

Сеймотектоника Корякского нагорья — одной из активных окраин континента Евразии

Г.П. Яроцкий¹, А.В. Назаревич², Л.Е. Назаревич³, 2020

¹Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия

²Карпатское отделение Института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Львов, Украина

³Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, отдел сейсмичности Карпатского региона, Львов, Украина

Поступила 1 июля 2020 г.

Приведены особенности общей сеймотектоники Корякского нагорья как северо-западной части обрамления плиты Берингии, включая новейшую (09.01.2020 г.) сейсмическую активизацию района горы Ледяной. Представлено ее сравнение с общей сеймотектоникой Украинских Карпат — еще одной из умеренно активных платформных окраин Евразийского континента. Эти особенности установлены на основе комплекса геолого-геофизических и новейших GNSS данных, а также и детального системного анализа структурных элементов геолого-тектонической системы и сеймотектонической активности Корякского региона и его отдельных зон с привлечением сейсмических данных каталога Камчатского филиала Геофизической службы РАН. Методология исследования базируется на авторских геолого-геофизических концепциях глыбово-клавишной структуры и тектоники литосферы активных окраин континентов Тихоокеанских подвижных поясов сейсмичности и вулканизма и «крокодиловой» альпийской тектоники Украинских Карпат. Показано, что геомеханика Корякского региона представляет собой сложное пространственно-временное сочетание коллизионных, сдвиговых и горст-грабеновых («клавишных») тектонических процессов. Они отражают общие черты и характерные особенности геодинамики и сеймотектоники плиты Берингии и Корякского сейсмического пояса как северо-западной части ее обрамления и проявляются в особенностях тектонического строения литосферы региона, а также региональной и локальной сейсмичности. В частности, впервые по комплексу системных данных детально прослежены сдвиговая составляющая движений плиты Берингии относительно плиты Евразии и отражения этой составляющей в особенностях местных сеймотектонических процессов. По данным мониторинга сейсмичности за период 2000—2020 гг. построена привязанная к тектонике карта землетрясений Корякского сейсмического пояса, простирающегося по северо-западному побережью Берингова моря, включая Корякское нагорье. По сильнейшим сейсмическим событиям и роям афтершоков в поясе выделены Ильпырский, Хаилинский и горы Ледяной высокомагнитудные ($M > 5,0$) сейсмогенные центры. Прослежена связь этих центров с особенностями тектоники региона. Прослежен также коллизионно-реологический и глубинно-тектонический генезис «клавишной» тектоники на территории нагорья и ее связь с высокомагнитудными сейсмогенными узлами и вулканогенами Корякско-Чукотского кайнозойского вулканического пояса. Сравнительный анализ сеймотектоники Корякского нагорья и Украинских Карпат дал возможность более рельефно проследить как общие черты, так и особенности компонент «клавишной» и «крокодиловой» сеймотектоники этих регионов. Результаты исследований позволяют более надежно оценивать уровень и особенности сейсмической опасности для рассмотренных регионов, особенно для Корякского нагорья, их следует принимать во внимание при поисках здесь полезных ископаемых и организации работы горнодобывающих предприятий.

В следующей статье более детально будут рассмотрены особенности сеймотектоники высокомагнитудных очаговых зон Корякского сейсмического пояса и Украинских Карпат, и в частности, новейшего из них в районе горы Ледяной (Корякское нагорье).

Ключевые слова: северо-восточная окраина Азии; плита Берингия; Корякское нагорье; сейсмичность; вулканизм; глыбово-клавишная тектоника; высокомагнитудные сейсмогенные центры Хаилинский и горы Ледяной.

Введение. Предложенная статья является ответом на сильное сейсмическое событие 9.01.2020 г. в районе горы Ледяной (Корякское нагорье — северо-западное побережье Берингова моря). Событие произошло в пределах Корякского сейсмического пояса, который простирается вдоль побережья Тихого океана от Камчатского перешейка до мыса Дежнева (рис. 1). Сейсмичность данной территории оценивалась первоначально как фоновая [Ландер и др., 1994]. Она была определена по зафиксированным к тому времени несильным землетрясениям с магнитудами от 2,5 до 4,4, более сильные среди которых рассматривались как единичные вне фонового местного сейсмотектонического процесса. Однако, начиная с Анадырского землетрясения 1986 г. с $M = 5,4$, затем Корякского 1988 г. с

$M = 5,9$ и Хаилинского 1991 г. с $M = 6,5$, стала проявляться картина закономерной повышенной локальной сейсмичности. В 2006 г. произошло Олюторское землетрясение с $M = 7,6$! Это мобилизовало сейсмологов к детальному интенсивному исследованию местной сейсмичности [Олюторское ..., 2007]. Геологов это подвигло на исследование тектоники территорий Хаилинского и Олюторского землетрясений. После некоторых сейсмотектонических обобщений [Яроцкий, 2008, 2013, 2014, 2016] интерес к сейсмичности и сейсмотектонике территории всего пояса снова понизился. Однако 9 января 2020 г. в районе горы Ледяной произошло землетрясение с $M = 6,3$! Это мгновенно вновь возбудило интерес авторов настоящей статьи к особенностям геологии и тектоники пояса, а также к его очередной сейсмотектонической активизации.

Весь Корякский сейсмический пояс (см. рис. 1) — малозаселенная территория. Лишь в районе Хаилинского высокомагнитудного сейсмического центра с его роим афтершоков имеется пос. Хаилино и горнопромышленное предприятие по добыче россыпной платины. Есть несколько поселений севернее и северо-западнее, в долинах рек Анадырь и Пенжина, а также ряд поселений на берегу океана. Учитывая планы по развитию данной территории в рамках программы развития Дальнего Востока России и в том числе Северного морского пути, исследование сейсмичности пояса и его геологии приобретает исключительное научное и практическое значение.

Пояс обрамляет северную окраину малой литосферной плиты Берингии — исключительно тектонически напряженную морскую акваторию с непрерывными землетрясениями в обрамлении. Местный сейсмотектонический процесс — продукт взаимодействия континентальной и океанической литосферы — является признаком интенсивности геодинамических процессов на северо-западе Тихоокеанского подвижного и сейсмического поясов и вместе с сейсмичностью Курило-Камчатской дуги

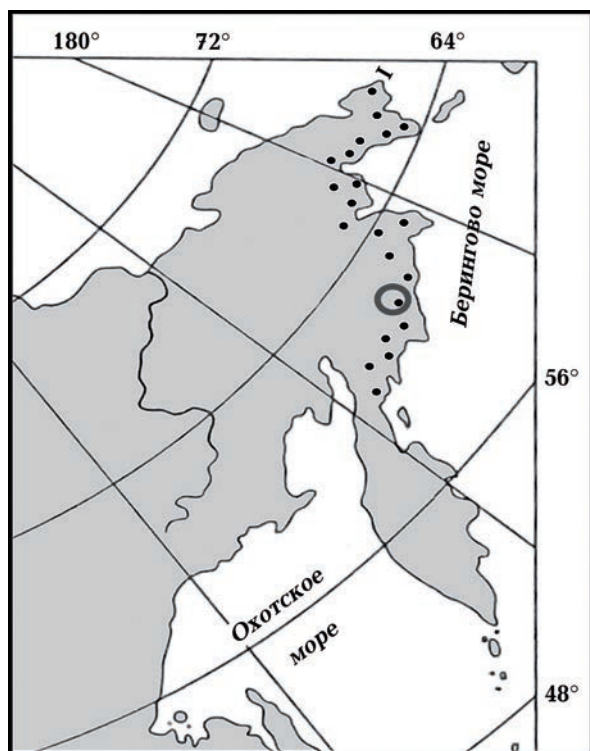


Рис. 1. Корякский сейсмический пояс и район горы Ледяной (обозначены, соответственно, черными точками и кружком) на карте северо-восточной окраины Азии.

Fig. 1. Koryak seismic belt and the Mount Ledyanaya area (marked by black dots and a circle, respectively) on a map of the northeastern outskirts of Asia.

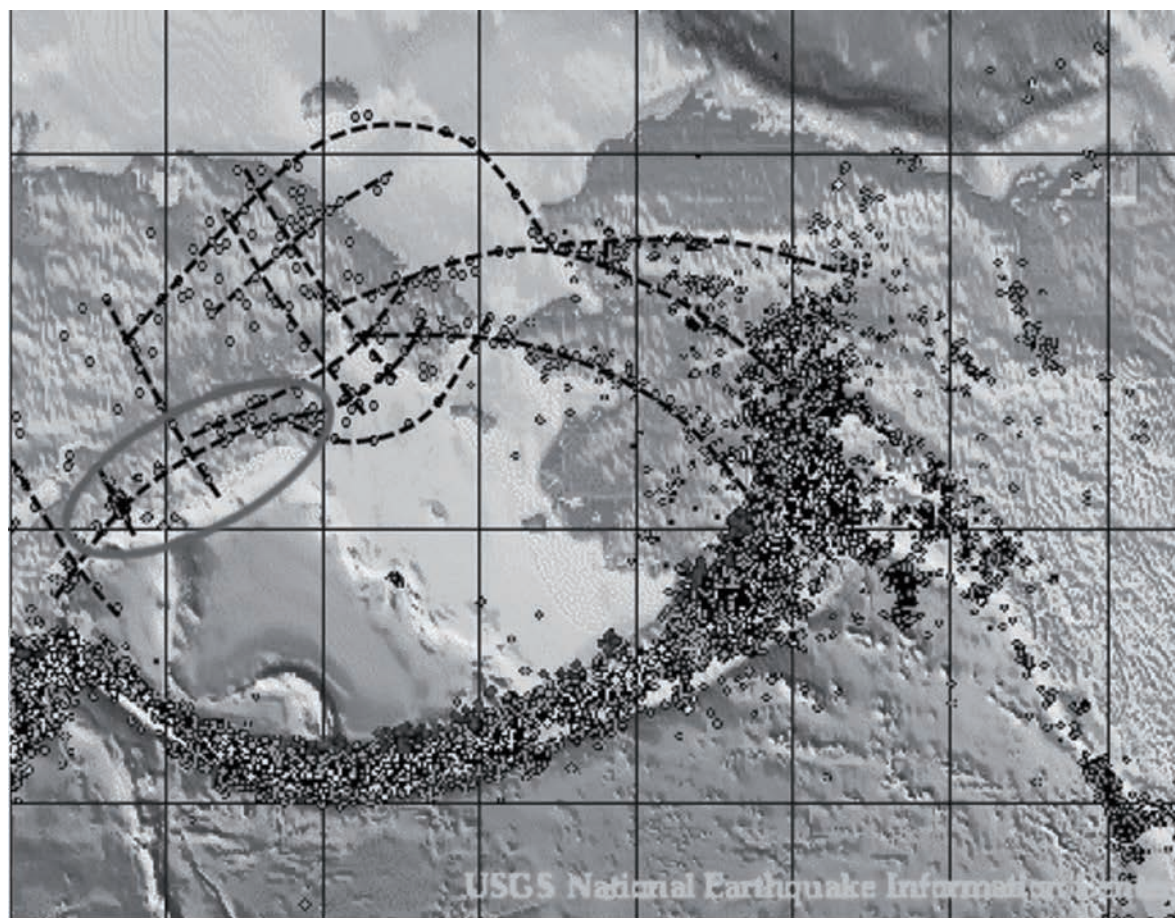
ставит ряд научных проблем перед сейсмологией и геологией. В настоящей статье сформулирована постановка таких проблем и представлены результаты выполненных для их решения системных геолого-геофизических исследований региональной системы «тектоника—сейсмичность». Эти результаты могут быть полезны в сейсмологии и сейсмотектонике не только для активных южных окраин северо-востока континента Азии, но и для других сейсмоактивных поясов Земли, обрамляющих древние платформы, в частности, для Альпийского мобильного пояса Европы и его различных сегментов, в том числе Карпатского, взаимодействующего с юго-западной окраиной Восточно-Европейской платформы.

Цель работы — исследование особенностей сейсмотектоники Корякского нагорья с учетом новейшей (09.01.2020 г.) сейсмической активизации района горы Ледяной, в том числе в сравнении с общей сейсмотектоникой Украинских Карпат — еще одной из умеренно активных платформных окраин Евразийского континента. При этом настоящая статья посвящена установлению структурных элементов геолого-геофизической системы «тектоника—сейсмичность» Корякского нагорья, включая анализ региональных сейсмотектонических процессов. Особенности сейсмотектоники высокомагнитудных очаговых зон Корякского сейсмического пояса, и в частности, новейшего из них в районе горы Ледяной будут детальнее рассмотрены в следующей статье.

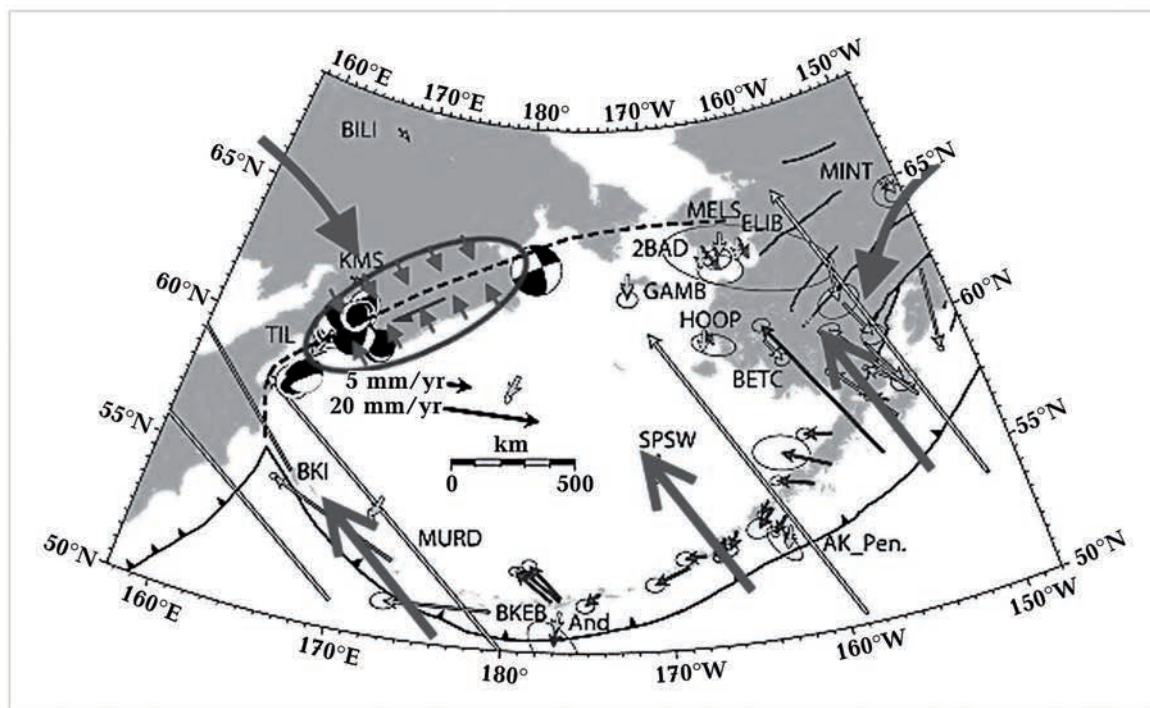
Методика исследований представляет собой детальный системный анализ геологии, тектоники и сейсмотектонической активности Корякского сейсмического пояса. Для более рельефного прослеживания общих черт и особенностей сейсмотектоники региона дан его сравнительный анализ с сейсмотектоникой Украинских Карпат. Для анализа сейсмичности нагорья привлечены данные Каталога Камчатского филиала Геофизической службы РАН [Каталог ..., 2020]. Данные о землетрясениях соседних сейсмоактивных зон (Аляски и Алеутских островов (рис. 2, а)) взяты до-

полнительно из зарубежных сейсмологических баз [Alaska ..., 2020; Search ..., 2020]. Учитывается также общий геодинамический и сейсмотектонический режим плиты Берингии (рис. 2, б) и прилегающих тектонических структур, в первую очередь, — структур северо-востока Азии [Дмитриев, Яроцкий, 1974; Байков, Яроцкий, 1979; Лопатин, Яроцкий, 1983; Mackey et al., 1997; Fujita et al., 2002; Bürgmann et al., 2005; Cross, Freymueller, 2008; Рогожин, 2012; Габсатаров и др., 2013; Левина и др., 2013; Gordeev et al., 2015; Габсатаров, 2015; Яроцкий, 2003, 2008, 2014 и др.] Методология исследования базируется на авторских геолого-геофизических концепциях глыбово-клатвишной структуры литосферы активных окраин континента Евразии в зоне Тихоокеанских подвижных поясов сейсмичности и вулканизма (Г.П. Яроцкий) [Байков, Яроцкий, 1979; Лопатин, Яроцкий, 1983; Яроцкий, 2003, 2008, 2010, 2013, 2014] и «крокодиловой» альпийской тектоники Украинских Карпат (А.В. Назаревич и Л.Е. Назаревич) [Назаревич, Назаревич, 2002, 2012, 2013, 2019], учитываются также результаты исследований горст-грабеновой («клавишной») тектоники в Украинском Закарпатье [Чекунов и др., 1969; Литосфера ..., 1987; Назаревич, Назаревич, 2006; Лозиняк, Місюра, 2010 и др.], в том числе в Берегово — Беганьском рудном районе, прилегающем с севера к зоне Припаннонского глубинного разлома.

Корякский сейсмический пояс — развитие взглядов на сейсмотектонику региона. Углубленное изучение сейсмичности и сейсмотектоники Камчатки и Чукотки, в том числе и Корякского нагорья, началось во второй половине XX в. (см., в частности, [Яроцкий, 1974; Дмитриев, Яроцкий, 1974; Байков, Яроцкий, 1979; Лопатин, Яроцкий, 1983 и др.]). По мере накопления и анализа данных появлялись аналитико-обобщающие работы со все более разработанными сейсмотектоническими построениями. В частности, А.В. Ландер (1994) обратился к вопросу об идентификации территории северного обрамления Берингова моря как вероятного северного сейс-



а



б

Рис. 2. Сейсмическое обрамление (а) [Searth ..., 2020; Каталог ..., 2020] и современная геодинамика [Cross, Freymueller, 2008] и геомеханика (б) плиты Берингия и Корякского нагорья (отмеченного овалом) (пояснения в тексте).

мического обрамления малой литосферной плиты Берингии. Вопрос возник потому, что на северо-западе Тихоокеанского сейсмического пояса (см. рис. 2), как пишет автор, определилась «парадоксальная ситуация!!! — сейсмический пояс Чукотки — Западной Аляски, протяженностью более 2 тыс. км не имеет западного замыкания ...» [Ландер и др., 1994, с. 103].

Вопрос требовал ответа, и авторы в статье предположили, «... что с большой вероятностью существует требуемое продолжение сейсмичности в виде Корякского замыкания системы поясов: Алеутского, Центрального и Западной Камчатки, Чукотского, окружающих относительно стабильный Берингоморский регион» [там же]. А это дало основание к выделению нового тектонического объекта — литосферной плиты Берингии. В дальнейшем такие взгляды поддержали и другие исследователи [Maskey et al., 1997; Fujita et al., 2002; Bürgmann et al., 2005; Cross, Freymueller, 2008; Gordeev et al., 2015]. Добавим, что впоследствии С.А. Федотов с соавторами [Федотов и др., 2011] определил ее как «малую» литосферную плиту.

Объектом исследований А.В. Ландера и других российских ученых стала территория фоновой сейсмичности с магнитудами землетрясений $2,5 \leq M \leq 4,0$, включающая сейсмические очаги по суше северо-западного побережья Берингова моря. Нас же этот вопрос интересовал также в связи с поисками полезных ископаемых (см. [Яроцкий, 1974, 2003, 2006, 2008, 2014, 2016; Дмитриев, Яроцкий, 1974; Байков, Яроцкий, 1979; Поляков, Яроцкий, 1980]), учитывая связь сейсмичности с разломной тектоникой, вулканизмом и минерагеней.

Тем временем фоновая сейсмичность территории пополнилась в 1986 г. более сильным Анадырским землетрясением с $M = 5,4$ (очаг в Анадырском заливе). В 1988 г. к западу от него на «темени» Корякского нагорья (см. далее) произошло Корякское

событие с $M = 5,9$, а западнее в бассейне р. Вывенки в 1991 г. близ с. Хаилино Корякского округа — событие с $M = 6,6$.

Конечной целью всех перечисленных исследований была оценка гипотезы о существовании Корякского сейсмического пояса как границы плиты Берингии, а также обсуждение структуры юго-западного участка этой границы. В данных исследованиях возник и вопрос о структурной локализации очага Хаилинского землетрясения 1991 г. Его феномен состоял в том, что облако афтершоков и большая ось его эллипса простирается на северо-запад — вкрест известного общего северо-восточного сейсмотектонического плана территории (см. далее, рис. 3).

Тем временем, на месте эпицентра главного толчка Хаилинского землетрясения 20.04.2006 г. происходит катастрофическое Олюторское землетрясение с $M = 7,6$! Оно вновь вызывает повышенный интерес к сейсмичности предполагаемого Корякского сейсмического пояса. Исследователи (см. [Олюторское ..., 2007; Яроцкий, 2008]) возвращаются к совместному анализу состоявшихся сейсмических событий и тектоники региона. В частности, А.В. Ландер в своей работе [Ландер и др., 2007] приводит интересные данные по этому вопросу, их анализ и интерпретацию, вновь ставит проблему северо-западного простираения Хаилинского облака афтершоков.

Во время роя Олюторского события была организована временная полевая сеть сейсмических наблюдений и подведены итоги полувековых исследований сейсмичности зоны. Результаты и предположения о месте локализации уже обоих — Хаилинского и Олюторского землетрясений были опубликованы в коллективной монографии [Олюторское ..., 2007]. Это в большинстве фактические данные, в том числе по Каталогу КФ ГС РАН [Каталог ..., 2020]. Е.А. Рогожиным приведено определение района Хаилинского и Олюторского земле-

←

Fig. 2. Seismic framing (a) [Searth ..., 2020; Catalog ..., 2020] and modern geodynamics [Cross, Freymueller, 2008] and geomorphology (b) of the Bering plate and Koryak Highland (marked with an oval) (explanations are in the text).

трясений с сопутствующими форшоками и афтершоками как центра сейсмического «высокомагнитудного роя» (см. [Олюторское ..., 2007, с. 195]). В книге приведены уникальные результаты пересечения территории Олюторского облака афтершоков региональным профилем МТЗ—МОВЗ-I [Белявский и др., 2007]. В построенном геолого-геофизическом разрезе по этому профилю в районе Хаилинского и Олюторского эпицентров и их облаков афтершоков выделяется ряд разломных зон. Кроме этого, выделены зоны поглощения по методу МОВЗ, а в интервале пикетов 222—227 этого профиля локализуются очаги главных толчков. В 2011 г. выходит также статья С.А. Федотова с соавторами [Федотов и др., 2011] по сейсмотектонике этого района. В ней представлена сейсмотектоническая террейновая схема для данной очаговой зоны (с учетом террейновых построений). Со стороны моря на прогнутую литосферу Олюторского залива надвинуты тяжелые массы пород океанической коры. Согласно террейновой гипотезе этих авторов, Олюторский очаг лежит в глубинной зоне наложения двух разновозрастных террейнов. Дополняют информацию по этому вопросу также данные Е.А. Рогожина [Рогожин, 2012] по изучению сейсмодислокаций в очаговой зоне Олюторского землетрясения.

Подытоживая данный обзор, констатируем, что зона очагов Хаилинского и Олюторского облаков землетрясений лежит в литосфере прогиба Олюторского залива. Но вопрос об условиях релаксации Хаилинского главного толчка и простирании его облака афтершоков [Ландер и др., 2007] не получает здесь нового развития.

Частично ответы на данные вопросы получены уже по результатам исследований, представленным в работах [Яроцкий, 2008, 2010, 2013, 2014]. Авторский подход к анализу Хаилинского и Олюторского сейсмических событий, произошедших в долине р. Вывенки, базировался на геолого-структурных построениях. При этом новизной исследования сейсмичности Олюторского залива и Корякского пояса в целом стала методология исследования и концепция

глыбово-клавишной структуры литосферы активных окраин континента [Яроцкий, 2003, 2013, 2014], разработка которой была начата одним из авторов еще в 70-е годы XX ст. [Байков, Яроцкий, 1979]. Аспектом дальнейшего исследования также стал известный факт отсутствия складчатых геоструктур на территории облака афтершоков Хаилинского землетрясения [Анкундинов, Рожкова, 1970]. Последовательное рассмотрение нами [Яроцкий, 2003, 2010, 2013, 2014] тектоники [Апрелков и др., 1997] территории погруженной геоструктуры Олюторского залива вместе с аномалиями профиля МТЗ—МОВЗ-I [Белявский и др., 2007] показало (см. также далее), что очаги Хаилинского и Олюторского главных толчков лежат в пределах объемной тектонической дизъюнктивной колонны литосферного заложения, выявленной в пространственно-глубинной структуре горизонтов от фундамента (глубины 3—10 км) до границы Мохо (глубины 65—83 км). Эта колонна возникла на глубинном пересечении Хаилинского продольно-осевого литосферного разлома северо-западного простирания глыбы Олюторского залива с осью Ильпинско-Тылговаямского прогиба северо-восточного простирания. Она является общей и для оси Вывенской локальной впадины — элемента прогиба. Зона Хаилинского разлома простирается в направлении северо-запад—юго-восток (аз. 150°). Линейная колонна простирается на юго-восток (аз. 150°) к бухте Сомнения на побережье Олюторского залива, а на северо-запад (аз. 330°) — на несколько десятков километров через Корякское нагорье в пределы Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. Колонна возникла в замке прогиба всех горизонтов литосферы, локализована в опущенной глыбе литосферы Олюторского залива на высокоградиентной границе прогиба [Карта ..., 1996] с перепадом глубин границы Мохо 64—81 км. На глубине 35 км в этой сейсмогенной области произошла релаксация накопленных напряжений — возник главный толчок Хаилинского землетрясения, видимо подготовившего данный объем геологической среды к реализации в дальнейшем

Олюторского землетрясения [Яроцкий, 2013, 2014, 2016].

Обобщение ряда других результатов по анализу сейсмичности прогиба литосферы в зоне Олюторского залива выполнено в работе [Яроцкий, 2016]. К настоящему времени на основе подключения новых данных и подходов к интерпретации геомеханики структурных элементов геолого-тектонического строения литосферы побережья Олюторского залива включительно с территорией высокомагнитудного Хаилинского центра сейсмического роя получено более полное представление о тектонике и сейсмичности литосферы субрегиона, которое представлено ниже.

Современная геодинамика и геомеханика плиты Берингии и Корякского нагорья. С учетом приведенного обзора, а также других данных из работ [Cross, Freymueller, 2008; Kogan, Steblov, 2008; Рогожин, 2012; Габсатаров и др., 2013; Левина и др., 2013; Габсатаров, 2015; Гусева, 2016; Яроцкий, 1974, 2003, 2006, 2008, 2014, 2016], современная геодинамика и геомеханика плиты Берингии и Корякского нагорья схематически представляется так (см. рис. 2, б). Тихоокеанская плита интенсивно (со скоростью 70 ± 6 мм/год) движется на северо-запад [Cross, Freymueller, 2008; Габсатаров и др., 2013] (см. рис. 2, б, большие прямые стрелки) и давит в этом направлении на Алеутско-Командорскую окраину плиты Берингии. В свою очередь, Евразийская плита, вращаясь по часовой стрелке [Kogan, Steblov, 2008; Гусева, 2016 и др.] (см. рис. 2, б, большая дуговая стрелка), менее интенсивно (со скоростью 3—11 мм/год?) движется своей Корякско-Чукотской окраиной на юго-восток и давит в этом направлении на северо-западную границу плиты Берингии. Кроме того, Северо-Американская плита, вращаясь против часовой стрелки, давит (частично тангенциально) на северо-восточную окраину плиты Берингии [Cross, Freymueller, 2008; Kogan, Steblov, 2008; Enders et al., 2011]. В результате такого комплексного взаимодействия плит, и в первую очередь того, что Тихоокеанская плита давит на Алеутско-Аляскинский фланг Алеутско-

Командорской дуги фронтально, а на Командорский фланг этой дуги — по касательной, а также с учетом касательного поддавливания в юго-западном направлении со стороны Северо-Американской плиты, суммарно плита Берингия получает относительно Евразийской плиты некоторый импульс сдвигания на юго-запад (см. рис. 2, б, косая полустрелка), в том числе, возможно, и за счет ротационной составляющей своего движения.

В пользу такой общей схемы геодинамики плиты Берингии свидетельствуют, в первую очередь, зафиксированные ГНСС методами (см. рис. 2, б) интенсивные смещения на северо-запад Алеутских и Командорских островов [Cross, Freymueller, 2008; Kogan, Steblov, 2008; Enders et al., 2011; Габсатаров и др., 2013; Габсатаров, 2015], представляющих собой структуры южного края этой плиты. Такие смещения являются, с одной стороны, сейсмотектоническими, отражающими накопление южным краем плиты упругих напряжений, появляющихся вследствие воздействия на южный Алеутско-Командорский край плиты Берингии усилий трения и сцепления с верхней кромкой пододвигающейся под нее в Алеутской субдукционной зоне со скоростью конвергенции 70 ± 6 мм/год Тихоокеанской океанической плиты и разряжающихся потом (в полном соответствии с теорией упругой отдачи) землетрясениями с соответствующими механизмами [Левина и др., 2013, Global ..., 2020] аналогично другим подобным сейсмотектоническим зонам, например, в очагах известных катастрофических Суматранских землетрясений 2004—2005 гг. (см. [Назаревич, 2009] и др.). С другой стороны, эти смещения Алеутских островов служат бесспорным индикатором возникающих здесь общетектонических напряжений, воздействующих на всю литосферу плиты Берингии и передающихся этой литосферой упруго (и частично упругопластически) в зону ее северной, северо-восточной и северо-западной окраин. При этом отметим, что северо-западная (в Евразии), северная (в Чукотском море и Беринговом проливе) и се-

веро-восточная (на Аляске) границы плиты Берингии определяются по сравнению с ее южной, Алеутско-Командорской границей, значительно менее четко и однозначно (см. также [Kogan, Steblou, 2008; Enders et al., 2011; Габсатаров и др., 2013]) (см. рис. 2, а). Это связано с на порядок меньшими относительными движениями плит в зоне этих границ, значительно менее контрастным здесь тектоническим строением и геомеханическими характеристиками литосферы самих плит. Отражением этого является значительно менее интенсивная сейсмичность в полосе этих границ, которая определена многими исследователями как диффузная. Она распространена в достаточно широкой (многие сотни километров) полосе (в районе Чукотки) и при этом частично группируется в несколько (2—3 и больше) достаточно выраженных более узких полос, совмещенных с разными разломными зонами (см. рис. 2, а). Это привело к тому, что разными авторами эта граница трассируется по-разному (см., например, [Maskey et al., 1997; Габсатаров и др., 2013; Габсатаров, 2015]) и по-разному же (или с существенными вариациями) строится модель геодинамики плиты Берингии относительно окружающих плит (включая выделение здесь некоторыми авторами еще и ряда микроплит). Это может быть обусловлено также рассмотрением разными авторами данных за разный, иногда относительно короткий период — несколько или несколько десятков лет (особенно это касается данных GNSS наблюдений). Это мало по сравнению с влиянием определенных многолетних геомеханических циклов, в частности связанных с накоплением в Алеутской островной дуге упругих деформаций и подготовкой сильнейших землетрясений (подобных Большому Аляскинскому 1964 г.). Длительность таких циклов оценивается нами в 150—500 лет по аналогии с «кухней» в зоне известных сильнейших Суматранских землетрясений 2004—2005 гг. (см. [Назаревич, 2009] и др.). В частности, о подавляющей «сеймотектонической» составляющей (деформация — релаксация) движений Алеутских островов может свиде-

тельствовать и то, что зона противоположного края плиты Берингии движется (пусть и значительно медленнее) им навстречу [Cross, Freymueller, 2008; Kogan, Steblou, 2008; Enders et al., 2011; Габсатаров и др., 2013; Габсатаров, 2015], а на находящейся между этими зонами самой плите нет никаких структур (и никаких землетрясений), где и когда такие суммарные деформации бы разряжались, поскольку сама плита является (по анализу многочисленных сейсмологических данных) практически асейсмичной.

Не углубляясь далее в эту проблематику, которая требует отдельного детального рассмотрения с привлечением большого комплекса данных, отметим, что здесь выбран представленный в начале этого раздела вариант сеймотектоники плиты Берингии с северными границами этой плиты подобно представленному в работе [Maskey et al., 1997], согласующийся (см. далее) с данными по геодинамике и сейсмичности Корякского нагорья, включая определение механизмов сильнейших из местных землетрясений [Левина и др., 2013; Global ..., 2020], а также данные Е. А. Рогожина по смещениям в разрывах этих землетрясений и по исследованию палеосейсмодислокаций [Рогожин, 2012].

Рассматривая с учетом этой схемы общую геомеханику Корякского нагорья, видим (см. рис. 2, б, а также далее рис. 5 и 6), что здесь имеет место коллизионный режим, обусловленный встречным взаимным давлением северо-западной окраины плиты Берингии и юго-восточной окраины Корякско-Чукотского сегмента Евразийской плиты (в направлении северо-запад — юго-восток, ортогонально зоне контакта плит (см. рис. 2, б, короткие стрелки)), дополненный юго-западной сдвиговой компонентой вдоль побережья Корякского нагорья, обусловленной интегральным движением плиты Берингии (см. рис. 2, б, косая полустрелка). По нашему мнению, именно таким режимом объясняется наличие протяженных, вытянутых вдоль зоны контакта (в направлении юго-запад — северо-восток) коллизионных структур погружения коры

(от границы фундамента до поверхности Мохо) с резкой, близкой к субвертикальной границей на контакте плит [Яроцкий, 2010, 2013, 2014, 2016] (см. далее, рис. 4, б и 5), а также вековые особенности сейсмотектонического процесса и, в том числе, особенности процессов в очаговой зоне последнего сильнейшего Олюторского землетрясения 2006 г. [Рогожин, 2012].

При описанном геомеханическом режиме в Корякском нагорье, как в зоне надвигово-сдвиговых деформаций, кроме коллизионной и сдвиговой выразительно проявляется горст-грабеновая («клавишная») тектоника, обусловленная как закономерностями формирования тектонических структур в сдвиговых зонах [Бокун, Назаревич, 2013] (рис. 4, а), так и нагнетанием туда в условиях коллизионного сжатия релогически ослабленных пластически деформируемых горных масс глубинных горизонтов коры [Яроцкий и др., 2015]. Хорошим индикатором такого нагнетания горных масс под приподнятые горстовые блоки Корякско-Чукотского пояса является наличие в нем вулканогенов именно в приподнятых блоках-глыбах клавишной структуры Корякского нагорья (см. рис. 3).

Также отметим, что наличие ряда протяженных линейных сейсмотектонических структур северо-западного — юго-восточного направления, ортогональных зоне контакта плиты Берингии в районе Корякского нагорья, хорошо просматривается не только на локальном уровне (см. далее), но и на общерегиональном фоне (см. рис. 2, а). Это свидетельствует о влиянии на местные сейсмотектонические процессы также древних глубинных структур соответствующей ориентации, о чем будет сказано ниже.

Более детально разные аспекты геомеханики литосферы Корякского нагорья рассмотрены далее, а также в следующей статье во взаимосвязи с сейсмотектоникой конкретных очаговых зон Корякского сейсмического пояса.

Общая характеристика сейсмичности Корякского сейсмического пояса. Краткий общий анализ сейсмичности Корякско-

Чукотского региона дан выше во вводной части статьи (см. также рис. 2). Сейсмичность самого Корякского нагорья исследователи характеризуют так ([Рогожин, 2012], с. 214): «... в отличие от сейсмической активности материкового склона Курило-Камчатской островной дуги, непосредственно замещающегося по простиранию на северо-северо-востоке хребтами Корякского нагорья, сейсмогенерирующие зоны западного побережья Берингова моря не проявляют постоянной высокой фоновой активности. Сильные и умеренные землетрясения происходят здесь в виде вспышек сейсмичности на фоне длительного затишья ...».

Данные о главных, наиболее сильных землетрясениях таких вспышек (высокомагнитудных роев) приведены в таблице вместе с данными о последней (январь 2020 г.) сейсмической активизации в районе горы Ледяной.

Одним из главных новых шагов в уточненном изучении сейсмотектоники южной и центральной части Корякского нагорья был анализ новейшей сейсмичности субрегиона со времени Олюторского землетрясения 2006 г. ($M = 7,6$) по настоящее время. Для этого использовались данные каталога КФ ГС РАН [Каталог ..., 2020]. На рис. 3 приведена карта сейсмичности субрегиона с $M \geq 2,5$, составленная по данным этого каталога, которая наложена на клавишную глыбово-блоковую тектоническую структуру литосферы субрегиона. Обозначены выделенные ранее высокомагнитудные сейсмогенные центры Корякского нагорья — Ильпырский, Хаилинский, Корякский, Олюторский, а также новейший (землетрясение 09.02.2020 с $M = 6,4$) — горы Ледяной.

Характерной особенностью сейсмичности пояса является ее гнездовая пространственно-временная локализация в отдельных сейсмогенных зонах — высокомагнитудных сейсмогенных узлах. В пределах пояса наблюдаются и асейсмичные площади, что, впрочем, может быть следствием как пространственно-временной миграции сейсмической активности с длительными

(десятки и сотни лет) интервалами сейсмического затишья (учитывая, в частности, данные Е. А. Рогожина [Рогожин, 2012] по исследованию палеосейсмодислокаций), так и следствием особенностей тектонического строения коры региона и распределения в ней напряжений-деформаций.

Хаотичная, на первый взгляд, сейсмичность Корякского пояса с $M \leq 5,0$ с увеличением времени инструментальных наблюдений и по мере накоплений статистики, в том числе данных о сильных событиях с $M > 5,0$, укладывается в выразительную и закономерную схему геотектоники Коряк-

Сильнейшие землетрясения Корякского нагорья за период 1980–2020 гг. и сейсмичность в районе горы Ледяной в 2020 г. [Каталог ..., 2020]

Название	Дата	Время, ч:мин:с	Широта, N	Долгота, W	Глубина, км	M_w	Примечание	Район
Анадырское	1986.10.19	—	63,89°	178,73°	10	5,4	USGS	Анадырский залив
Корякское	1988.10.13	—	61,63°	169,59°	26	5,9	—	Долина р. Пахача
Хаилинское	1991.03.08	—	60,90°	167,20°	35	6,5	$M = 6,6$ (Ландер, 1994)	Пос. Хаилино
Олюторское	2006.20.04	—	60,98°	167,37°	0,6	7,1	$M = 7,6$ (Ландер, 1994)	Побережье Олюторского залива
Ильпырское	2013.03.13	—	60,08°	163,47°	23,7	6,3	—	Пос. Ильпырское
Левтырин-ваямское	2018.04.06	—	60,80°	167,40°	15	5,0	—	—
горы Ледяной	2020.01.09	08:17:50.9	62,07	171,89	13	5,1*	11,7 [^]	Горные массивы горы Ледяной
	2020.01.09	08:38:02.6	62,30	171,39	8	6,4*	14,2[^]	
	2020.01.09	09:00:43.4	62,25	171,38	16	5,0*	11,4 [^]	
	2020.01.09	09:15:46.4	62,05	171,87	35	4,4*	10,2 [^]	
	2020.01.09	09:56:40.3	62,17	171,50	8	5,2*	11,9 [^]	
	2020.01.09	10:11:05.8	62,20	171,49	17	5,2*	11,8 [^]	
	2020.01.09	10:47:13.3	62,18	171,40	7	5,4*	12,2 [^]	
	2020.01.09	11:05:34.7	62,05	171,96	17	4,7*	10,9 [^]	
	2020.01.09	11:56:32.6	61,96	172,03	13	4,3*	10,1 [^]	
	2020.01.09	14:19:06.1	62,14	171,37	18	4,4*	10,2 [^]	
	2020.01.10	04:50:23.4	62,30	171,91	12	5,1*	11,6 [^]	
2020.01.10	12:10:19.3	62,41	172,31	13	4,9*	11,2 [^]		

Примечание: * — магнитуда M_w , [^] — энергетический класс K_s .

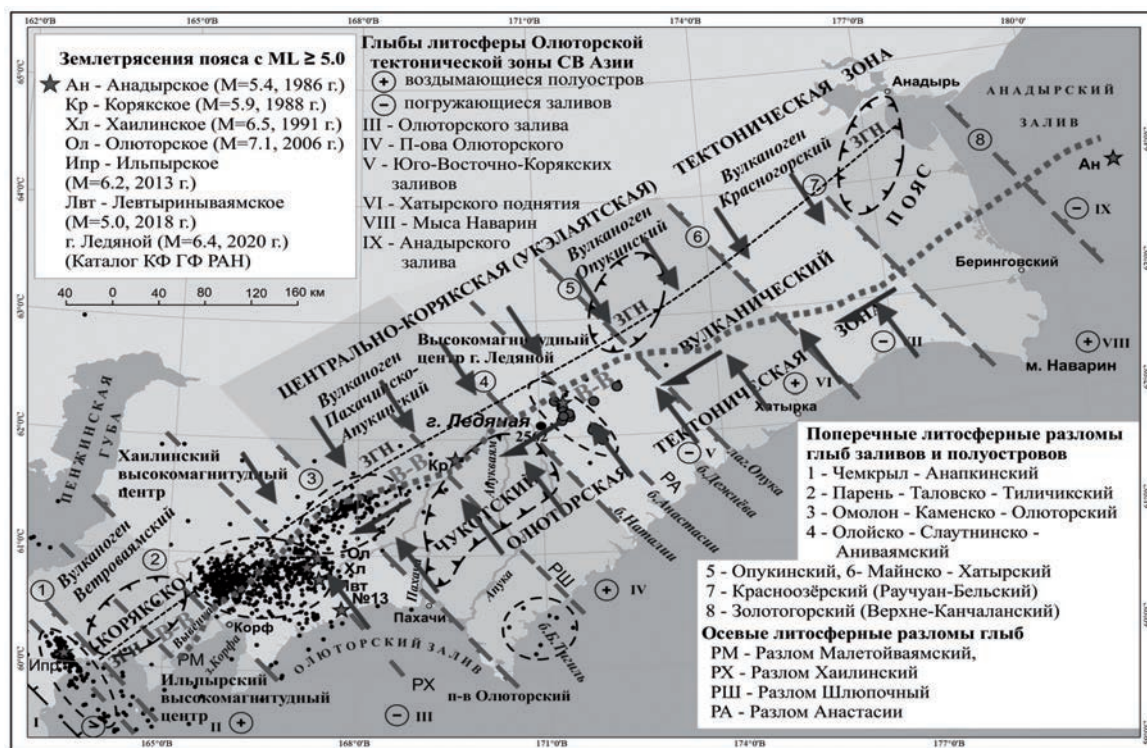


Рис. 3. Корякский сейсмический пояс с фоновой сейсмичностью $M \geq 2,5$ ($K_s \geq 8.5$) и его высокомагнитудные центры с $M = 5,0—7,6$ и Корякско-Чукотский орогенный пояс и его вулканогены на фоне «клавишной» (горст-грабеновой) тектоники Корякского нагорья (пояснения в тексте). Дополнительно показаны: основные продольные тектонические элементы — глубинная разломная Вывенско-Ватынская зона (В-В) (жирным пунктиром), трассирующая геодинамическую зону контакта плиты Берингии с континентом Евразии; ось зоны глубинных неоднородностей в низах коры (ЗГН) (черной штриховой линией); наложенная общая схема современного регионального геодинамического процесса (детальнее см. также рис. 6).

Fig. 3. The Koryak seismic belt with the background seismicity $M \geq 2.5$ ($K_s \geq 8.5$) and its high-magnitude centers with $M = 5.0—7.6$ and the Koryak-Chukotka orogenic belt and its volcanogenes on the background of «keyboard-like» (horst-graben) tectonics of the Koryak Highlands (explanations are in the text). Additionally are shown: the main lengthwise tectonic elements — Vyvenka-Vatyn deep fault zone (B-B) (marked by bold dotted line), which is tracing the geodynamic contact zone of the Bering plate with the continent of Eurasia; the axis of the zone of deep inhomogeneities in the lower crust (ЗГН) (marked by black dashed line); superimposed general scheme of the modern regional geodynamic process (see also Fig. 6 for details).

ской окраины континента. Даже при негустой в настоящее время (а тем более имевшейся ранее) сети сейсмических станций за счет регистрации и все более точного определения пространственной локализации очагов все более слабых событий, а также за счет детального изучения сильных событий 1986—2020 гг. прослеживаются особенности активизации взаимодействия с суши северо-западной окраины «морской» плиты Берингии в зоне «пограничного» Корякского сейсмovolканического пояса (см.

рис. 2). Эта активизация прослеживается, в первую очередь, по землетрясениям магнитуды $M = 2,5 \div 5,0$. Они в своем большинстве концентрируются в сравнительно хорошо изученном в структурном отношении высокомагнитудном Хаилинском центре, актуализируя углубленное изучение элементов местной системы «тектоника — сейсмичность». А 9 января 2020 г. процессы активизации в поясе ознаменовались и сильным землетрясением ($M = 6,4!$) с очагом, расположенным севернее, в районе

горы Ледяной. Это землетрясение является сильным аргументом в пользу пространственно-временной миграции сейсмической активизации в Корякском поясе! В следующей статье будет раскрыта закономерная связь сейсмичности района горы Ледяной с геологическим строением зоны этого горного массива во взаимодействии со структурными элементами тектоники региональных геоструктур Корякской окраины континента Азии.

Сейсмичность Корякского нагорья и тектоника. Как уже отмечалось, Корякский сейсмический пояс — принадлежность одновременно двух крупных субпланетарных геоструктур на северо-востоке России. Первая — тектонические структуры активной Олюторской палеогеновой тектонической зоны северо-восточной окраины континента Азии [Яроцкий, 2010, 2014, 2016], вторая — сейсмотектонический пояс, окружающий Берингово море (плиту Берингию) и захватывающий тектонические структуры Аляски, Чукотки и всю активную палеоген-четвертичную материковую окраину северо-востока Азии (см. рис. 1 и 2) от Камчатского перешейка до мыса Дежнева [Геологическая..., 1982; Карта ..., 1999]. Оба этих элемента северо-западной части Тихоокеанского сейсмического пояса сопряжены на суше с Корякско-Чукотским вулканическим поясом миоцен-квартера на их общем территориальном литосферном пространстве (см. рис. 3).

Кратко характеризуя тектоническое строение литосферы региона, отметим следующее (см. рис. 3). В направлении с северо-запада на юго-восток полосами последовательно залегают элементы окончания глыб суши, сформировавшиеся в палеопротекте прироста древней окраины Корякского микроконтинента — Центрально-Корякской (Укэляйтской) тектонической зоны, сформировавшейся в позднем миоцене, и Олюторской тектонической зоны палеогена и квартера. В полосе контакта этих зон присутствуют вулканогены (детально см. далее) Ветроваямский и Пахачинско-Апукинский (в южном сегменте), Опукинский и Красногорский (в север-

ном). Все эти структуры разбиты ортогональными разломами (северо-западного — юго-восточного направления) на ряд блоков-глыб. От Камчатского перешейка до Анадирского залива лежат (в соответствии с закономерностями горст-грабеновой («клавишной») тектоники) чередующиеся погруженные и воздымающиеся глыбы литосферы (см. рис. 3). Погруженные: I — Кичигинского залива (залива Анапка), III — Олюторского залива, V — Юго-Восточно-Корякских бухт и заливов, VII — Бухты Мейнапыльгена, IX — Анадырского залива. Воздымающиеся: II — п-овов Ильпирский—Ильпинский-Говена, IV — п-ова Олюторского, VI — Хатырского поднятия, VIII — мыса Наварин (Беринговского).

Корякский сейсмический пояс маркируется по простиранию множеством землетрясений с $M \geq 2,5$ ($K_s > 8,5$), группирующихся по территории тектонически закономерно. Это видно в закономерном чередовании площадей, насыщенных этими фоновыми землетрясениями либо лишенных их (см. рис. 3). При этом и те, и другие площади лежат в закономерно выраженных тектонических геоструктурах суши вдоль северо-западного побережья Берингова моря. Из рисунка видно, что территории вулканогенов Корякско-Чукотского вулканического пояса также расположены в глыбах закономерно — они находятся в пределах приподнятых глыб фундамента и занимают промежуточное положение между разными площадями сейсмичности.

Интенсивная сейсмичность (см. рис. 3) вместе с сильнейшими землетрясениями преобладающе локализована в погруженных глыбах I, III, V, IX. Их территории перемежаются асейсмичными или слабосейсмичными воздымающимися глыбами с развитыми на них компенсационными вулканогенами Корякско-Чукотского вулканического пояса.

Закономерное чередование геоструктур сейсмичности и вулканизма обусловлено глыбово-клавишной структурой литосферы на активной окраине региональной Олюторской тектонической зоны [Яроцкий, 2010, 2013, 2014, 2016]. Эти структуры литосфе-

ры созданы разломной северо-западной составляющей диагональной планетарной сети трещиноватости. Разломы этого направления обособили геодинамически разные геоструктуры окраины суши. Обусловленное коллизийным режимом и соответствующей геомеханической обстановкой сжатия нагнетание в низах литосферы приподнятых глыб пластичного геологического материала приводит (как мы указывали выше) к формированию чередующейся горст-грабеновой («клавишной») тектонической структуры коры Корякского нагорья и проявлениям вулканизма в приподнятых блоках.

И такие различия между тектоническим режимом отдельных глыб отражаются также в структуре береговой линии моря. Заключенные между двумя межглыбовыми литосферными разломами северо-западного направления воздымающиеся глыбы-поднятия (глыбы-горсты) в разрезе земной коры и литосферы в целом формируют полуострова. Эти глыбы соседствуют с погружающимися глыбами, в пределах которых происходит прогибание всего геологического разреза земной коры и литосферы в целом. Такие глыбы-грабены формируют в структуре береговой линии заливы.

Описанные закономерности хорошо выражены в строении находящейся на юго-востоке Корякского нагорья погруженной (грабеновой) палеоген-четвертичной Олюторской глыбовой структуры и ее обрамления (см. рис. 3). Такая же клавишная система горст-грабенов, разделенных поперечными северо-западными разломами, прослеживается и в строении Центрально-Корякской (Укэлаятской) тектонической зоны более раннего—поздне мелового формирования, которая лежит к северу от Олюторской (см. рис. 3). Подобная система чередующихся поднятий и погружений сформирована и в лежащей еще дальше к северу и северо-западу Пенжинской мезозойской тектонической зоне и далее, в мезозое Колымы.

Таким образом, система северо-западных литосферных разломов образовала в направлении от океана вглубь материка

глыбы литосферы как систему разновозрастных клавиш между парами ограничивающих разломов. Эти протяженные геоструктуры созданы сетью разломов диагональной планетарной разломной сети, особенно заметно проявляющейся в литосфере северо-восточной части континента Евразии. В Корякской зоне его контакта с северо-западной окраиной плиты Берингии, как правило, это вулканические поля и вулканогенно-осадочные прогибы. Первые являются краевыми, материкового заложения, вторые — краевыми, зачастую приразломными.

В процессе геодинамических изменений положения геоструктур окраин континента зачастую происходят надвигания на сушу морских террейнов. Нередко такие надвигания, наблюдаемые в зонах коллизийного геомеханического режима, происходят по типу так называемой «крокодиловой тектоники» [Литосфера ..., 1987; Назаревич, Назаревич, 2002, 2012, 2013а, б]. Тогда верхние горизонты коры, отслаивающиеся на глубинах наибольшей механической прочности противостоящей литосферной структуры (локализуемой примерно в районе глубин 15—20 км в зависимости от минерального состава пород и термобарического режима как одной, так и другой «коллизирующих» литосферных структур), надвигаются на нее, создавая систему горных складок и надвигов. В это же время более глубинные (ниже 20—25 км) горизонты надвигающейся тектонической структуры отслаиваются и пододвигаются под другую «коллизирующую» структуру. В зоне контакта и трения взаимно смещающихся горных массивов и горизонтов концентрируется наиболее высокая сейсмическая активность. В низах коры в таких зонах закономерно формируются коромантийная смесь и разноглубинные поверхности Мохо [Литосфера ..., 1987] (см. рис. 4, б, в). Подобный процесс реализовался в разное время (и с определенными вариациями) в разных частях геоактивных поясов Земли, например в альпийский период развития Украинских Карпат [Назаревич, Назаревич, 2002], и хорошо про-

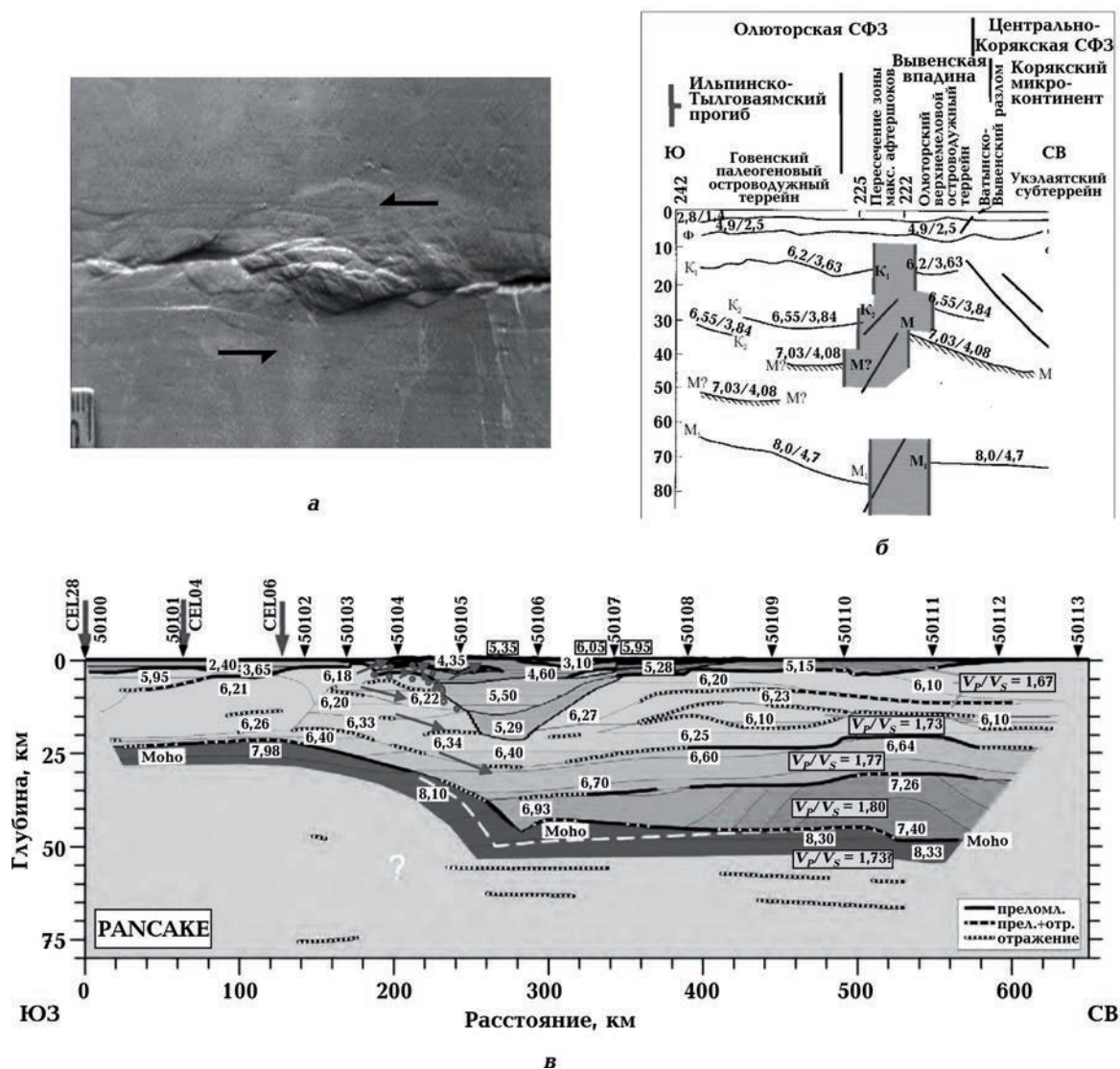


Рис. 4. Структурообразование в зонах горизонтального сдвига — аналогах Олюторской очаговой зоны (а) (по данным тектонофизического моделирования [Бокун, Назаревич, 2013], стрелками указано направление относительных смещений); глубинное строение зоны высокомагнитудных очагов землетрясений Корьякского нагорья по данным С.А. Федотова (2011 г.) с дополнениями (б) [Яроцкий, 2013] и аналогичной высокомагнитудной Свалявской зоны в Украинских Карпатах на структуре литосферы по профилю PANCAKE [Starostenko et al., 2013] (в) (здесь кружки — очаги более сильных местных землетрясений, стрелками показана схема местного процесса «крокодиловой» тектоники).

Fig. 4. Structural formation in horizontal shear zones — analogues of the Olyutor focal zone (according to tectonophysical modelling [Bokun, Nazarevych, 2013], arrows indicate the direction of relative displacements) (a); the deep structure of the zone of high-magnitude foci of earthquakes in the Koryak Highland according to S.A. Fedotov (2011) with additions [Yarotskiy, 2013] and a similar high-magnitude Svalyava zone in the Ukrainian Carpathians in the lithosphere structure on the PANCAKE section [Starostenko et al., 2013] (b) (here the circles are the foci of stronger local earthquakes, the arrows show the scheme of the local process of «crocodile» tectonics).

слеживался (см. рис. 4, в) в лежащей на секции их профиле PANCAKE [Starostenko et al., 2013] наиболее активной здесь Свалявской сейсмогенной зоне с землетрясения-

ми магнитудой до 5,4 [Назаревич, Назаревич, 2012, 2013а, 2013б, Kováčiková et al., 2016]. Возвращаясь к Корьякскому нагорью, отметим, что надвижки также и в прилегаю-

щей океанической коре связаны с системой северо-западных разломов и могут закрывать большие территории как вновь образованной и приращенной молодой палеоген-четвертичной, так и части старой окраины позднемелового континента. Эта тектоническая последовательность показывает классическую взаимозависимость суши и океана — последовательный прирост суши за счет океанической, в том числе преобразованной (гранитизированной) коры. А приведенный механизм образования чередующихся поднятий и погружений блоков коры активных окраин континента от древних эпох последовательно к более молодым их образованиям вплоть до настоящего времени создал ее современную глыбово-клавишную структуру [Яроцкий, 2010, 2013, 2014, 2016; Яроцкий и др., 2015].

Что касается тектонических структур, генетически сопряженных со сдвиговой (к юго-западу, см. рис. 2, 3, 5, б) компонентой движений плиты Берингии относительно континента Евразии, то основной из них является Вывенско-Ватынская разломная зона, простирающаяся с юго-запада на северо-восток (см. рис. 3) примерно вдоль осевой части горного сооружения Корякского нагорья. Ее проявление на земной поверхности четко отражается в морфологии разных структур рельефа (см. далее). Именно к этой тектонической структуре приурочены очаговые зоны сильнейших местных землетрясений и сопровождающих их роев афторшоков (см. рис. 3). Также примерно в этой же полосе лежит зона глубинных неоднородностей в низах коры (ЗГН на рис. 3), являющаяся шовной зоной на границе древних Центрально-Корякской и Олюторской тектонических зон. Эта ЗГН четко трассируется по сейсмическим (скоростные неоднородности и глубины отражающих горизонтов (см. рис. 4, б, а также рис. 5)), геоэлектрическим (электрические неоднородности), гравитационным и геомагнитным данным (морфология пространственных аномалий соответствующих полей и результаты их интерпретации [Яроцкий, 2010, 2013, 2016]).

В структуре приповерхностных горизонтов коры региона геолого-геофизическими методами прослежен еще целый ряд более мелких разломов и разрывных нарушений северо-восточного направления, субпараллельных или кулисообразно опережающих главную зону сдвига — Вывенско-Ватынскую разломную зону. Детальнее они будут представлены в следующей статье при анализе сейсмотектоники высокомагнитудных сейсмогенных узлов Корякского нагорья.

Рельеф подошвы коры морской транзитали Крайнеморского блока северо-востока Азии. Закономерное образование чередующихся заливов и полуостровов в пределах погружающихся и воздымающихся глыб коры выразительно прослеживается на территориях высокой сейсмичности и вулканизма вдоль побережья Берингова моря (см. рис. 3). Их появление обусловлено необратимым итогом взаимодействия океана и суши. На рассматриваемой окраине малой литосферной плиты Берингии тектонически закономерное чередование заливов и островов усиливается уникальным рельефом подошвы литосферы территории северо-востока Азии от Якутии к Берингову проливу [Карта ..., 1996]. Эта территория относится к Крайнеморскому мегаблоку литосферы, включает Морскую транзиталь вдоль всего северного побережья Берингова моря на сотни километров вглубь суши к Северному Ледовитому океану (рис. 5). На этом пространстве в рельефе подошвы коры (разноэтажных поверхностей Мохо) отслеживаются высокоградиентные зоны перепада ее глубин, имеющие северо-западное и северо-восточное простирание. Заметим, что аналогичная картина определена также для территории окружающих оз. Байкал хребтов и межгорных впадин.

На Морской транзитали (см. также [Яроцкий, 2010, 2013, 2014, 2016]) рельеф подошвы коры (см. рис. 5) представлен глубокими трогами (с погружением до 75—80 км), обрамленными валами или диапирами с подъемом до глубин 45—60 км (см. «Геологический атлас России», 1996 г.). Положе-

ние трогов и валов в рельефе подошвы решетчатое, а их отражение в разрезе земной коры и на поверхности проявляется в вулканогенах, вулканических и сейсмических поясах, синклиналиях и антиклиналиях, куполах и т. п. Одним из таких трогов в рельефе подошвы коры с погружением до 81 км является региональная полосовая глубинная структура [Яроцкий, 2010] длиной порядка 2000 км с простиранием на юго-восток по линии Море Лаптевых (Янский залив) — Берингово море (Олюторский залив). А его трасса отражает на своем южном окончании путь надвигания в позднемеловое время на северо-запад морских горных масс (ватынской свиты, ачай-ваямской свиты) на окраину Центрально-Корякской (Укэлаятской) тектонической зоны. Это — уникальное место во всей этой зоне по насыщенности разломами подавляюще северо-западного простирания! Такая же насыщенность и в приращенной новой Олюторской тектонической зоне с надвигами (свиты палеоцена и ильпинской серии) в палеогене.

При определенной виртуальности картина рельефа подошвы коры, полученная расчетным решением по геофизическим данным, отражает общую напряженность и длительность глубинных процессов в тектоносфере этого региона и бесспорно отраженных в земной коре. Это отражение — сейсмичность и вулканизм, коррелирующий с глыбово-клавишной структурой литосферы, активно наращиваемой в палеоген-четвертичное время Корякской окраины материка Азии (см. рис. 3).

Сейсмичность Корякского нагорья и вулканизм. Еще одной особенностью Корякского сейсмического пояса, как уже отмечалось, являются разобщенные площади сейсмичности и вулканизма. Это объясняется характерным взаимодействием глубинных литосферных процессов на северо-восточной окраине континента Азии на всем протяжении от Камчатского перешейка до мыса Дежнева на Чукотском полуострове. Сопряженность сейсмичности и вулканизма является генетической, она работает в рамках современной тектони-

ческой схемы развития активных окраин континентов на всей Земле.

Корякско-Чукотский окраинный вулканический пояс образован четковидной цепью разобщенных вулканогенов миоцен-квартера орогенной стадии формирования. Вулканиты Корякской (западной) ветви пояса простираются от р. Валова-ям до бухты Дежнева и сложены единым вулканическим андезитовым комплексом с базальтами. Вулканогенные комплексы (Ветроваяямский, Пахачинско-Апукский, Опукинский) находятся в воздымающихся глыбах литосферы п-овов Ильпырский — Ильпинский — Говена, п-ова Олюторского, Хатырского поднятия, п-ова мыса Наварин (см. рис. 3). Эти глыбы литосферы на глубине характеризуются поднятиями горизонтов как осадочного разреза, так и горизонтов метаморфического фундамента, разноуровневых кровель верхней мантии (М и М₁, см. рис. 4, б). Воздымающиеся глыбы полуостровов побережья разделяются погруженными глыбами заливов: Анапки (Кичигинского залива), Олюторского, Юго-Восточно-Корякских бухт и Анадырского заливов, где вулканогены практически отсутствуют (см. рис. 3). Детальный анализ особенностей соотношения тектоники и вулканизма в отдельных глыбах и блоках Корякского сейсмического пояса, в частности для территории погруженной глыбы Олюторского залива, сделан с привлечением авторских материалов [Дмитриев, Яроцкий, 1974; Байков, Яроцкий, 1979; Лопатин, Яроцкий, 1983; Яроцкий, 2003, 2008, 2010, 2013, 2014], а также по материалам, полученным планомерными региональными съемками МТЗ [Мороз, 1987] и МТЗ—МОВЗ [Белявский и др., 2007; Нурмухамедов и др., 2016]. Для анализа связи сейсмо тектоники и вулканизма погруженной глыбы Юго-Восточно-Корякских заливов и бухт дополнительно использованы материалы геологической, аэромагнитной и гравиметрической съемок м-ба 1 : 200 000 [Белый, 2003; Ващилов, 1982; Геологическая ..., 1982; Корнилов, 1971]. Все эти результаты приведены в нашей предыдущей обобщающей работе [Яроцкий,

2016] и интегрально представлены на рис. 3. В обновленном, дополненном и детализованном виде они будут представлены в следующей статье в рамках комплексного анализа сейсмотектоники высокомагнитудных сейсмических узлов Корякского пояса.

Сейсмотектоника Корякского нагорья и особенности морфологии его рельефа.

Рассмотрим теперь кратко особенности морфологии рельефа Корякского нагорья в связи с его современной геодинамикой и сейсмичностью (рис. 6). Как было уже показано, Корякский сейсмический пояс представляет собой полосу фоновой сейсмичности с $M \geq 2,5$ ($K_s \geq 8,5$) с гнездовой концентрацией землетрясений на локальных площадях, включающих и сильные события с $M \geq 5,0$ (см. рис. 3). Полоса начинается от р. Валоваям на Камчатском перешейке (60° с. ш. (см. рис. 2, 3, 5)) и простирается вдоль северного побережья Берингова моря по всему Корякскому нагорью на протяжении примерно 850 км, продолжаясь далее до мыса Дежнева на Чукотском полуострове. Ее ширина составляет около 120—200 км на суше с включением небольшой локальной площади на п-ове Олюторском. Геоморфологически полоса приурочена к хребтам и межгорным впадинам — долинам крупных рек Корякского нагорья.

Само Корякское нагорье имеет достаточно сложный и расчлененный рельеф (см.

рис. 6, а). В южной части он представлен рядом хребтов и долин в основном северо-восточного, параллельного береговой линии, простирания. Дальше на север, особенно в центральной части нагорья, более выразительно проявляется ряд элементов (хребтов и долин) ортогонального общему простиранию нагорья и берега моря северо-западного направления (см. рис. 6, пунктирные линии), отражающих описанную выше «клавишную» тектоническую структуру литосферы Корякского нагорья. Особенно выделяется здесь такого типа горная структура, включающая горный массив горы Ледяной (см. рис. 6, жирный пунктир).

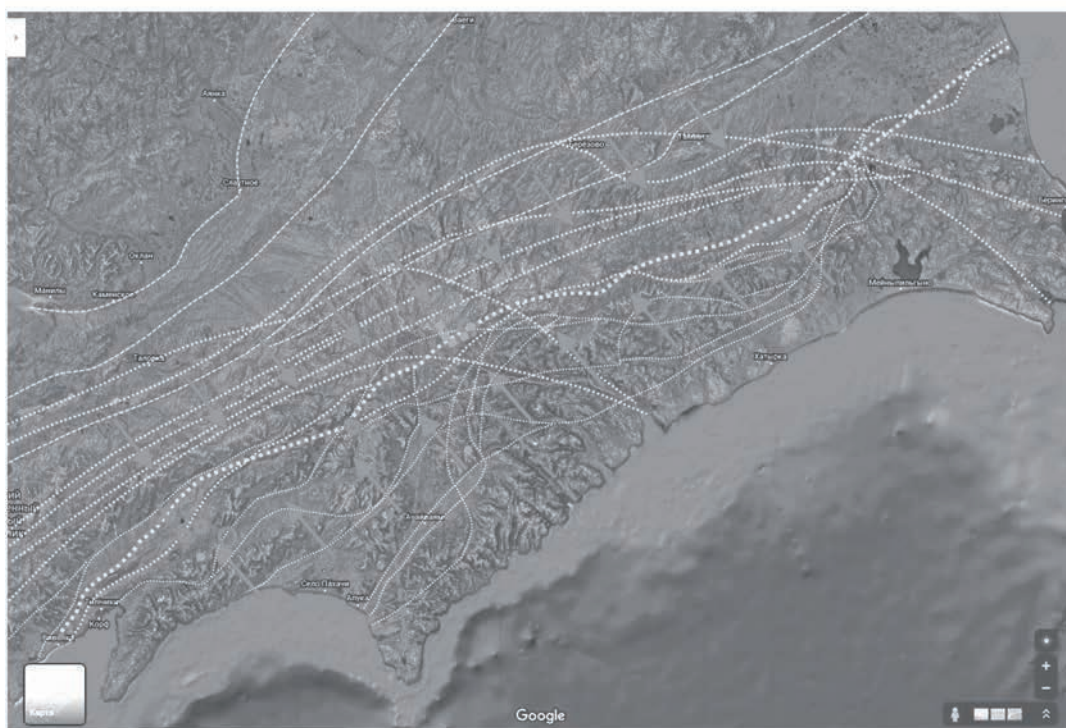
В северной части нагорья простирание горных хребтов получает преимущественно широтное направление. В общей структуре рельефа центральной части нагорья отметим также две заметные структуры субмеридионального северного направления. Одна из них — обозначенная на рис. 6 жирным пунктиром выразительно прослеживаемая цепь горных массивов. Она тянется на 320 км к северу от Олюторского полуострова (в азимуте примерно $345\text{—}350^\circ$) и является северным продолжением подводного хребта Ширшова, разделяющего Командорскую и Алеутскую глубоководные морские котловины (см. рис. 2, а). Другая — простирающаяся немного восточнее (обозначена менее жирным пунктиром) и

→
Рис. 6. Землетрясения Корякского нагорья и геоактивные структуры на его территории, прослеженные по морфологии рельефа (картооснова Google) (а) и по космоснимкам Google (б) (показана также наложенная общая схема регионального геодинамического процесса, пояснения в тексте). Условные обозначения (одинаковые для частей а и б): 1 — современная морфолого-геодинамическая и сейсмотектоническая граница плиты Берингии на Корякском нагорье; 2, 3 — разноплановые линейamentно-геоморфологические структуры — следы разновозрастных и разнохарактерных коллизионных и других палеогеодинамических процессов; 4, 5 — ось основной (4) (хребта горы Ледяной) и других (5) ортогональных геоморфологических структур; 6 — ось цепи хребтов — северного продолжения подводного хребта Ширшова; 7 — ось субмеридиональной разломной зоны; 8, 9 — очаги ряда сильных (с $M > 4,4$) и известных сильнейших (с $M > 5,0$) местных землетрясений — Корякского (К), Хаилинского (Х), Олюторского (О), Анадырского (А), и Горы Ледяной (Л); 10, 11 — соответственно коллизионная и сдвиговая составляющие регионального геодинамического процесса.

Fig. 6. Earthquakes of the Koryak Highland and the local geoactive structures identified in a relief morphology (Google maps) (a) and Google space image (б) (the superimposed general scheme of the modern regional geodynamic process is shown, explanations are in the text). Legend (the same for parts a and б): 1 — the modern morphological-geodynamic and seismotectonic border of the Bering plate in the Koryak Highlands; 2, 3 — diverse lineament-geomorphological structures — marks of different ages and diverse collision and other paleogeodynamic processes; 4, 5 — the axis of the main (4) (ridge of Mount Ledyanaya)



а



б

and other (5) orthogonal geomorphological structures; 6 — axis of the chain of ridges — the northern elongation of the underwater Shirshov ridge; 7 — axis of the submeridional fault zone; 8, 9 — the sources of a number of strong (with $M > 4.4$) and known strongest (with $M > 5.0$) local earthquakes — Koryak (K), Khailino (X), Olyutor (O), Anadyr (A), and Mount Ledyanaya (Λ); 10, 11 — respectively, the collision and shear components of the regional geodynamic process.

повернутая немного на восток (азимут примерно 10°) цепь горных долин разного порядка, отражающая полускрытую разломную зону.

На юго-западе Корякского нагорья (среднегорье) высота гор сравнительно небольшая, с отметками 650—950 м. Центральная часть нагорья с ее «теменем», горным массивом горы Ледяной, достигает высот 1600—1800 м и более. Здесь находятся истоки многих рек: Ачайваям и Ильпивеям, Укэлаят, Пикасьваям и Хатырка. Сам массив горы Ледяной (выс. 2453 м) с отдельными вершинами высотой 2000 м и более является центром Корякского хребта. Дальше к северо-востоку высота хребтов понижается до 800—1400 м.

Поскольку в рельефе территорий (а также в его отражении на космоснимках) тем или иным способом отражаются геодинамические процессы, приведшие к его формированию, рассмотрим особенности рельефа Корякского нагорья с точки зрения такого отражения детальнее. При этом надо учитывать, что новейшие, относительно краткосрочные процессы (по сравнению с более давними процессами, формировавшими структуру земной коры и рельеф территорий продолжительное время), отражаются в рельефе часто сравнительно менее выразительно, в зависимости от их относительных интенсивности и продолжительности (или, другими словами, относительной кумулятивной мощности). Они формируют свои геоморфологические структуры, накладывающиеся на уже имеющиеся. Часто процесс такого формирования отражается в виде вторичных форм рельефа или в виде морфоструктур низших порядков (отрогов хребтов, цепочек ущелий на склонах соседних хребтов, рисунка речных долин не только больших рек, но и их притоков и пр.). Именно за счет такого анализа нам удалось в последнее время проследить отражение специфических особенностей террейновых геодинамических процессов в Восточных Карпатах на фоне хорошо исследованной разными авторами ранее их общей альпийской геодинамики [Назаревич, Назаревич, 2019].

Возвращаясь к анализу в этом ключе морфологии структур рельефа Корякского нагорья в связи с его сейсмичностью (см. рис. 6), отметим следующее. В структуре рельефа (см. рис. 6, а) и в структуре линияментов на космоснимках (см. рис. 6, б) достаточно выразительно проявляется целый ряд отмеченных пунктирными линиями параллельных берегу цепочек линейных элементов северо-восточного простирания. Ряд таких структур в северной части нагорья (севернее массива горы Ледяной и далее на север к Анадырскому заливу) дугообразно переходит в широтное и даже в восток—юго-восточное направление. Такие линеаменты, по нашему мнению, отражают достаточно длительный процесс надвигания структур северо-западной окраины плиты Берингии на край Евразийской плиты вследствие коллизии этих плит (более интенсивный в южной и центральной части нагорья) и являются так называемыми структурами нагнетания с латеральным выжиманием масс, аналогично некоторым процессам в обрамлении Русской плиты [Копп и др., 2014] — отражением фронтов соответствующих «волн» напряжений-деформаций. При этом ряд других из таких линейных структур сохраняют в северной части нагорья параллельное берегу северо-восточное направление. Они, как мы считаем, отражают более древнюю (на севере этого сегмента нагорья) и современную (в прибрежной части сегмента) геодинамику взаимодействия с Евразийской плитой всей северо-западной окраины плиты Берингии.

Особенно последнее касается отмеченной жирным пунктиром волнистой линии в осевой части всей горной структуры Корякского нагорья, трассирующей в юго-западной части Вывенский сейсмогенный разлом и являющейся, по нашему мнению, современной приповерхностной геодинамической границей взаимодействующих плит. В пользу такого вывода свидетельствует как общая приуроченность сейсмичности нагорья к этой линии, так и приуроченность к ней цепочки очагов самых сильных местных землетрясений

(см. рис. 6) — Корякского (К), Хаилинского (Х), Олюторского (О), Анадырского (А) и последнего — горы Ледяной (Л). О режиме сжатия-сдвига и соответствующей сейсмотектонике этой границы свидетельствуют механизмы очагов [Левина и др., 2013, Global ..., 2020] и сейсмодислокации перечисленных сильнейших землетрясений, а также палеосейсмодислокации [Рогожин, 2012].

Непосредственным свидетельством реализации связанных со сдвиговой составляющей смещений плиты Берингии относительно плиты Евразии являются зафиксированные Е.А. Рогожиным такие смещения в эпицентральной зоне Олюторского землетрясения 2006 г. [Рогожин, 2012]. Сама зона представляла собой полосу прослеживания сейсмодислокаций шириной до 10 км и длиной 140 км, простирающуюся с юго-запада на северо-восток по долине р. Вывенки (на примерно по 70 км в обе стороны от инструментального эпицентра). На сейсморазрывах, имеющих часто разномасштабно фрагментированное «рыскающее» и/или эшелонированное (особенно в зонах максимальных смещений) строение (с кулисообразным сочленением фрагментов и часто с широкой зоной вторичных деформаций), прослеживаются горизонтальные смещения сопряженной левосдвиговой и правосдвиговой кинематики (с амплитудой от 0,2—0,8 до 3 м на разных участках), сопровождающиеся чередованием трещин растяжения (сейсморовов) шириной до 10 м и валов вспучивания высотой до 5 м. Все это (а также другие особенности, описанные ниже) полностью соответствует по своей картине фундаментальным закономерностям сдвиговых тектонических процессов [Гинтов, 2005], а также результатам тектонофизического моделирования зон сдвига [Бокун, Назаревич, 2013] (см. рис. 4, а). Такие же смещения четко зафиксированы на пересекающих зону разлома грунтовых дорогах и тропинках. На некоторых фрагментах магистрального разрыва (в зависимости от их отклонения от общего его направления), смещения имеют взбросо-надвиговый со сдвиговой компо-

нентой (с приподнятым юго-восточным крылом и вертикальной амплитудой до 0,5—0,7 м) или сбросо-сдвиговый характер (с расхождением краев сейсморовов до 3 м и горизонтальным смещением также до 3 м). Первые из них отражают компоненту сжатия в напряженно-деформированном состоянии коры региона. В сумме эти смещения отражают сдвигание предгорной гряды (см. ниже) к юго-западу, что согласуется с приведенной на рис. 5 нашей схемой сейсмотектоники Корякского нагорья.

Касательно геоморфологического проявления геодинамической зоны контакта плит Берингии и Евразии в элементах рельефа отметим, что в данном районе такая зона, трассирующаяся здесь зоной сейсмодислокаций в эпицентральной зоне Олюторского землетрясения 2006 г., представляет собой прослеживаемую в рельефе и на космоснимках вытянутую вдоль склона основного водораздела Останцового хребта предгорную гряду, на ряде участков обрамляемую с двух сторон разветвившимся здесь сейсморазрывом Олюторского землетрясения [Рогожин, 2012], сформировавшуюся на протяжении последнего времени в результате описанных сейсмотектонических процессов. По своей геомеханике и морфодинамике (чередование зон относительного сжатия и растяжения и, соответственно, цепь валообразных гряд и долин, холмов и сейсморовов) полностью соответствует результатам тектонофизического моделирования зон сдвига [Бокун, Назаревич, 2013] (см. рис. 4, а).

В зоне более интенсивного проявления компоненты деформаций сжатия — смещений взбросо-сдвига (северная часть зоны сейсмодислокаций в очаге Олюторского землетрясения) имеется выраженный, сформированный длительным сейсмотектоническим процессом уступ на левом борту долины р. Вывенки. Также имеются соответствующие кинематике смещений в очаге Олюторского землетрясения горизонтальные смещения русел левых притоков р. Вывенки (их более юго-восточных частей, находящихся в лежащих ближе к берегу моря, в геодинамически принадле-

жащих сейчас к северо-западной окраине плиты Берингии горных массивах нагорья) в зоне этого уступа — места прохождения сейсмогенного разлома (на более, чем 100 м на юго-запад) и вертикальные (подъем до 1,5 м), что говорит о характерности и значительной длительности во времени описанных сеймотектонических процессов. Указанные сеймотектонические процессы (в первую очередь, сильнейшие землетрясения с учетом оцениваемой интенсивности сотрясений в их плейстосейстовых областях до 9—10 баллов) также сопровождаются сеймовибрационными явлениями, сейсмогравитационным трещинообразованием на склонах, интенсивными осыпаниями и оползневыми явлениями с перемещениями горных масс вниз по склонам на десятки и сотни метров, изменяющими рельеф рассматриваемой территории.

Все изложенное также подтверждается результатами палеосейсмических исследований [Рогожин, 2012], которые позволяют проследить унаследованность местных сеймотектонических процессов на многие тысячи лет вглубь веков.

Обобщенная характеристика сеймотектоники Корякского сейсмического пояса. Подытоживая результаты изучения общей сеймотектоники Корякского нагорья, констатируем, что данный регион локализуется на глубинных тектонических структурах суши Беринговоморского побережья континента Евразии и включает частично территориально разобщенные, но частично также сопряженные территории Корякско-Чукотского вулканического и Корякского сейсмического поясов (см. рис. 3), размещенных на активной северо-восточной Олюторской палеоген-четвертичной окраине Евразии (см. рис. 5) в зоне ее контакта с северо-западной окраиной плиты Берингии закономерно и генетически обусловлено. Закономерность выражена в (см. рис. 3):

- едином северо-восточном простирании названных структур вдоль северного обрамления малой литосферной плиты Берингии;
- подобии размеров по простиранию —

- ширины и площади названных структур близки друг другу;
- закономерном повторении чередования воздымающихся и погружающихся глыб окраины континента, кратном примерно 150 км по простиранию поясов;
- геоструктурному подобию территорий локализации всех трех высокомагнитудных сейсмических центров Олюторской тектонической зоны;
- очевидной приуроченности территорий высокой сейсмичности к погруженным глыбам литосферы Олюторской активной окраины при практически полном отсутствии ее проявлений на территориях воздымающихся глыб;
- едином механизме образования горстграбенового («клавишного») чередования глыб литосферы: относительном погружении одних глыб, которое в коллизионных геодинамических условиях вызывает компенсационное воздымание прилегающих глыб с внедрением под них реологически вязких глубинных горных масс, испытывающих в процессе внедрения (инъекции) под такие воздымающиеся глыбы геодинамическую разгрузку (снижение геостатического давления вследствие подъема в более высокие горизонты) и частичное плавление в условиях такой разгрузки с излияниями по раскрывающимся в таких горстовых зонах разломам тяжелых масс среднего и основного состава в орогенной стадии становления окраинного вулканического пояса.

Выводы. В результате проведенного анализа комплекса геолого-геофизических и новейших GNSS данных получена интегральная картина (включая уточненные общие черты и характерные особенности) геодинамики и сеймотектоники плиты Берингии и Корякского нагорья как северо-западной части ее обрамления. Прослежен коллизионно-реологический и глубинно-тектонический генезис геодинамики Корякского сейсмического пояса и ее связь с вулканогенами Корякско-Чукотского кайнозойского вулканического пояса. Установлено, что эта геодинамика представля-

ет собой сложное пространственно-временное сочетание коллизионных, сдвиговых и горст-грабеновых («клавишных») тектонических процессов, имеющих закономерное отражение в особенностях тектонического строения литосферы региона, а также региональной и локальной сейсмичности, в том числе и в сейсмотектонике местных высокомагнитудных сейсмогенных узлов.

Впервые по комплексу системных данных детально прослежена сдвиговая составляющая движений плиты Берингии относительно плиты Евразии и прослежены отражения этой составляющей в особенностях сейсмотектонических процессов на территории Корякского нагорья. Также по результатам геоморфологического и линейментного анализа прослежены проявления геодинамической зоны контакта плит Берингии и Евразии в элементах рельефа Корякского нагорья и в разломно-линейментной сети на космоснимках. Здесь следует отметить, что эта сдвиговая составляющая, очевидно (судя по данным ГНСС и сейсмичности), проявляется во времени сильно неравномерно (квазиимпульсно), особенно интенсивно во время реализации сильных землетрясений со сдвиговым механизмом, их роев и серий афтершоков (например, Олюторского землетрясения 2006 г.). Это может быть связано, в частности, и со сложным «клавишным» строением нагорья, когда соседние блоки структурно зацепляются один за другой. Тогда сейсмотектонический процесс состоит из ряда циклов и фаз, в течение которых реализуются то сдвиговые, то надвиговые, то горст-грабеновые («клавишные») составляющие общего сейсмотектонического процесса. Нечто подобное имеет место и в Карпатском регионе Украины — такое же сложное квазициклическое пространственно-временное соотношение прослежено здесь [Назаревич, Назаревич, 2019] для общей «альпийской» и террейновой составляющих местного сейсмотектонического процесса. Более детально эти вопросы будут рассмотрены в следующей статье в связи с особенностями сейсмотектоники

конкретных высокомагнитудных очаговых зон Корякского сейсмического пояса.

По данным мониторинга сейсмичности за период 2000—2020 гг. построена привязанная к тектонике карта землетрясений Корякского сейсмического пояса, простирающегося по северо-западному побережью Берингова моря, включая Корякское нагорье. По сейсмическим событиям и ролям афтершоков в поясе выделены Ильпирский, Хаилинский (Хаилинско-Олюторский) и горы Ледяной высокомагнитудные (с $M > 5,0$) сейсмогенные центры. Прослежена связь этих сейсмогенных центров с особенностями тектоники региона. В частности, значительная сейсмическая активность этих центров, расположенных в южной части нагорья, может быть связана, кроме прочего, с близким пространственным расположением здесь (см. рис. 3) глубинной разломной Вывенско-Ватынской зоны, трассирующей геодинамическую зону контакта плиты Берингии с континентом Евразии; с осью зоны глубинных неоднородностей в низах коры, являющейся шовной зоной на границе древних Центрально-Корякской и Олюторской тектонических зон. Такое близкое взаимное расположение этих структур может дополнительно способствовать более интенсивной концентрации здесь и последующей разрядке землетрясениями накапливающихся вследствие региональных геодинамических процессов напряжений и деформаций.

По результатам сравнительного анализа сейсмотектоники Корякского нагорья и Украинских Карпат более рельефно прослежены как общие черты, так и особенности компонент сдвиговой, «клавишной» и коллизионной «крокодиловой» сейсмотектоники этих регионов.

Результаты исследований дадут возможность более надежно оценивать уровень и особенности сейсмической опасности для Корякского нагорья. Также их следует принимать во внимание при поисках здесь полезных ископаемых и организации работы горнодобывающих предприятий. В частности, поскольку в последние несколько десятилетий произошли сильные

землетрясения в погруженных блоках I, III, V и IX (см. рис. 3), можно ожидать в ближайшие несколько лет подобного сильного землетрясения в блоке VII (Бухты Мейнапыльгена), который пока (в последние 50—70 лет) не отмечен ощутимыми сейсмическими событиями (наблюдается сейсмическое затишье). Тем более, что миграция сейсмической активности идет с юго-запада (из зоны очагов Хаилинского и Олюторского землетрясений — блок III) через центральную зону (зону землетрясений горы Ледяной — блок V) как раз в этом северо-восточном направлении.

В дальнейшем авторами более детально будут рассмотрены особенности сейсмо-тектоники высокомагнитудных очаговых зон Корякского сейсмического пояса и, в частности, новейшей из них в районе горы Ледяной.

Благодарности. Авторы выражают искреннюю благодарность сотрудникам Лаборатории информационных технологий и геоэкологии ИВиС ДВО РАН — ст. инж. Я.В. Петроченко и инж. А.И. Задверняку за

помощь в компьютерной обработке данных, подготовке материалов и работе над рукописью в исключительных условиях антивирусного карантина в России в марте—мае 2020 г. Их самоотверженность способствовала оперативности подготовки статьи и высокому качеству результатов авторских исследований. Авторы очень признательны рецензенту член-корреспонденту НАН Украины, проф. О.Б. Гинтову за ценные замечания и рекомендации касательно устранения недочетов и повышения качества изложения материала, информативности рисунков и текста, их учет способствовал более углубленному и разностороннему освещению затронутой в статье проблематики. Также авторы считают своим долгом поблагодарить д-ра геол. наук, проф. В.П. Коболева за дополнительные материалы по исследуемой проблематике и ссылки на соответствующие публикации и канд. физ.-мат. наук, с.н.с. Карпатского отделения Института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины А.Р. Гныпа за помощь в улучшении изложения материала статьи, особенно фрагментов на английском языке.

Список литературы

- Анкундинов Л.А., Рожкова В.К. Государственная геологическая карта СССР. Масштаб 1 : 200 000. Серия Корякская. Листы Р-58-XXXV, О-58-V. Объяснительная записка. Москва: 1970. 58 с.
- Апрелков С.Е., Декина Г.И., Попруженко С.В. Особенности геологического строения Корякского нагорья и бассейна р. Пенжины. *Тихоокеанская геология*. 1997. Т. 16. № 2. С. 46—57.
- Байков А.И., Яроцкий Г.П. К тектонике зоны перехода континент—океан на Камчатке: *XIV Тихоокеанский международный конгресс*. Хабаровск—Москва, 1979. С. 67—68.
- Белый В.Ф. Структурные зоны северо-западного простирания — актуальная проблема тектоники кайнозойд Северо-Востока Азии. *Геодинамика, магматизм и минералогия континентальных окраин Севера Пацифики: Материалы Всероссийского совещания*. Т. 1. Магадан, 2003. С. 147—149.
- Белявский В.В., Золотов Е.Е., Ракитов В.А., Нурмухамедов А.Г., Попруженко С.В., Шпак И.П., Храпов А.В. Глубинная сейсмогеоэлектрическая модель Охотско-Чукотского вулканогенного пояса и Центрально-Корякской складчатой зоны в пределах профиля Корф—Верхнее Пенжино. В кн.: Олюторское землетрясение (20(21) апреля 2006 г., Корякское нагорье). Первые результаты исследований. Петропавловск-Камчатский: Изд. ГС РАН, 2007. С. 277—288.
- Бокун А.М., Назаревич А.В. Структура и динамика зон горизонтального сдвига (по результатам физического моделирования и полевых исследований). *Геодинамика*. 2013. № 1 (14). С. 129—141. <https://doi.org/10.23939/jgd2013.01.129>.
- Вашилов Ю.Я. Глубинная структура Охотско-Чукотского вулканогенного пояса по геофизическим данным. *Тихоокеанская геология*. 1982. № 4. С. 45—47.

- Габсатаров Ю.В. Кинематика микроплит в северо-восточной Азии: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. Москва: ИФЗ РАН, 2015. 192 с.
- Габсатаров Ю.В., Стеблов Г.М., Фролов Д.И. Результаты новых GPS-наблюдений в области Беринговой микроплиты. *Физика Земли*. 2013. № 2. С. 1—5.
- Геологическая карта Северо-Востока СССР. Гл. ред. М.Е. Городинский. Ленинград: Изд. ВСЕГЕИ, СВГУ МингеоСССР, 1982.
- Гинтов О.Б. Полевая тектонофизика и ее применение при изучении деформаций земной коры Украины. Киев: Феникс, 2005. 572 с.
- Гусева Т.В., Крупенникова И.С., Мокрова А.Н., Передерин В.П. Геодезический спутниковый мониторинг и сейсмическая активность северо-запада России. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2016. Т. 13. № 5. С. 133—141. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2016-13-5-133-141>.
- Дмитриев В.Д., Яроцкий Г.П. Роль напряжений в формировании рудоносных структур Корякско-Камчатского региона. В кн.: *Механика литосферы*. Москва: Недра, 1974. С. 64—66.
- Карта полезных ископаемых Камчатской области. Масштаб 1 : 500 000. Гл. ред. А.Ф. Литвинов, Н.Г. Патока, Б.А. Марковский. Санкт-Петербург: Изд. ВСЕГЕИ, 1999. 19 л.
- Карта рельефа подошвы литосферы России. Масштаб 1 : 10 000 000. Объяснительная записка. Ред. В.В. Соловьев, В.М. Рыжкова. Москва—Санкт-Петербург: Изд. Роскомнедра, ВСЕГЕИ, 1996. С. 187—194.
- Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов. Единая информационная система сейсмологических данных. КФ ФИЦ ЕГС РАН, 2020. Режим доступа: <http://sdis.emsd.ru/info/earthquakes/catalogue.php>.
- Копп М.Л., Вержбицкий В.Е., Колесниченко А.А., Тверитинова Т.Ю., Васильев Н.Ю., Корчемагин В.А., Мострюков А.О., Иоффе А.И. Новейшее поле напряжений востока Русской плиты и Урала по макро- и мезоструктурным данным. *Геотектоника*. 2014. № 4. С. 23—43. <https://doi.org/10.7868/S0016853X14040067>.
- Корнилов Б.А. Карта аномального магнитного поля СССР. Объяснительная записка. Лист Р-58, 59. Москва: Центр геология, 1971. 36 л.
- Ландер А.В., Букчин Б.Г., Дроздин Д.В., Кирюшин А.В. Тектоническая позиция и очаговые параметры Хаилинского (Корякского) землетрясения 8 марта 1991 г.: существует ли плита Берингия? *Вычислительная сейсмология*. 1994. Вып. 26. С. 103—122.
- Ландер А.В., Левина В.И., Иванова Е.И. Олюторское землетрясение 20(21) апреля 2006 г. $M_w = 7.6$: сейсмическая история региона и предварительные результаты исследования серии афтершоков. В кн.: *Олюторское землетрясение (20(21) апреля 2006 г. Корякское нагорье). Первые результаты исследований*. Петропавловск-Камчатский, 2007. С. 14—33.
- Левина В.И., Ландер А.В., Митюшкина С.В., Чеброва А.Ю. Сейсмичность Камчатского региона 1962—2011. *Вулканология и сейсмология*. 2013. № 1. С. 41—64. <https://doi.org/10.7868/S0203030613010057>.
- Литосфера Центральной и Восточной Европы. Геотраверсы I, II, V. Гл. ред. А.В. Чекунов. Киев: Наук. думка, 1987. 168 с.
- Лозиняк П., Місюра Я. Особливості геологічної будови донеогенового фундаменту Закарпатського прогину. *Геологія і геохімія горючих копалин*. 2010. № 3-4. С. 73—83.
- Лопатин Б.В., Яроцкий Г.П. К тектоническому и минерогеническому районированию севера Камчатской области. В кн.: *Геологическое строение и полезные ископаемые Камчатки*. Петропавловск-Камчатский, 1983. С. 46—49.
- Мороз Ю.Ф. Глубинное строение юго-западной части Корякского нагорья. *Сов. геология*. 1987. № 5. С. 118—123.
- Назаревич А.В. Особливості процесів у вогнищах на прикладі катастрофічних Суматранських землетрусів. В кн.: *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики*. Київ, 2009. С. 260—278.
- Назаревич А.В., Назаревич Л.Є. Геодинаміка, тектоніка та сейсмічність Карпатського регіону України. *Геодинаміка*. 2013а. № 2(15). С. 247—249. <https://doi.org/10.23939/jgd2013.02.247>.
- Назаревич А.В., Назаревич Л.Є. Глибинні пастково-колекторські тектонічні структу-

- ри в літосфері Карпатського регіону України: природа, походження і перспективні ресурси. *Наук. вісник Ів.-Франк. нац. техн. ун-ту нафти і газу*. 2002. № 3(4). С. 10—21.
- Назаревич Л.Є., Назаревич А.В. Особливості підготовки та характеристики вогнища Бергівського землетрусу 1965 року (за макросейсмічними даними). *Геодинаміка*. 2006. № 1(5). С. 61—74.
- Назаревич А.В., Назаревич Л.Є. Про терейнові особливості геодинаміки Українських Карпат та їх зв'язок з нафтогазоносністю: *Матеріали шостої Міжнародної науково-практичної конференції «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування» Україна, м. Трускавець, 7—11 жовтня 2019 р.* Київ, 2019. Т. 1. С. 355—359.
- Назаревич Л.Е., Назаревич А.В. Сейсмичность Украинской части Складчатых Карпат. *Проблемы сейсмологии в Узбекистане*. 2013б № 10. С. 16—22.
- Назаревич Л.Є., Назаревич А.В. Сейсмічність і деякі особливості сеймотектоніки Українських Карпат. *Геодинаміка*. 2012. № 1(12). С. 145—151. <https://doi.org/10.23939/jgd2012.01.145>.
- Нурмухамедов А.Г., Недядько В.В., Ракитов В.А., Липатев М.С. Границы литосферы на Камчатке по данным метода обменных волн землетрясений. *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*. 2016. № 1. С. 35—52.
- Олюторское землетрясение 20(21) апреля 2006 г., Корякское нагорье. Первые результаты исследований. Отв. ред. В.Н. Чебров. Петропавловск-Камчатский: Изд. ГС РАН, 2007. 290 с.
- Поздеев А.И. Государственная геологическая карта СССР масштаба 1 : 200 000. Лист Р-59-ХІV (Перевал Учхичхила). Объяснительная записка. Москва, 1986. 107 с.
- Поляков Г.П., Яроцкий Г.П. Метасоматическая зональность вторичных кварцитов Малогойвамянского рудного узла Северной Камчатки. В кн.: Рудная зональность и физико-химия гидротермальных систем. Новосибирск: Наука, 1980. С. 43—49.
- Рогожин Е.А. Очерки региональной сеймотектоники. Москва: Изд. ИФЗ РАН, 2012. 340 с.
- Структуры континентальной и переходной земной коры на космических снимках. Под ред. Н.И. Филатовой, И.В. Егоровой, А.И. Дворянкина и др. Москва: Недра, 1984. 211 с.
- Федотов С.А., Чехович В.Д., Егоркин А.В. Неогеновая глубинная структура юга Корякского нагорья и современная сейсмичность региона. *Докл. АН*. 2011. Т. 437. № 5. С. 655—658.
- Чекунов А.В., Ливанова Л.П., Гейко В.С. Глубинное строение и некоторые особенности тектоники Закарпатского прогиба. *Сов. геология*. 1969. № 10. С. 57—68.
- Яроцкий Г.П. Геолого-геофизические закономерности размещения вулканических серных месторождений Тихоокеанского рудного пояса (Корякия, Камчатка, Курилы, Япония). Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамГУ им. Витуса Беринга, 2006. 138 с.
- Яроцкий Г.П. Закономерности размещения месторождений серы в Северо-Камчатском сероносном районе и геофизические методы при их поисках: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук, 1974. 20 с.
- Яроцкий Г.П. Поперечные дислокации активных окраин континентов Тихоокеанского рудного пояса. Геофизические исследования. Кн. 2 и 3. Петропавловск-Камчатский: Изд-во ФГБОУ ВПО «Камчатского государственного университета им. Витуса Беринга», 2014. 319 с.
- Яроцкий Г.П. Разломно-блоковая тектоника литосферы северо-восточной части Тихоокеанского побережья Евразии как источник землетрясений на юго-западе Корякского нагорья. *Геодинаміка*. 2010. № 1(9). С. 28—36.
- Яроцкий Г.П. Сейсмичность и разломная тектоника юго-запада Корякского нагорья. *Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. К 40-летию создания М.В. Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН: Материалы докл. Всерос. конф.* Т. 2. Москва: Изд. ИФЗ, 2008. С. 372—375.
- Яроцкий Г.П. Тектоника и минерагения зоны перехода континент—океан. *Геодинаміка, магматизм и минерагения континентальных окраин Севера Пацифики: Материалы Всероссийского совещания*. Т. 3. Магадан, 2003. С. 244—249.
- Яроцкий Г.П. Тектонический феномен Халинского землетрясения 8 марта 1991 г. на

- юго-западе Корякского нагорья. *Геодинамика*. 2013. № 1(14). С. 110—123.
- Яроцкий Г.П. Феномен Хаилинского землетрясения 1991 г. на юго-западе Корякского нагорья. Кн. 4. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамГУ им. Витуса Беринга, 2016. 177 с.
- Яроцкий Г.П., Назаревич А.В., Назаревич Л.Е., Ляшкевич З.М. О связи сейсмичности с геодинамикой, разломно-блоковой тектоникой и вулканизмом (на примере Камчатки и Украинских Карпат). *100 лет инструментальным сейсмологическим наблюдениям на Камчатке: Материалы докладов Пятой научно-технической конференции «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России» 27 сентября—3 октября 2015 г., г. Петропавловск-Камчатский*, (CD).
- Alaska Earthquake Center (2020). Retrieved from <https://earthquake.alaska.edu/earthquakes>.
- Bürgmann, R., Kogan, M.G., Steblov, G.M., Hiley, G., Levin, V.E., & Apel, E. (2005). Interseismic coupling and asperity distribution along the Kamchatka subduction zone. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 110(B7), B07405. <https://doi.org/10.1029/2005JB003648>.
- Catalog CEC. (2020). Retrieved from http://earthquake.usgs.gov/data/centennial/centennial_Y2K.CAT.
- Cross, R.S., & Freymueller, J.T. (2008). Evidence for and implications of a Bering plate based on geodetic measurements from the Aleutians and western Alaska. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 113(B7), B07405. <https://doi.org/10.1029/2007JB005136>.
- Earthquakes of Alaska — December 1918 to November 2019. NOAA/NWS/Pacific Tsunami Warning Center. (2019). Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=VMg96IU1LD4>.
- Enders, M., Boyce, E.S., Bierma, R., Walker, K., & Feaux, K. (2011). The Earthscope Plate Boundary Observatory Alaska Region, an Overview of Network Operation, Maintenance and Improvement. *Eos Trans. AGU, Fall Meet. Suppl. Abstract G41A-0718*.
- Fujita, K., Mackey, K.G., McCaleb, R.C., Curbina, L.V., Kkovalev, V.N., Imaev, V.S., & Smirnov, V.N. (2002). Seismicity of Chukotka, northeastern Russia. In E.L. Miller, A. Grantz, S.L. Klemper (Eds.), *Tectonic Evolution of the Bering Shelf-Chukchi Sea-Arctic Margin and Adjacent Landmasses* (Vol. 360, pp. 259—272). Geol. Soc. Amer., Spec. Pap. Ser.
- Global Centroid Moment Tensor Catalog. (2020). Retrieved from <https://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>.
- Gordeev, E.I., Pinegina, T.K., Lander, A.V. & Kozhurin, A.I. (2015). Beringia: Seismic hazard and fundamental problems of geotectonics. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 51(4), 512—521. <https://doi.org/10.1134/S1069351315030039>.
- Kogan, M.G., & Steblov, G.M. (2008). Current global plate kinematics from GPS (1995—2007) with the plate-consistent reference frame. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 113(B4), B04416. <https://doi.org/10.1029/2007JB005353>.
- Kováčiková, S., Logvinov, I., Nazarevych, A., Nazarevych, L., Pek, J., Tarasov, V., & Kalenda, P. (2016). Seismic activity and deep conductivity structure of the Eastern Carpathians. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 60, 280—296. <https://doi.org/10.1007/s11200-014-0942-y>.
- Mackey, K.G., Fujita, K., Gunbina, L.V., Kovaliev, V.N., Imaev, V.S., Koz'min, B.M., & Imaeva, L.P. (1997). Seismicity of the Bering Strait region: evidence for a Bering block. *Geology*, 25(11), 979—982. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1997\)025<0979:SOTBSR>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1997)025<0979:SOTBSR>2.3.CO;2).
- Okal, E.A. (2005). A re-evaluation of the great Aleutian and Chilean earthquakes of 1906 August 17. *Geophysical Journal International*, 161(2), 268—282. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2005.02582.x>
- Search Earthquake Catalog/USGS. (2020). Retrieved from <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>.
- Starostenko, V., Janik, T., Kolomiyets, K., Czuba, W., Środa, P., Grad, M., Kováč, I., Stephenson, R., Lysynchuk, D., Thybo, H., Artemieva, I., Omelchenko, V., Gintov, O., Kutas, R., Gryn, D., Guterch, A., Hegedüs, E., Komminaho, K., Legostaeva, O., Tiira, T., & Tolkunov, A. (2013). Seismic velocity model of the crust and upper mantle along profile PANCAKE across the Carpathians between the Pannonian Basin and the East European Craton. *Tectonophysics*, 608, 1049—1072. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.07.008>.

Seismotectonics of the Koryak Highland — one of active edge of the continent of Eurasia

G. P. Yarotsky¹, A. V. Nazarevych², L. Ye. Nazarevych³, 2020

¹Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

²Carpathian branch of S.I. Subbotin name Institute of Geophysics of NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

³S.I. Subbotin name Institute of Geophysics of NAS of Ukraine, Department of Seismicity of the Carpathian region, Lviv, Ukraine

In the article the features of the general seismotectonics of the Koryak Highland as the northwestern part of the framing of the Bering plate, including the latest (09.01.2020) seismic activation in the area of Mount Ledyanaya are presented. Comparison with the general seismotectonics of the Ukrainian Carpathians, another of the moderately active platform outskirts of the Eurasian continent is also given. These features are established on the basis of a complex of geological-geophysical and the latest GNSS data and a detailed system analysis of the structural elements of the geological-tectonic system and seismotectonic activity of the Koryak region and its discrete zones using seismic data from the catalogue of the Kamchatka Branch of the Geophysical Survey of the RAS. The researches methodology is based on the author's geological and geophysical concepts of the block-key structure and tectonics of lithosphere of the active margins of the continents of the Pacific mobile belts of seismicity and volcanism and the «crocodile» alpine tectonics of the Ukrainian Carpathians. It is shown that the geomechanics of the Koryak region is a complex spatiotemporal combination of collision, shear and horst-graben («keyboard-like») tectonic processes, which reflect the general features and characteristic peculiarities of the geodynamics and seismotectonics of the Bering plate and the Koryak seismic belt as the northwestern part of its frame. Those processes appear in the peculiarities of the tectonic structure of the regions lithosphere and in the features of regional and local seismicity. In particular, for the first time by a complex of system data, the shear component of the movements of the Bering plate relative to the Eurasian plate was tracked in detail and the reflection of this component in the features of local seismotectonic processes was traced. According to seismicity monitoring data for the period 2000—2020 a tectonic-linked earthquake map of the Koryak seismic belt, extending along the northwestern coast of the Bering Sea, including the Koryak Highland, was constructed. By the strong seismic events and swarms of aftershocks in the belt the Ilpyrsky, Khailino, and Mount Ledyanaya high-magnitude (with $M > 5.0$) seismogenic centers have been identified. The connection of these seismogenic centers with the peculiarities of the tectonics of the region is traced. The collisional-rheological and deep-tectonic genesis of «keyboard-like» tectonics in the highlands and its relationship with high-magnitude seismogenic units and volcanogens of the Koryak-Chukchi Cenozoic volcanic belt are also traced. A comparative analysis of the seismotectonics of the Koryak Highland and the Ukrainian Carpathians made it possible to more clearly trace the general features and the peculiarities of the components of the «keyboard-like» and «crocodile» seismotectonics of these regions. The researches results make it possible to more reliably evaluate the level and characteristics of seismic hazard for the considered regions, especially for the Koryak Highland, and they should also be taken into account at minerals exploration here and at organizing the work of mining enterprises.

In the next article the peculiarities of seismotectonics of the high-magnitude focal zones of the Koryak seismic belt and the Ukrainian Carpathians, and in particular, the latest of them in the Mount Ledyanaya area (Koryak Highland) will be more detailed considered.

Key words: northeastern outskirts of Asia; Bering plate; Koryak Highland; seismicity; volcanism; block-key tectonics; Khailino and Mount Ledyanaya high-magnitude seismogenic centers.

References

- Ankundinov, L.A., & Rozhkova, V.K. (1970). *State geological map of the USSR. K 1 : 200 000. Koryak Series. Sheets P-58-XXXV, O-58-V. Explanatory letter*. Moscow, 58 p. (in Russian).
- Aprelkov, S.E., Dekina, G.P., & Popruzhenko, S.V. (1997). Specific features of geological structure of the Koryak Uplands and basin of the river Penzhyna. *Tikhookeanskaya geologiya*, 16(2), 46—57 (in Russian).
- Baykov, A.I., & Yarotskiy, G.P. (1979). On the tectonics of the continent—ocean transition zone in Kamchatka: *XIV Pacific International Congress* (pp. 67—68). Khabarovsk—Moscow (in Russian).
- Belyi, V.F. (2003). Structural zones of northwest strike — an actual problem of the Cenozoic tectonics of North-East Asia: *Geodynamics, magmatism and mineragenia of the continental margins of the Pacific North. Proc. of the All-Russian meeting* (Vol. 1, pp. 147—149). Magadan (in Russian).
- Belyavskiy, V.V., Zotov, E.E., Rakitov, V.A., Nurmukhamedov, A.G., Popruzhenko, S.V., Shpak, I.P., & Khrapov, A.V. (2007). Deep seismic geoelectric model of the Okhotsk-Chukotka volcanogenic belt and the Central Koryak folded zone within the Korf—Upper Penzhino profile. In *Olyutor earthquake of April 20 (21), 2006, Koryak Uplands. The first research results* (pp. 277—288). Petropavlovsk-Kamchatsky: Publ. by the Geophysical Survey RAS (in Russian).
- Bokun, A.M., & Nazarevych, A.V. (2013). Structure and dynamics of horizontal shear zones (by results of physical modelling and field studies). *Geodynamika*, (1), 129—141. <https://doi.org/10.23939/jgd2013.01.129> (in Russian).
- Vashchilov, Yu.Ya. (1982). The deep structure of the Okhotsk-Chukotka volcanogenic belt according to geophysical data. *Tikhookeanskaya geologiya*, (4), 45—47 (in Russian).
- Gabsatarov, Yu.V. (2015). Kinematics of microplates in northeast Asia: *Candidate's thesis*. Moscow: IPE RAS, 192 p. (in Russian).
- Gabsatarov, Yu.V., Steblov, G.M., & Frolov, D.I. (2013). Results of new GPS observations in the area of the Bering microplate. *Fizika Zemli*, (2), 1—5 (in Russian).
- Gorodinskiy, M.E. (Ed.). (1982). *Geological map of the North-East of the USSR*. Leningrad: Edition VSEGEI, SVGU Mingeo USSR (in Russian).
- Gintov, O.B. (2005). *Field tectonophysics and its application for the studies of deformations of the Earth's crust of Ukraine*. Kiev: Feniks, 572p. (in Russian).
- Guseva, T.V., Krupennikova, I.S., Mokrova, A.N., & Perederin, V.P. (2016). Geodetic satellite monitoring and seismic activity of the north-west of Russia. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 13(5), 133—141. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2016-13-5-133-141> (in Russian).
- Dmitriev, V.D., & Yarotskiy, G.P. (1974). The role of stresses in the formation of ore-bearing structures of the Koryak-Kamchatka region. In *Mechanics of the lithosphere* (pp. 64—66). Moscow: Nedra (in Russian).
- Litvinov, A.F., Patoka, N.G., Markovskiy, B.A. (Eds.). (1999). *Map of minerals of the Kamchatka region. Scale 1 : 500,000*. St. Petersburg: Edition VSEGEI, 19 s. (in Russian).
- Solovyov, V.V., & Ryzhkova, V.M. (Eds.). (1996). *Relief map of the base of the lithosphere of Russia. Scale 1 : 10,000,000. Explanatory note* (pp. 187—194). Moscow—St. Petersburg: Edition Roskomnedra, VSEGEI (in Russian).
- Catalogue of earthquakes of Kamchatka and the Commander Islands. Seismological Data Information System, Kamchatka Branch of GS RAS. (2020). Retrieved from <http://sdis.emsd.ru/info/earthquakes/catalogue.php> (in Russian).
- Kopp, M.L., Verzhbitskiy, V.E., Kolesnichenko, A.A., Tveritina, T.Yu., Vasil'ev, N.Yu., Korchemagin, V.A., Mostryukov, A.O., & Ioffe, A.I. (2014). Recent Stress Field in the East of the Russian Plate and the Urals from Macro- and

- Mesostructural Evidence. *Geotectonika*, (4), 23—43. <https://doi.org/10.7868/S0016853X14040067> (in Russian).
- Kornilov, B.A. (1971). *Map of the anomalous magnetic field of the USSR. Explanatory note. Sheet P-58, 59*. Moscow: Tsentrgeologiya, 36 s. (in Russian).
- Lander A.V., Bukchin B.G., Droznin, D.V., & Kiryushin, A.V. (1994). Tectonic position and focal parameters of the Khailino (Koryak) earthquake of March 8, 1991: does the Beringia plate exist? *Vychislitel'naya seysmologiya*, (26), 103—122 (in Russian).
- Lander, A.V., Levina, V.I., & Ivanova, E.I. (2007). Olyutor earthquake of April 20(21) 2006, $M_w = 7.6$: seismic history of the region and preliminary results of study of a series of aftershocks. In *Olyutor earthquake of April 20(21), 2006, Koryak Uplands. The first research results* (pp. 14—33). Petropavlovsk-Kamchatsky: Publ. by the Geophysical Survey RAS (in Russian).
- Levina, V.I., Lander, A.V., Mityushkina, S.V., & Chebrova, A.Yu. (2013). Seismicity of the Kamchatka region 1962—2011. *Vulkanologiya i seysmologiya*, (1), 41—64. <https://doi.org/10.7868/S0203030613010057> (in Russian).
- Chekunov, A.V. (Ed.). (1987). *Lithosphere of Central and Eastern Europe. Geotraverse I, II, V*. Kiev: Naukova Dumka, 168 p. (in Russian).
- Lozynyak, P., & Misyura, Ya. (2010). Peculiarities of geological structure of pre-Neogene foundation of Transcarpathian depression. *Heolohiya i heokhimiya horyuchykh kopalyn*, (3-4), 73—83 (in Ukrainian).
- Lopatin, B.V., & Yarotsky, G.P. (1983). On tectonic and mineralogical zoning of the north of the Kamchatka region. In *Geological structure and minerals of Kamchatka* (pp. 46—49). Petropavlovsk-Kamchatsky (in Russian).
- Moroz, Yu.F. (1987). Deep structure of the southwestern part of the Koryak plateau. *Sovetskaya geologiya*, (5), 118—123 (in Russian).
- Nazarevych, A.V. Peculiarities of processes in foci on the example of catastrophic Sumatran earthquakes. In *Theoretical and applied aspects of geoinformatics* (pp. 260—278). Kyiv (in Ukrainian).
- Nazarevych, A.V., & Nazarevych, L.Ye. (2013a). Geodynamics, tectonics and seismicity of the Carpathian region of Ukraine. *Geodynamika*, (2), 247—249. <https://doi.org/10.23939/jgd2013.02.247> (in Ukrainian).
- Nazarevych, A.V., & Nazarevych, L.Ye. (2002). Deep Trap-of-collection tectonic structures in the lithosphere of Carpathian region of Ukraine: the nature, genesis and prospective resources. *Naukovyy visnyk Ivano-Frankivs'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu nafty i hazu*, (3), 10—21 (in Ukrainian).
- Nazarevych, L.Ye., & Nazarevych, A.V. (2006). Peculiarities of preparation and characteristics of a source of 1965 Beregovo earthquake (by macroseismic data). *Geodynamika*, (1), 61—74 (in Ukrainian).
- Nazarevych, A.V., & Nazarevych, L.Ye. (2019). On the terrain features of the geodynamics of the Ukrainian Carpathians and their relation to the oil-and-gas bearing: *Proc. of the International Scientific and Practical Conference «Mining of mineral resources in Ukraine. Prospects for Investment», Ukraine, Truskavets, 7—11 October 2019, Kyiv, 2019* (Vol. 1, pp. 355—359) (in Ukrainian).
- Nazarevych, L.Ye., & Nazarevych, A.V. (2013b). Seismicity of the Ukrainian part of the Folded Carpathians. *Problemy seysmologii v Uzbekistane*, (10), 16—22 (in Russian).
- Nazarevych, L.Ye., & Nazarevych, A.V. (2012). Seismicity and some features of seismic tectonics of the Ukrainian Carpathians. *Geodynamika*, (1), 145—151. <https://doi.org/10.23939/jgd2012.01.145> (in Ukrainian).
- Nurmukhamedov, A.G., Nedyadko, V.V., Rakitov, V.A., & Lipatiev, M.S. (2016). The lithosphere boundaries in Kamchatka based on data on the earthquake converted-wave method (ECWM). *Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle*, (1), 35—52 (in Russian).
- Chebrov, V.N. (Ed.). (2007). *Olyutor earthquake of April 20(21) 2006, Koryak upland. The first research results*. Petropavlovsk-Kamchatsky:

- Published by the Geophysical Service RAS, 290 p. (in Russian).
- use of the FSBEI HPE V. Bering name Kamchatka State University, 319 p. (in Russian).
- Pozdeev, A.I. (1986). *State geological map of the USSR. Scale 1 : 200 000. Sheet R-59-XIV (Uchkhichkhilya Pass). Explanatory note.* Moscow, 107 p. (in Russian).
- Yarotskiy, G.P. (2010). Fault-block tectonics of the lithosphere of the north-eastern part of the Pacific coast of Eurasia as a source of earthquakes in the south-west of the Koryak upland. *Geodynamika*, (1), 28—36 (in Russian).
- Polyakov, G.P., & Yarotskiy, G.P. (1980). Metasomatic zonation of secondary quartzites of the Maletoyvayamsky ore units of Northern Kamchatka. In *Ore zonation and physical chemistry of hydrothermal systems* (pp. 43—49). Novosibirsk: Nauka (in Russian).
- Yarotskiy, G.P. (2008). Seismicity and fault tectonics of the south-west of the Koryak Highlands. «Tectonophysics and topical questions of Earth sciences. On the 40th anniversary of the creation of M.V. Gzovsky the laboratory of tectonophysics at the Institute of Physics of the Earth of RAS». Proceedings of the All-Russian Conference (Vol. 2, pp. 372—375). Moscow: Publ. by the Institute of Physics of the Earth (in Russian).
- Rogozhin, E.A. (2012). *Essays on Regional Seismotectonics.* Moscow: Published by the Institute of Physics of the Earth RAS, 340 p. (in Russian).
- Yarotskiy, G.P. (2003). Tectonics and minerageny of the continental — ocean transition zone. *Geodynamics, magmatism and minerageny of the continental margins of the North Pacific. Proceedings of the All-Russian Meeting* (Vol. 3, pp. 244—249). Magadan (in Russian).
- Filatova, N.I., Yegorova, I.V., & Dvoryankin, A.I. (Eds.). (1984). *Structures of the continental and transitional crust in satellite imagery.* Moscow: Nedra, 211 p. (in Russian).
- Yarotskiy, G.P. (2013). The tectonic phenomenon of the Khailino earthquake of March 8, 1991 in the South-West of the Koryak Highlands. *Geodynamika*, (1), 110—123 (in Russian).
- Fedotov, S.A., Chekhovich, V.D., & Yegorkin, A.V. (2011). The Neogene Deep Structure of the South of the Koryak Upland and the Modern Seismicity of the Region. *Doklady AN*, 437(5), 655—658 (in Russian).
- Yarotskiy, G.P. (2016). *The phenomenon of the Khailino earthquake of 1991 in the south-west of the Koryak Highlands.* Book 4. Petropavlovsk-Kamchatsky: Publ. House of the V. Bering name Kamchatka State University, 177 p. (in Russian).
- Chekunov, A.V., Livanova, L.P., & Geyko, V.S. (1969). Deep structure and some features of tectonics of the Transcarpathian trough. *Sovetskaya geologiya*, (10), 57—68 (in Russian).
- Yarotskiy, G.P. (2006). *Geological and geophysical regularities of localisation of Volcanic Sulfur Deposits in the Pacific Ore Belt (Koryakia, Kamchatka, Kuril Islands, Japan).* Petropavlovsk-Kamchatsky: Publ. House of the V. Bering name Kamchatka State University, 138 p. (in Russian).
- Yarotskiy, G.P., Nazarevych, A.V., Nazarevych, L.Ye., & Lyashkevich, Z.M. (2015). About the connection of seismicity with geodynamics, fault-block tectonics and volcanism (on the example of Kamchatka and the Ukrainian Carpathians). *100 years of instrumental seismological observations in Kamchatka. Proceedings of the Fifth scientific and technical conference «Problems of integrated geophysical monitoring of the Russian Far East» September 27 — October 3, 2015.* Petropavlovsk-Kamchatsky (CD) (in Russian).
- Yarotskiy, G.P. (1974). Regularities of sulfur deposits localisation in the North Kamchatka sulfur-bearing region and geophysical methods in their exploration: *Candidate's thesis*, 20 p. (in Russian).
- Alaska Earthquake Center (2020). Retrieved from <https://earthquake.alaska.edu/earthquakes>.
- Yarotskiy, G.P. (2014). *Transverse dislocations of the active margins of the continents of the Pacific ore belt. Geophysical exploration.* Books 2 and 3. Petropavlovsk-Kamchatsky: Publ. Ho-

- Bürgmann, R., Kogan, M.G., Steblov, G.M., Hiley, G., Levin, V.E., & Apel, E. (2005). Interseismic coupling and asperity distribution along the Kamchatka subduction zone. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 110(B7), B07405. <https://doi.org/10.1029/2005JB003648>.
- Catalog CEC. (2020). Retrieved from http://earthquake.usgs.gov/data/centennial/centennial_Y2K.CAT.
- Cross, R.S., & Freymueller, J.T. (2008). Evidence for and implications of a Bering plate based on geodetic measurements from the Aleutians and western Alaska. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 113(B7), B07405. <https://doi.org/10.1029/2007JB005136>.
- Earthquakes of Alaska — December 1918 to November 2019. NOAA/NWS/Pacific Tsunami Warning Center. (2019). Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=VMg96IU1LD4>.
- Enders, M., Boyce, E.S., Bierma, R., Walker, K., & Feaux, K. (2011). The Earthscope Plate Boundary Observatory Alaska Region, an Overview of Network Operation, Maintenance and Improvement. *Eos Trans. AGU, Fall Meet. Suppl. Abstract G41A-0718*.
- Fujita, K., Mackey, K.G., McCaleb, R.C., Cumbina, L.V., Kkovalev, V.N., Imaev, V.S., & Smirnov, V.N. (2002). Seismicity of Chukotka, northeastern Russia. In E.L. Miller, A. Grantz, S.L. Klemper (Eds.), *Tectonic Evolution of the Bering Shelf-Chukchi Sea-Arctic Margin and Adjacent Landmasses* (Vol. 360, pp. 259—272). Geol. Soc. Amer., Spec. Pap. Ser.
- Global Centroid Moment Tensor Catalog. (2020). Retrieved from <https://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>.
- Gordeev, E.I., Pinegina, T.K., Lander, A.V. & Kozhurin, A.I. (2015). Beringia: Seismic hazard and fundamental problems of geotectonics. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 51(4), 512—521. <https://doi.org/10.1134/S1069351315030039>.
- Kogan, M.G., & Steblov, G.M. (2008). Current global plate kinematics from GPS (1995—2007) with the plate-consistent reference frame. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 113(B4), B04416. <https://doi.org/10.1029/2007JB005353>.
- Kováčiková, S., Logvinov, I., Nazarevych, A., Nazarevych, L., Pek, J., Tarasov, V., & Kalenda, P. (2016). Seismic activity and deep conductivity structure of the Eastern Carpathians. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 60, 280—296. <https://doi.org/10.1007/s11200-014-0942-y>.
- Mackey, K.G., Fujita, K., Gunbina, L.V., Kovalev, V.N., Imaev, V.S., Koz'min, B.M., & Imaeva, L.P. (1997). Seismicity of the Bering Strait region: evidence for a Bering block. *Geology*, 25(11), 979—982. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1997\)025<0979:SOTBSR>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1997)025<0979:SOTBSR>2.3.CO;2).
- Okal, E.A. (2005). A re-evaluation of the great Aleutian and Chilean earthquakes of 1906 August 17. *Geophysical Journal International*, 161(2), 268—282. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2005.02582.x>
- Search Earthquake Catalog/USGS. (2020). Retrieved from <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>.
- Starostenko, V., Janik, T., Kolomiyets, K., Czuba, W., Środa, P., Grad, M., Kováč, I., Stephenson, R., Lysynchuk, D., Thybo, H., Artemieva, I., Omelchenko, V., Gintov, O., Kutas, R., Gryn, D., Guterch, A., Hegedüs, E., Komminaho, K., Legostaeva, O., Tiira, T., & Tolkunov, A. (2013). Seismic velocity model of the crust and upper mantle along profile PANCAKE across the Carpathians between the Pannonian Basin and the East European Craton. *Tectonophysics*, 608, 1049—1072. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.07.008>.

Сейсмотектоніка Корякського нагір'я — однієї з активних окраїн континенту Євразії

Г. П. Яроцький¹, А. В. Назаревич², Л. Є. Назаревич³, 2020

¹Інститут вулканології і сейсмології ДВО РАН, Петропавловськ-Камчатський, Росія

²Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Суботіна НАН України, Львів, Україна

³Інститут геофізики ім. С.І. Суботіна НАН України, відділ сейсмічності Карпатського регіону, Львів, Україна

Наведено особливості загальної сейсмотектоніки Корякського нагір'я як північно-західної частини обрамлення плити Берингії, включаючи новітню (09.01.2020 р.) сейсмічну активізацію району гори Ледяної. Сейсмотектоніку нагір'я порівняно із загальною сейсмотектонікою Українських Карпат — однієї із помірно активних платформних окраїн Євразійського континенту. Ці особливості встановлено на основі комплексу геолого-геофізичних і новітніх GNSS даних і детального системного аналізу структурних елементів геолого-тектонічної системи і сейсмотектонічної активності Корякського регіону та його окремих зон із залученням сейсмічних даних каталогу Камчатського філіалу Геофізичної служби РАН. Методологія дослідження ґрунтується на авторських геолого-геофізичних концепціях глибово-клавішної структури і тектоніки літосфери активних окраїн континентів Тихоокеанських рухливих поясів сейсмічності і вулканізму та «крокодилової» альпійської тектоніки Українських Карпат. Показано, що геомеханіка Корякського регіону є складним просторово-часовим поєднанням колізійних, зсувних і горст-грабенів («клавішних») тектонічних процесів, що відображають загальні риси й характерні особливості геодинаміки та сейсмотектоніки плити Берингії і Корякського сейсмічного поясу як північно-західної частини її обрамлення, виявляються в особливостях тектонічної будови літосфери регіону і в особливостях регіональної та локальної сейсмічності. Зокрема, вперше за комплексом системних даних детально простежено зсувну складову рухів плити Берингії відносно плити Євразії і відображення цієї складової в особливостях місцевих сейсмотектонічних процесів. За даними моніторингу сейсмічності за період 2000—2020 рр. побудовано прив'язану до тектоніки карту землетрусів Корякського сейсмічного поясу, який простягається по північно-західному узбережжю Берингового моря, зокрема по Корякському нагір'ю. За найсильнішими сейсмічними подіями і роями афтершоків у поясі виділено Ільпінський, Хаїлінський і гори Ледяної високомагнітудні (з $M > 5,0$) сейсмогенні центри. Простежено зв'язок цих сейсмогенних центрів з особливостями тектоніки регіону, а також колізійно-реологічний і глибинно-тектонічний генезис «клавішної» тектоніки на території нагір'я та її зв'язок з високомагнітудними сейсмогенними вузлами і вулканогенами Коряксько-Чукотського кайнозойського вулканічного поясу. Порівняльний аналіз сейсмотектоніки Корякського нагір'я та Українських Карпат дав змогу рельєфніше простежити як загальні риси, так і особливості компонент «клавішної» й «крокодилової» сейсмотектоніки цих регіонів. За результатами досліджень можна надійніше оцінювати рівень і особливості сейсмічної небезпеки для розглянутих регіонів, особливо для Корякського нагір'я, а також ці результати слід брати до уваги під час пошуків у регіоні корисних копалин та організації роботи гірничодобувних підприємств.

У наступній статті детальніше буде розглянуто особливості сейсмотектоніки високомагнітудних вогнищевих зон Корякського сейсмічного поясу і Українських Карпат, і зокрема, найновішого з них у районі гори Ледяної (Корякське нагір'я).

Ключові слова: північно-східна окраїна Азії, плита Берингії, Корякське нагір'я, сейсмічність, вулканізм, глибово-клавішна тектоніка, високомагнітудні сейсмогенні центри Хаїлінський і гори Ледяної.