неотектонического районирования кимберлитовые поля этих групп расположены в морфоструктурных областях с незначительными амплитудами положительных неотектонических движений (рис. 5а). Часть кимберлитовых полей Куонапской и Средне-Оленекской кимберлитовых групп, находящихся в зонах максимальных и средних значений геодинамических характеристик факторного анализа (рис. 5б, в), а также расположенные в высокоградиентных зонах скоростей современных вертикальных тектонических движений (рис. 2), могут быть отнесены к областям структурно-динамической неустойчивости.

Нижне-Оленекская группа кимберлитовых тел данного района приближена к зонам динамического влияния региональных разломов краевых швов Сибирской платформы, которые характеризуются повышенной степенью тектонической трещиноватости и сейсмической активности (рис. 1, 2). Здесь отмечены высокие значения теплового потока и зарегистрирован ряд землетрясений слабого и среднего уровня ($M_w = 4.0-5.7$). Сеймотектоническая реактивизация краевых швов Верхоянского складчато-надвигового пояса может оказывать динамическое влияние на смежные участки Сибирской платформы,

где расположены кимберлитовые поля Нижне-Оленекской группы. С учетом этого у фактора экологическая ситуация оценивается здесь как напряженная. Томторское месторождение редкоземельных элементов, которое расположено между Куонапской и Нижне-Оленекской группами кимберлитовых тел, характеризуется повышенными значениями геодинамической активности новейших структур (рис. 1, 2) и сходной степенью экологической опасности.

Вилуйский район практически весь расположен в зонах низкой и умеренной геодинамической активности новейших структур (рис. 1). По периметру он оконтурен изометричными линиями максимальных и высоких значений величин плотности разломов (рис. 6а). Учитывая данный фактор, его структурно-динамическая обстановка в целом оценивается как напряженная. По второму фактору (градиент скоростей новейших вертикальных тектонических движений) Далдыно-Алакитская группа кимберлитовых полей находится в высокоградиентной зоне перехода от минимальных значений к максимальным, а Мало-Ботубинская группа приурочена к зоне минимальных значений градиента (рис. 6б). Необходимо учитывать факт расположения северного участка района (Далдыно-Алакитская группа) в зоне высоких значений скоростей современных вертикальных тектонических движений, а южного (Мало-Ботубинская группа) – в зоне отрицательных значений (рис. 2). Совместное рассмотрение этих показателей позволяет дать общую экологическую оценку данного района как относительно удовлетворительную с возможным переходом в напряженную (Мало-Ботубинская группа), что обусловлено близостью южной кимберлитовой группы к сейсмоактивным структурам периферийной зоны Байкало–Станового сейсмического пояса.

На «Карте сейсмотектоники Восточной Сибири» территория Якутской кимберлитовой провинции отнесена к сейсмоопасной области с интенсивностью сотрясений в 5–7 баллов [Карта..., 2015]. Поля деформаций сейсмотектонических зон на территории кимберлитовых районов сформированы в соответствии с динамикой фронтальных блоков зон коллизии: Лено-Таймырской – на севере (Оленекский кимберлитовый район) и Байкало-Становой – на юге (Вилуйский кимберлитовый район). Помимо местных сейсмических событий ($M_w = 4.0–5.7$), данный регион может испытывать также транзитные воздействия от сильных землетрясений из соседних сейсмических поясов. Кроме того, в районе Вилуйского водохранилища не исключено появление «наведенной сейсмичности», когда под влиянием водной линзы водохранилища может увеличиваться давление на нижележащие горные породы. В таких случаях изменяется равновесный тектонический баланс с ответной реакцией геологической среды в виде подземных толчков, что на порядок увеличивает уровень сейсмической опасности. В

мировой практике гидросооружений зафиксированы подобные явления. Возникновение в этом районе землетрясений даже средней интенсивности (6–7 баллов) может привести к экологическим последствиям значительных масштабов. На изменение уровня сейсмической активности могут также влиять и горные работы, сопровождаемые крупными взрывами в карьерах алмазодобычи. Оценка геодинамических характеристик геологической среды по отдельным факторам для групп кимберлитовых тел Оленекского и Вилюйского районов Якутской кимберлитовой провинции района дает лишь приближенные результаты. Необходим анализ многолетних инструментальных наблюдений за сейсмической обстановкой данных объектов и проведение крупномасштабных геодинамических исследований.

ВЫВОДЫ

Сеймотектонические исследования, направленные на установление степени геодинамической активности новейших структур Сибирского кратона и оценке экологической обстановки Оленекского и Вилюйского районов Якутской алмазоносной провинции, позволили сделать следующие выводы:

1. Количественный анализ геодинамических характеристик геологической среды, проведенный для отдельных кимберлитовых полей Оленекского и Вилюйского районов, обосновал значимость используемых параметров, как проявлений единого процесса накопления и разрядки напряжений в земной коре.

2. Зоны реактивизации краевых швов и фронтальные сегменты Верхоянского и Байкало-Патомского складчато-надвиговых поясов оказывают динамическое влияние на стиль тектонических деформаций и сейсмическую активизацию смежных участков Якутской кимберлитовой провинции Сибирской платформы.

3. Проведенные исследования позволили дифференцировать отдельные группы кимберлитовых полей Оленекского и Вилюйского районов по степени потенциальной сейсмической опасности и экологического риска.

Данное научное исследование проведено при поддержке РФФИ (грант 19-05-00062 «Динамика новейших структур континентально-шельфовой зоны северо-восточного сектора Российской Арктики»).

ЛИТЕРАТУРА

Артюшков Е.В. Резкое размягчение континентальной литосферы как условие проявления быстрых и крупномасштабных тектонических движений // Геотектоника, 2003. № 2. С. 39–56.

Артюшков Е.В., Кориковский С.П., Массон Х.-Й., Чехович П.А. Природа плиоцен-четвертичных поднятий земной коры на докембрийских кратонах // Проблемы тектоники и геодинамики земной коры и мантии. Материалы I Тектонического совещания. Т. 1. М.: ГЕОС, 2018. С. 11–14.

Балобаев В.Т. Геотермия мерзлой зоны литосферы севера Азии. Новосибирск: Наука, 1991. 194 с.

Бочаров Г.В., Гусев Г.С., Есипова Л.В., Спектор В.Б. Карта современных движений территории Якутской АССР // Геотектоника. 1982. № 3. С. 60–63.

Брахфогель Ф.Ф., Зайцев А.И., Шамшина Э.А. Возраст кимберлитовых магматитов – основа прогнозирования алмазности территорий // Отечественная геология, 1997. № 9. С. 20–24.

Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. 535 с.

Гусев Г.С., Петров А.Ф., Фрадкин Г.С. Структура и эволюция земной коры Якутии. М.: Наука, 1985. 248 с.

Гусев Г.С., Межеловский Н.В., Имаева Л.П. Тектонические (геодинамические) процессы и обстановки // Тектонический кодекс России. Гл. 3. С. 59–78. М.: ГЕОКАРТ: ГЕОС, 2016. 240 с.

Дучков А.Д., Соколова Л.С. Термическая структура литосферы Сибирской платформы // Геология и геофизика, 1997. Т. 38. № 2. С. 494–503.

Дучков А.Д., Железняк М.Н., Аюнов Д.Е., Веселов О.В., Соколова Л.С., Казанцев С.А., Горнов П.Ю., Добрецов Н.Н., Болдырев И.И., Пчельников Д.В., Добрецов А.Н. // Геотермический атлас Сибири и Дальнего Востока (2009–2015) / <http://maps.nrcgit.ru/geoterm/map.ru>. Дата обращения 16 февраля 2018 г.

Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. Сейсмоструктура Якутии. М.: ГЕОС, 2000. 227 с.

Имаева Л.П., Имаев В.С., Козьмин Б.М., Слепцов С.В. Геодинамические показатели активности земной коры восточной части Сибирской платформы // Отечественная геология, 2005. № 5. С. 88–91.

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. DOI: 10.7868/S0016853X16060035.

Имаева Л.П., Имаев В.С., Козьмин Б.М. Сейсмоструктурная активизация новейших структур Сибирского кратона // Геотектоника, 2018. № 6. С. 36–54. DOI: 10.1134/S0016853X18060036.

Карта сейсмоструктуры Восточной Сибири // Масштаб 1 : 4000000 / Г.С. Гусев, Л.П. Имаева, И.И. Колодезников (ред.). 2015. DOI: 10.2205/ESDB-VONZ-125-map. http://neotec.ginras.ru/neomaps/M080_Siberia-E_2015_Seismotectonics.jpg.

Летников Ф.А. Флюидный механизм деструкции континентальной земной коры и формирование осадочных нефтеносных бассейнов // Дегазация Земли: геофлюиды, нефть и газ, парагенезисы в системе горючих ископаемых / Тезисы докл. междунар. конференции, 30–31 мая – 1 июня 2006 г. Москва, ИГЕМ РАН. М.: ГЕОС, 2006. С. 6–9.

Мокшанцев К.Б., Гусев Г.С., Петров А.Ф. Геологические критерии сейсмичности // Сейсмическое районирование Якутии и сопредельных территорий. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1975. С. 47–63.

Николаев П.Н. Количественная оценка достоверности и значимости геологических критериев сейсмичности // Новейшая тектоника, новейшие отложения и человек. М.: МГУ, 1980. № 7. С. 52–65.

Никонов А.А. Голоценовые и современные движения земной коры (Геолого-геоморфологические и сейсмоструктурные вопросы) М.: Наука, 1977. 240 с.

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) / Л.М. Парфенов, М.И. Кузьмин (ред.). М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. С. 199–254.

Прокопьев А.В., Дейкуненко А.В. Деформационные структуры складчато-надвиговых поясов // Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / Л.М. Парфенов, М.И. Кузьмин (ред.). М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. С. 156–198.

Прокопьев А.В., Парфенов Л.М., Томшин М.Д., Колодезников И.И. Чехол Сибирской платформы и смежных складчато-надвиговых поясов // Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / Л.М. Парфенов, М.И. Кузьмин (ред.). М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. С. 113–155.

Сейсмоструктура северо-восточного сектора Российской Арктики / Л.П. Имаева, И.И. Колодезников (ред.). Новосибирск: СО РАН, 2017. 136 с.

Смелов А.П., Зедгенизов А.Н., Тимофеев В.Ф. Фундамент Северо-Азиатского кратона. Алдано-Становой щит // Тектоника, геодинамика и металлогения территории

республики Саха (Якутия) / Л.М. Парфенов, М.И. Кузьмин (ред.). М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. С. 81–104.

Структура и эволюция земной коры Якутии / Гусев Г.С., Петров А.Ф., Фрадкин Г.С. и др. М.: Наука, 1985. 246 с.

Трифонов В.Г. Неотектоника Евразии. М.: Научный мир, 1999. 252 с.

Трифонов В.Г., Артюшков Е.В., Додонов А.Е., Бачманов Д.М., Миколайчук А.В., Вишняков Ф.А. Плиоцен-четвертичное горообразование в Центральном Тянь-Шане // Геология и геофизика, 2008. Т. 49. № 2. С. 128–145.

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 // Journal of Asian Earth Sciences, 2017. V. 148. P. 254–264. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.09.007>.

<http://docs.cntd.ru/document/901797511>. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. Дата обращения ноябрь 2019 г.

Рис. 1. Схема сейсмоструктуры Сибирского кратона и его горно-складчатого обрамления (по [Карта..., 2015] с изменениями и дополнениями).

Сейсмические пояса: Арктико-Азиатский (А), Байкало-Становой (Б).

Обозначены рамками границы кимберлитовых районов: Оленекский (I), Виллойский (II).

1 – классы геодинамической активности: 1–2 – низкой, 3–5 – умеренной, 6–8 – высокой; 2 – эпицентры землетрясений с магнитудой (M_w), соответственно: ≤ 4.0 , 4.1–5.0, 5.1–6.0, 6.1–7.0, ≥ 7.0 (по [Карта..., 2015]); 3 – календарные даты землетрясений: 1 – до 1700 г., 2 – 1700–1900 гг., 3 – 1900–2015 гг.; 4 – фокальные механизмы землетрясений: дата возникновения события и магнитуда (нижняя полусфера), выходы осей главных напряжений сжатия (черные точки) и растяжения (белые точки); 5 – активные разломы и их кинематика: а – сдвиги, б – надвиги, в – сбросы; 6 – магнитудный потенциал активных разломов; 7 – изолинии интенсивности сотрясений в баллах по шкале MSK-64 (по [Карта..., 2015]); 8 – группы кимберлитовых полей: 1 – Куонапская, 2 – Средне-Оленекская, 3 – Нижне-Оленекская, 4 – Далдыно-Алакитская, 5 – Мало-Ботуобинская (Мирнинская), 6 – Накынская, 7 – Верхне-Мунская; 9 – Томторское месторождение редкоземельных элементов.

Рис. 2. Тектоническое строение Сибирского кратона (по [Парфенов и др., 2001] с изменениями и дополнениями).

Краевые швы: Л – Лено-Анабарский, З – Западно-Верхоянский, Н – Нелькано-Кыллахский, С – Становой, Б – Байкало-Патомский.

Обозначены рамками границы кимберлитовых районов: Оленекский (I), Виллойский (II).

1 – шкала скоростей современных вертикальных тектонических движений (мм/год); 2 – области выходов пород кристаллического фундамента на дневную поверхность; 3–5 – изолинии скоростей современных вертикальных тектонических движений (мм/год) (по [Бочаров и др., 1982]): 3 – положительные, 4 – отрицательные, 5 – предполагаемые; 6 – максимальные значения скоростей; 7–8 – кинематика активных разломов: 7 – взбросо-надвиги, 8 – сдвиги; 9 – эпицентры землетрясений с $M_w \geq 4.1$ (по [Карта..., 2015]); 10 – значения теплового потока (мВт/м^2) (по [Дучков и др., 2018]); 11 – группы кимберлитовых полей: 1 – Куонапская, 2 – Средне-Оленекская, 3 – Нижне-Оленекская, 4 – Далдыно-Алакитская, 5 – Мало-Ботуобинская (Мирнинская), 6 – Накынская, 7 – Верхне-Мунская; 12 – Томторское месторождение редкоземельных элементов.

Рис. 3. Схема сейсмоструктуры Оленекского сектора Лено-Анабарского сегмента (по [Имаева и др., 2016] с изменениями и дополнениями).

1 – континентальные нижнемеловые отложения; 2 – оси антиклиналей; 3 – оси синклиналей; 4 – изогипсы подошвы нижнего мела; 5 – оси конседиментационных валов;

6 – оси конседиментационных впадин; 7–9 – кинематика активных разломов: 7 – надвиги, 8 – сбросы, 9 – сдвиги; 10 – фокальные механизмы землетрясений: дата возникновения события и магнитуда (нижняя полусфера), выходы осей главных напряжений сжатия (черные точки) и растяжения (белые точки); 11 – местоположение эпицентра землетрясения; 12 – плотность эпицентров землетрясений (число событий на $1^{\circ} \times 1^{\circ}$): а – 26–30, б – 21–25, в – 16–20, г – 11–15, д – 6–10, е – 1–5. Большими стрелками показано относительное перемещение блоков земной коры.

Рис. 4. Геолого-структурная схема Байкало-Патомского складчато-надвигового пояса (по [Прокопьев, Дейкуненко, 2001] с изменениями и дополнениями).

Обозначены разломы: Б – Байкало-Патомский, Ж – Жуинский.

1–5 – отложения: 1 – юрские, 2 – ниже-среднепалеозойские, 3 – рифей-вендские, 4 – нижнепротерозойские, 5 – архейские; 6–7 – гранитоиды: 6 – палеозойские, 7 – протерозойские гранитоиды; 8–9 – оси: 8 – антиклиналий, 9 – синклиналий; 10 – надвиги; 11 – сдвиги; 12 – угловое несогласие; 13 – эпицентры землетрясений с $M_w \geq 4.0-5.0$ (по [Карта..., 2015]); 14 – эпицентр Среднеленского землетрясения; 15 – фокальный механизм землетрясения: дата возникновения события и магнитуда (нижняя полусфера), выходы осей главных напряжений сжатия (черные точки) и растяжения (белые точки).

Рис. 5. Геодинамические характеристики геологической среды Оленекского (I) кимберлитового района.

1 – изогипсобоазиты вершинной поверхности; 2 – активизированные разломы; 3 – значения плотности разломов: максимальное (≥ 5), высокое (4), среднее (3–2), минимальное (≤ 1); 4 – значения градиентов скоростей новейших вертикальных тектонических движений (в тексте значения градиента будут приведены без его постоянного множителя (10^{-8} год^{-1})): максимальное (≥ 0.5), высокое (0.5–0.4), среднее (0.3–0.2), минимальное (≤ 0.1); 5 – отдельные кимберлитовые поля (по [Брахфогель и др., 1997]): Куонапская группа (1): 1 – Староречинское, 2 – Ары-Мастахское, 3 – Дюкенское, 4 – Лучаканское, 5 – Огонер-Юряхское, 6 – Куранахское; Средне-Оленекская группа (2): 7 – Западно-Укукитское, 8 – Мунское, 9 – Чомурдахское, 10 – Восточно-Укукитское; Нижне-Оленекская группа (3): 11 – Орто-Ыаргихское, 12 – Мерчимденское, 13 – Молодинское, 14 – Толуокское, 15 – Куойкское.

Рис. 6. Геодинамические характеристики геологической среды Вилуйского (II) кимберлитового района.

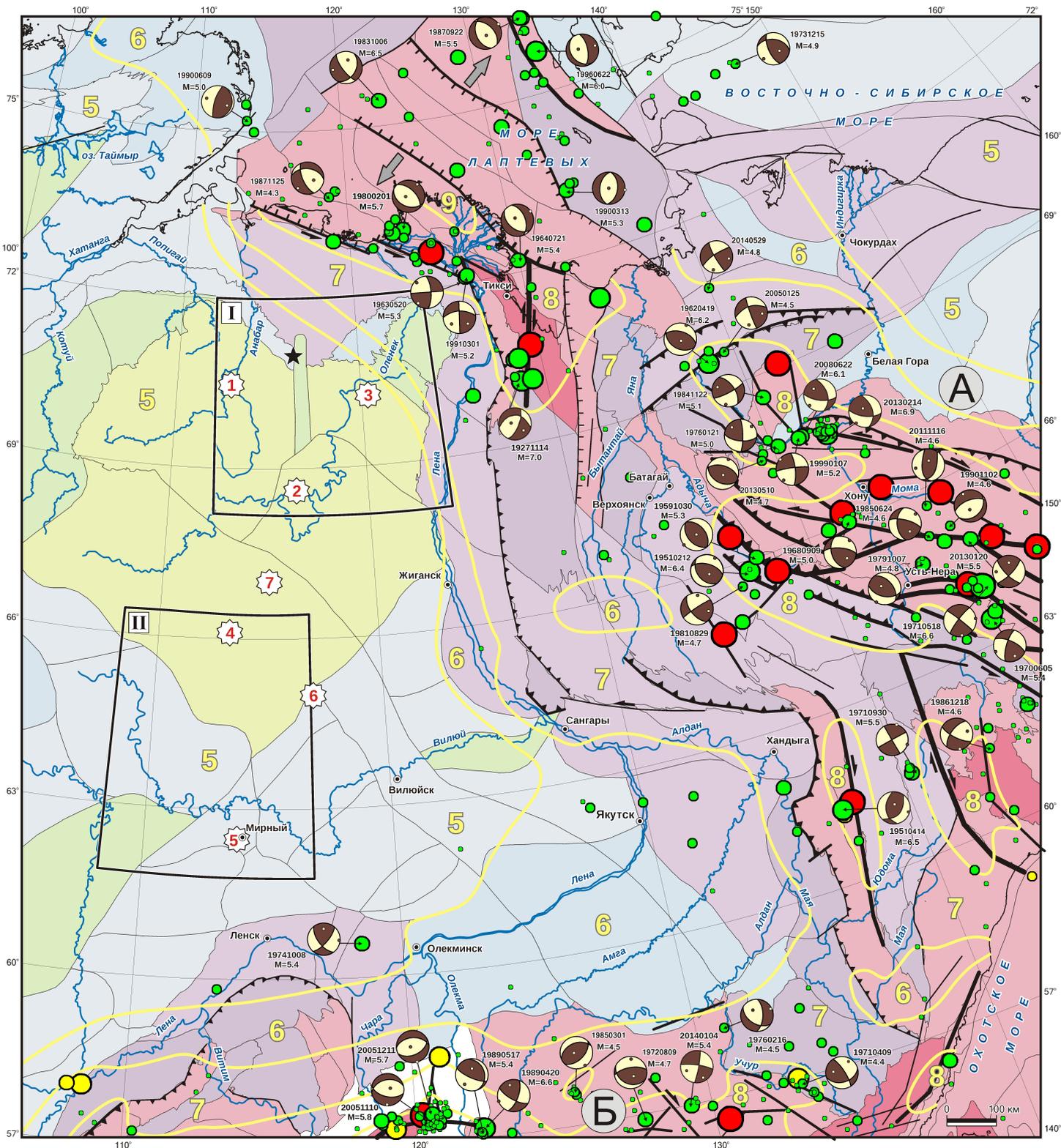
1 – изогипсобоазиты вершинной поверхности; 2 – активизированные разломы; 3 – значения плотности разломов: максимальное (≥ 5), высокое (4), среднее (3–2), минимальное (≤ 1); 4 – значения градиентов скоростей новейших вертикальных тектонических движений:

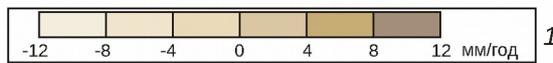
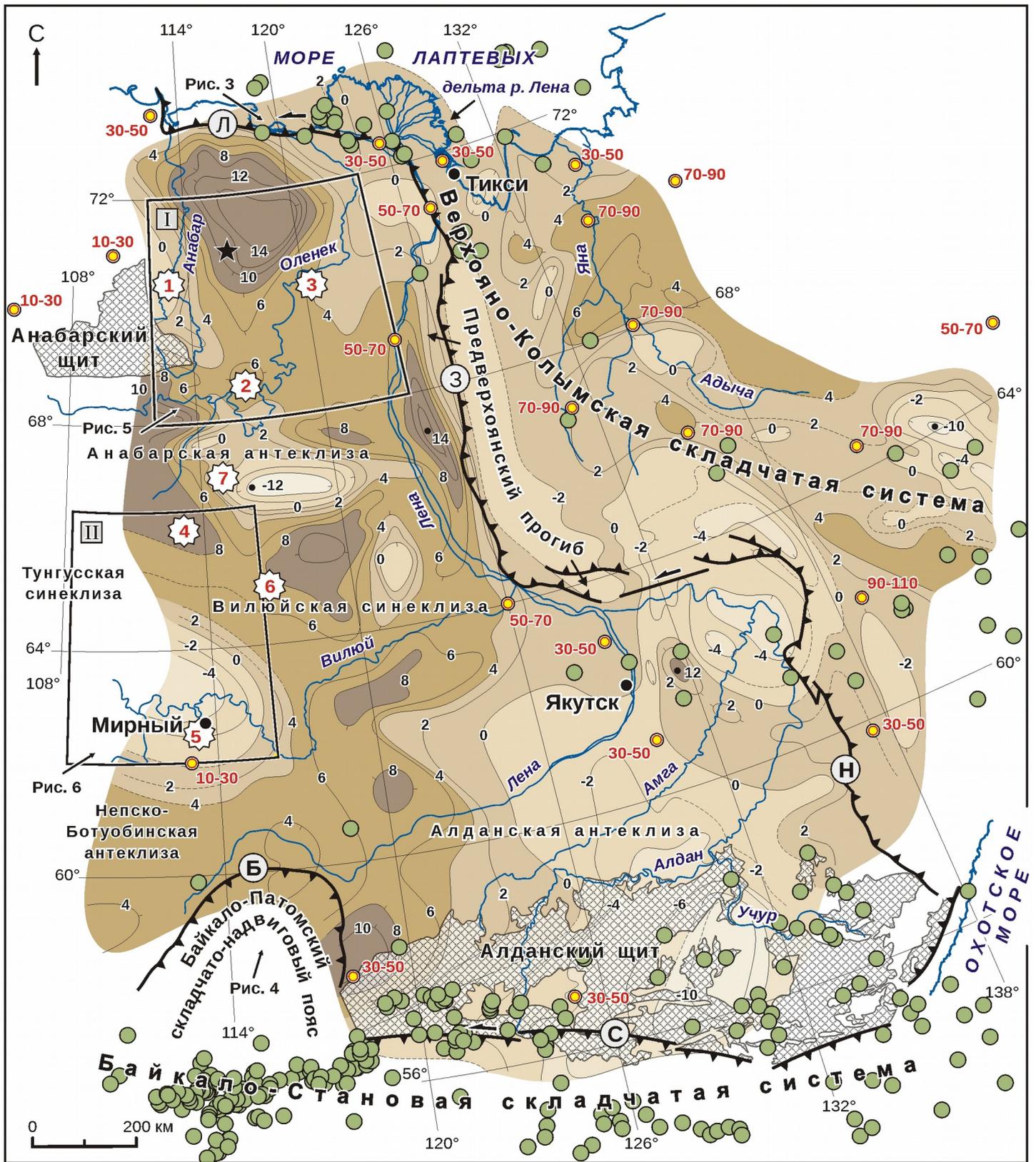
максимальное (≥ 0.5), высокое (0.5–0.4), среднее (0.3–0.2), минимальное (≤ 0.1); 5 – отдельные кимберлитовые поля (по [Брахфогель и др., 1997]): Далдыно-Алакитская группа (4): 16 – Алакитское, 17 – Далдынское; Мало-Ботуобинская (Мирнинская) группа (5): 18 – Мало-Ботуобинское (Мирнинское).

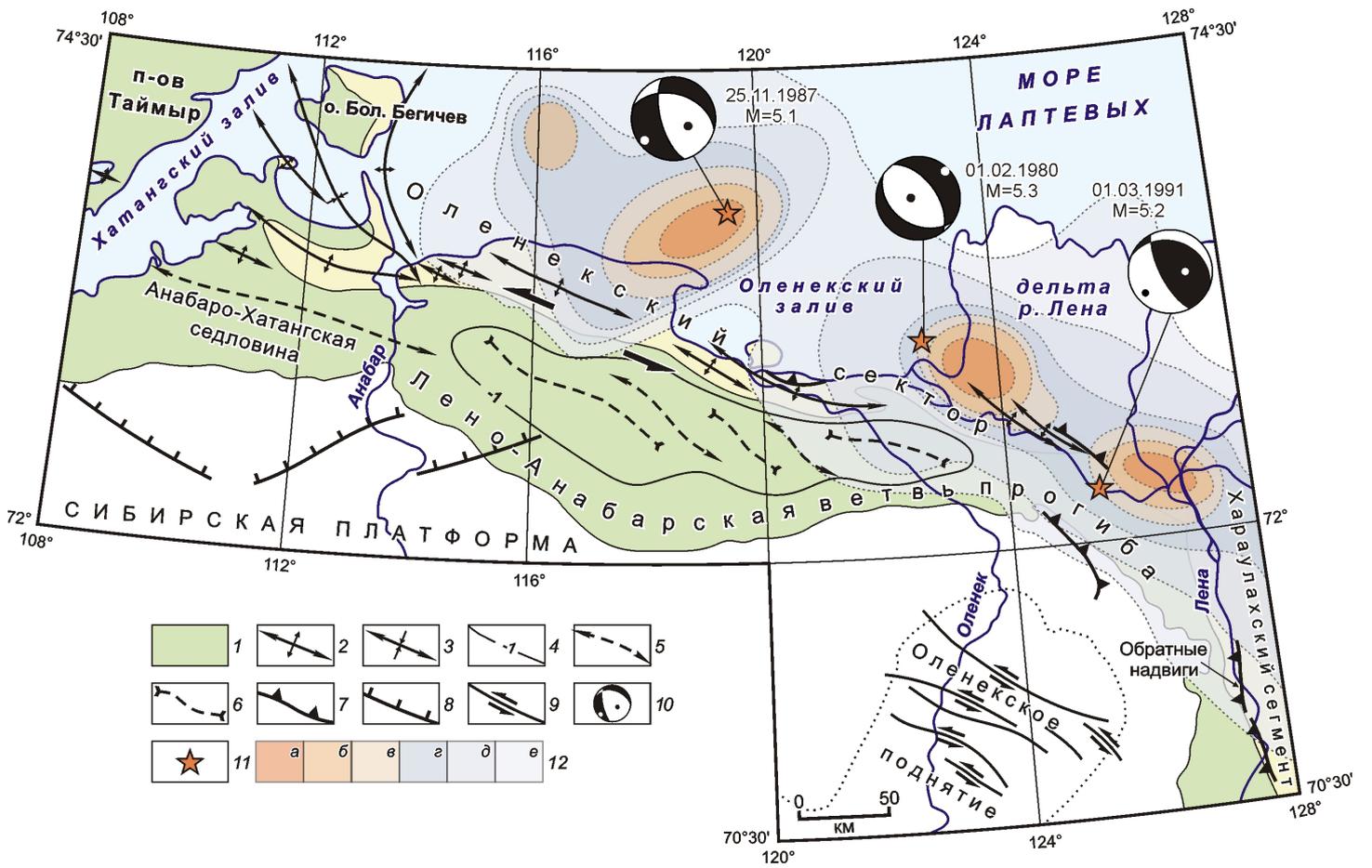
Таблица. Геодинамические характеристики новейших структур
Оленекского и Вилуйского районов Якутской кимберлитовой провинции

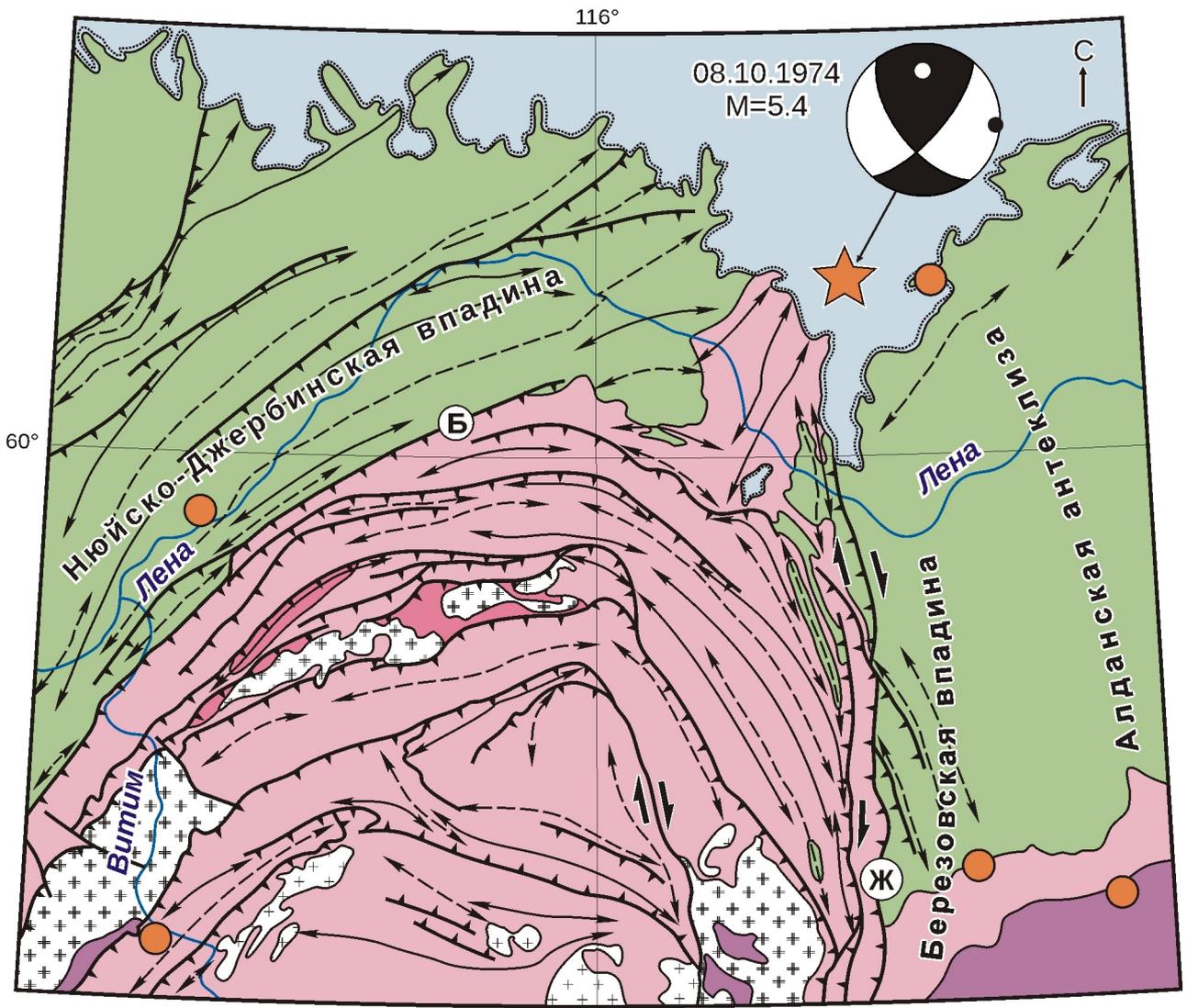
№	Кимберлитовые поля	P	$Grad V$	V_m	C	J	Экологическая обстановка
Оленекский кимберлитовый район (I)							
	<i>Куонапская группа (1)</i>	2–5	0.1– ≥ 0.5	0–7	1	0	относительно удовлетворительная
1	Староречинское	4	0.3–0.4	0–2	1	5	
2	Ары-Мастахское	4–5	0.2–0.4	0	1	5	
3	Дюкенское	4	0.2–0.5	0–2	1	5	
4	Лучаканское	3–4	≥ 0.5	2	1	5	
5	Огонер-Юряхское	3–4	0.1–0.4	4	1	5	
6	Куранахское	2–4	0.4–0.5	6–7	1	5	
	<i>Средне-Оленекская группа (2)</i>	1–5	≤ 0.1–0.5	2–6	1	5	относительно удовлетворительная
7	Западно-Укукитское	2–4	0.2–0.5	4–6	1	5	
8	Мунское	1–2	≤ 0.1	2–4	1	5	
9	Чомурдахское	4–5	0.1–0.4	4–6	1	5	
10	Восточно-Укукитское	4–5	≤ 0.1	4	1	5	
	<i>Нижне-Оленекская группа (3)</i>	1–4	0.1–0.5	0–6	1–3	5–7	напряженная
11	Орто-Ыаргихское	2–4	0.1–0.3	4–6	1	5	
12	Мерчимденское	2–3	0.3–0.4	2–4	1	5–6	
13	Молодинское	1–2	0.4–0.5	2–4	2	6–7	
14	Толуокское	1–4	0.3–0.4	2–6	2–3	6–7	
15	Куойкское	2–4	0.2–0.3	0–2	2	7	
Вилуйский кимберлитовый район (II)							
	<i>Далдыно-Алакитская группа (4)</i>	2–5	0.1–0.5	6–8	1	5	относительно удовлетворительная
16	Алакитское	2–5	0.1–0.3	6–8	1	5	
17	Далдынское	2–4	0.1–0.5	8	1	5	
	<i>Мало-Ботуобинская группа (5)</i>	3–5	≤ 0.1	0– 4	3	5	напряженная
18	Мирнинское	3–5	≤ 0.1	0– 4	3	5	

Примечание. P – плотность разломов, $Grad V$ – градиенты скоростей новейших вертикальных тектонических движений (10^{-8} год⁻¹), V_m – скорость современных вертикальных тектонических движений (мм/год), C – класс геодинамической активности, J – интенсивность сотрясений в баллах по шкале MSK-64 (по [Карта..., 2015]). Нумерация районов и групп кимберлитовых полей соответствует рис. 1, 2. Нумерация отдельных кимберлитовых полей соответствует рис. 5, 6.









- | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|----|---|----|---|----|--|----|---|----|---|----|
|  | 1 |  | 2 |  | 3 |  | 4 |  | 5 |  | 6 |  | 7 | | |
|  | 8 |  | 9 |  | 10 |  | 11 |  | 12 |  | 13 |  | 14 |  | 15 |

