

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ

УДК 551.24:550.34(571.56)

АКТИВНЫЕ СЕЙСМОСТРУКТУРЫ ЛЕНО-АЛДАНСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЯКУТИЯ)

© 2006 г. Л. П. Имаева*, В. С. Имаев**, Б. М. Козьмин*, С. В. Слепцов*

*Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск

**Институт земной коры СО РАН, Иркутск

**E-mail: imaev@crust.irk.ru

Поступила в редакцию 16.06.2005 г.

Изучение современной геодинамики одной из крупнейших на Северо-Востоке Азии позднекайнозойской предгорной Нижнеалданской впадины при помощи совместного анализа материалов дистанционных съемок и геолого-геоморфологических исследований, показывает что в настоящее время в пределах некогда обширной палеоген-неогеновой депрессии выполненной более чем 950-метровой толщей песчаниковых и песчано-глинистых отложений, под действием горизонтальных смещений по системе крупных субширотных сдвигов, которые отделяли долготную ветвь Верхоянской горной системы от предгорного прогиба, были сформированы серповидные впадины растяжения. Эти впадины в свою очередь под действием дальнейших сил горизонтального сжатия были расчленены диагональными системами более мелких сдвигов. Именно к ним тяготеют большинство известных здесь эпицентров землетрясений.

ВВЕДЕНИЕ

Территория исследований, несмотря на кажущуюся внешнюю простоту своего геолого-структурного и геоморфологического строения, характерного для равнинно-низменных участков восточной части Сибирской платформы, на самом деле представляет собой сложно построенную область, на развитие которой в позднекайнозойское время активно влияют дизъюнктивные структуры Алданского щита Сибирской платформы и Верхоянской складчатой системы, обрамляющие крупную Нижнеалданскую депрессию (рисунк).

Цель наших исследований – установление современного геодинамического плана новейших структур и выявление местных сейсмогенерирующих зон при помощи широкого использования материалов среднемасштабного и мелкомасштабного дистанционного зондирования. Одним из главных достоинств совместного использования материалов геолого-геоморфологического изучения особенностей строения разных частей этой гигантской впадины и космоснимков являлись возможности проследить большие по площади пространства и диагностировать на используемых космоснимках существенные детали строения отдельных геологических структур, проследить взаимоотношение контуров депрессии и молодых разломов, пересекающих или контролирующих развитие отдельных морфоструктур. Анализ информации проводился на широкодоступных снимках, полученных в качестве обзорных из соответствующих центров обработки космической информацией, а вся последующая интерпретация

установленных закономерностей приведена на мелкомасштабном снимке М 1:2.5 млн. (ИСЗ “Метеор”).

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При выделении зон активизированных разломов и установлении их кинематики особое внимание уделялось морфотектоническим методам исследований, которые основывались на использовании космических снимков, топографических и геологических карт различных масштабов. Специфическим преимуществом этих методов является изучение рельефа – благодаря его обзорности и предельной картографической объективности. С позиций морфотектоники рельеф представляет собой модель, отражающую явления разных глубинных ярусов и их геологическую историю.

Современный рельеф рассматривался как структурно-динамический слой, отражающий характер взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов, фиксирующий весь комплекс типов тектонических движений, происходящих в пределах земной коры.

Процесс изучения разрывных нарушений включал в себя ряд специфических операций: их выявление, определение морфологических, метрических и генетических характеристик. Отображение разрывов на космоснимках и картах отличалось многообразием и зависело как от характера разрывных деформаций (генезиса, морфологии, размера), обнаженности района, так и от условий космической съемки (фокусное расстояние, масштаб). По

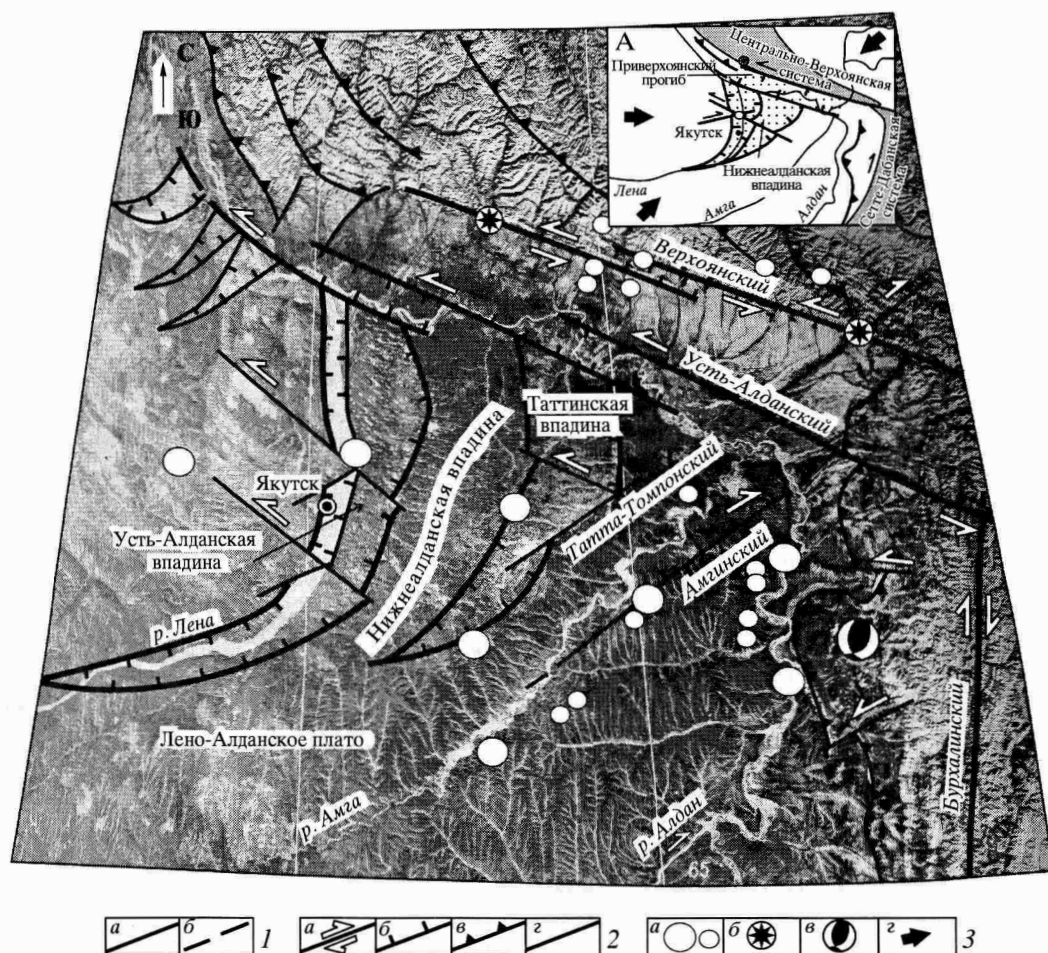


Рис. 1. Схема сейсмотектоники и современной геодинамики (на основе дешифрирования космического снимка ИСЗ “Метеор”, М 1 : 2,5 млн.): 1 – активные разломы: а – установленные, б – предполагаемые; 2 – кинематика разломов: а – сдвиги, б – сбросы, в – взбросы и надвиги, г – неустановленной кинематики; 3 – землетрясения: а – с $K > 11$ и $K < 10$, б – сейсмические деформации, в – фокальный механизм Сетте-Дабанского землетрясения (белые области – действие напряжений сжатия, черные – растяжения), г – направление регионального сжатия.

крупномасштабным космическим снимкам и топографическим картам (1 : 200000, 1 : 500000) проводилось детальное дешифрирование разрывов. При этом вначале изучались локальные нарушения, либо элементы крупных разрывных структур и устанавливалась их определенная структурно-тектоническая зональность. Затем они увязывались воедино, что позволило провести линии региональных и генеральных разломов. Последние, в отличие от локальных разрывов, выражены обычно более ярко благодаря значительным смещениям в зоне контакта разновозрастных и разнорасположенных толщ, интенсивному магматизму, наличию мощных зон смятия, дробления, расщепления, а также вследствие резкого изменения простирания структур. Выявление разрывных нарушений проводилось как по отдельным признакам, так и по их сочетаниям. В открытых районах, с уверенной дешифрированностью разломов, преобладали структурно-геологичес-

кие, то есть прямые, признаки разрывных нарушений. Геоморфологические, гидрографические и другие признаки служили индикаторами разрывов главным образом в закрытых районах.

На кинематический тип активных разломов, ограничивающих морфоструктуры, непосредственно указывает морфология неотектонических блоков. Например, блоки в виде клиньев линзовидной формы ограничены сдвигами и взбросами (Верхоянский взбросо-сдвиг и Буорхайнский сдвиг). Морфоструктуры в виде сегментов и трапеций, обычно ограниченные линиями извилистой, прерывистой формы, представляют собой надвиги (Сетте-Дабанский надвиг). Треугольные и многоугольные блоки ограничены сложными, комбинированными разломными зонами, как это видно на примере фрагментов северного борта Нижнеалданской впадины. Ромбическая форма некоторых впадин, пространственно расположенных между параллельными прямолинейными разлома-

ми и тяготеющих к их концам, соответствует присдвиговому впадинам типа "pull-apart" (Усть-Алданский сдвиг).

Следует отметить, что везде, где это было возможно, морфологические признаки дешифрирования и анализа рельефа сопровождались структурно-геологическими исследованиями (наблюдениями за трещиноватостью горных пород, слоистостью, малыми структурными формами и т.д.). Это давало в дальнейшем возможность получить набор дешифрируемых признаков, достаточно надежно сопоставляемых с морфоструктурами и активными разломами.

Различные признаки разрывных нарушений, выявленные на основе этих методов, как правило, сопутствовали или сменяли друг друга по трассе дизъюнктива и таким образом набиралась их совокупность, когда с достаточной уверенностью оценивался тип движения по разлому.

МОРФОТЕКТОНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕРРИТОРИИ

В пределах южной части Лено-Алданского плато водораздельные пространства сложены юрскими песчано-глинистыми отложениями, перекрывающими кембрий, который обнажается лишь в придолинных понижениях. Их абсолютные высоты, колеблются в пределах от 350 до 450 м с возрастанием с запада на восток. Для района характерна большая ширина и сравнительная пологость склонов, бронированных плотными пластами горизонтально залегающих алевролитов или аргиллитов. В долинах Алдана и Амга широко развиты низкие и средние, реже высокие аккумулятивные террасы, сложенные в основном песчано-глинистым материалом с включением горизонтов галечника и валунов [1]. Для всех перечисленных структур характерно различие фототоннов и степени выраженности на снимках в силу разной контрастности и возможности дешифрируемости литологических комплексов.

Между южной окраиной широтной ветви Верхоянского хребта и северной частью Лено-Алданского плато расположена Нижнеалданская впадина, выполненная мощными толщами олигоцена и неогена. На схеме известного рельефа цоколя палеоген-неогеновых образований представленных отложениями аллювиальных песков и озерно-болотных глин и глинистых песчаников установлено, что максимальные их значения (до 950 м) отмечены в областях растяжения кулис левого сдвига, трассируемого по долине р. Алдан (Усть-Алданский разлом). Депрессия имеет асимметричное строение, характерное для предгорных впадин, заполнявшихся осадками одновременно с ростом смежного хребта [2].

В наиболее прогнутом северном борту впадины (Предверхоанский прогиб) отложения олигоцена составляют большую часть разреза (до 770 м). Их накопление было сопряжено с тектоническими деформациями смежного субширотного сектора Верхоянского хребта. В составе олигоценовой и неогеновой частей разрезов присутствуют породы, принесенные как со стороны Верхоянского хребта, так и, продуктами размыва, со стороны Алдано-Становой области. Основной обломочный материал приносился с юга реками – древними Алданом и Леной. Охарактеризованные отложения на северном борту впадины местами залегают под углами 20°–30° и осложнены надвигами, несогласно перекрытыми покровом горизонтально залегающих позднеплиоценовых песков, слагающих верхнюю террасу долин Лены и Алдана. Они в свою очередь разорваны поперечными локальными сдвигами с видимой амплитудой смещения 7–10 км, которые определяются материалам среднемасштабной геологической съемки и дешифруются в виде контрастных линий на космоснимках. Таким образом, возраст надвигов и сопряженных с ними деформаций датируется как конец миоцена – начало плиоцена [3, 4].

На правом берегу р. Алдан в предгорьях широтной ветви Верхоянского хребта широко распространены среднеплейстоценовые флювиогляциальные отложения (до 60 м), представленные галечниками, валунниками и песками, состоящими исключительно из терригенных пород, характерных для Верхоянского хребта. В нижнем течении р. Келле (правый приток р. Алдан) они рассечены молодыми взаимопересекающимися диагональными разломами протяженностью примерно 10 км северо-западного и северо-восточного простираний, соответственно лево- и правосдвиговой кинематики. В сторону гор флювиогляциальные отложения сменяются грядами конечных морен. Наряду со среднеплейстоценовыми здесь установлены и позднеплейстоценовые ледниковые образования, распространенные также к северу от Нижнеалданской впадины вдоль долины р. Лена и в предгорьях долготной ветви Верхоянского хребта почти до дельты р. Лена. Они датируются поздним плейстоценом.

Для выявления современного геодинамического плана новейших структур Лено-Алданского междуречья кроме методов дешифрирования существенный интерес представляют анализ некоторых особенностей развития речных долин в последний отрезок четвертичного времени. Одной из таких особенностей, выраженных наиболее ярко, является тенденция рек к выработке своих долин вопреки топографии и геологическому строению. Известно, что поверхность Лено-Алданского плато имеет уклон к северу и северо-востоку, в этом же направлении погружаются почти горизонтально залегающие пласты кембрийских отложений. Оба

эти обстоятельства, казалось бы, должны играть определяющую роль в ориентации рек и некоторых специфических черт их эрозионно-аккумулятивной деятельности. Однако наблюдающиеся здесь явления не соответствуют обычному сценарию развития гидросети.

Наглядным тому примером служит план речной сети в бассейнах Амга, Туолба, Туолбачан, Ботома, а также и самой Лены. Левые притоки всех этих рек, текущие с севера на юг вопреки уклону общей поверхности плато и падению пластов кембрия, очень многочисленны, обычно в полтора-два раза более протяженны, а их долины лучше разработаны, чем правые притоки, развитие которых должны способствовать и орографические и геологические условия. Кроме того, многие реки-притоки текут в направлении, противоположном течению главной реки. Таковы притоки Туолбачаан (Уэсе-Сикей, Аллара-Сикей, Улахан-Курунгнах), р. Туолба (Уэль-Сала, Олонсо, Амдымдалах) и др. В результате создаются асимметричные водоразделы и у рек текущих в широтном направлении (Лена, Амга, Ботома). При этом их южный склон водораздела длинный, а северный – короткий, с небольшими притоками. Такой асимметричный характер имеют междуречья и бассейны рек Амга и Ботома; Амга и Лена, Ботома и Лена, Туолбы – Толбачана и др. Тенденция к сдвиганию рек на юг, то есть “вверх” по уклону местности и падению пластов, проявляется в строении долин, характере распределения глубин и участков наибольших скоростей течения в руслах р. Лена и Амга. Многие другие реки на участках своего широтного течения интенсивно подмывают исключительно правый берег, где располагаются и максимальные глубины.

Следует отметить, что морфологические особенности и главные черты строения долин рек и их притоков хорошо прослеживаются на обзорных космоснимках и наглядно демонстрируют перечисленные выше закономерности.

Обращает на себя внимание также следующее обстоятельство. Долина р. Амга между устьями ее притоков Хохой и Муостуя пересекает полосу поднятий, “игнорируя” гораздо “более удобные” для нее участки понижения рельефа, которые наблюдаются на Амге от верховьев Туолбы. Реки Туолба и Туолбачан в своем среднем течении пересекают возвышенные участки рельефа. С относительно пониженных территорий в относительно повышенные текут многие левые притоки Лены и т.д. Можно предположить, что такое развитие гидросети, связанное с антецедентным врезом рек в локальные, постепенно воздымающиеся морфоструктуры, обусловлено новейшими тектоническими движениями инверсионного характера.

Под влиянием современного регионального поля тектонических напряжений (очевидно сжа-

тия) в настоящее время происходит разрастание Станового (с юга) и Верхоянского (с севера) сводов. Это привело к перестройке речной сети и возникновению блоковой дифференциации рельефа отдельных морфоструктур растяжения Центрально-Якутской низменности и Лено-Алданского плато. Свидетельством этого факта могут служить геодезические данные и решения фокальных механизмов очагов землетрясений (Южно-Якутского и Сетте-Дабанского) со взбросо-сдвиговым типом движений, а также кинематика тектонических деформаций в широтном секторе Верхоянского хребта и Нижне-Алданской впадины [5].

СЕЙСМОТЕКТОНИКА И СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА

На действующей нормативной “Карте сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-97” М 1 : 8 млн. исследуемые морфоструктуры находятся в 6–8-балльной сейсмической зоне. Помимо местных сейсмических событий слабой и средней интенсивности ($K \leq 6-11$), исследуемая территория может испытывать транзитные воздействия от сильных землетрясений, часто происходящих в Байкальской рифтовой и Олекмо-Становой сейсмических зонах.

Для определения степени активизации новейших и разрывных структур был проведен совместный анализ геологических, тектонических и топографических карт, а также космических снимков среднего и мелкого масштабов.

Распределение эпицентров землетрясений с $K \leq 11$ и приуроченность их к местным тектоническим структурам (рисунок) указывает на повышенную активность Алдано-Амгинского междуречья Лено-Алданского плато. Данная морфоструктура имеет четко выраженный топографический уклон поверхности к востоку от линии Амгинского разлома северо-восточного простираения. При этом долины рек первого порядка (р. Амга и р. Алдан) направлены на северо-восток, притоки более низких порядков – на восток и юго-восток. Долина р. Амги в среднем и нижнем течении практически не имеет левых притоков, что свидетельствует о присутствии взбросовой компоненты Амгинского сдвига, ограничивающего Алдано-Амгинское междуречье с запада.

Параллельно данному дизъюнктиву дешифрируется несколько молодых разломов сходного простираения, из которых наиболее ярко выражены Татта-Томпонский, Кангаласский и Табагинский сдвиги. Отмечается наличие сопряженных с ними поперечных сдвигов северо-западного простираения, образующих динамопары. Максимальные амплитуды смещения по ним составляют 3–5 км, обычно – сотни метров. Данные разломы смещают контуры Нижне-Алданской впадины в долинах

р. Лена и Татта, являясь наиболее поздними деформациями. В районе Кангаласского мыса в 1979 г. зарегистрировано землетрясение с магнитудой $M = 4.5$. В долине р. Лена (севернее Кангаласского мыса) функционируют источники слабоминерализованных и ультрапресных вод ("Булус"), которые не замерзают и в летнее время. Там же отмечаются и наледные процессы. Выдержанность ориентировки сдвигов на исследуемой территории свидетельствует об однородности поля тектонических напряжений, которое определяется тангенциальным сжатием в субширотном направлении [5]. В 1951 г. в Кыллахском блоке Южного сектора Верхоянского складчато-надвигового пояса отмечено Сетте-Дабанское землетрясение с $M = 6.5$. Его механизм очага выявил две субдолготные плоскости сместителя. По одной из них (северо-восточной) устанавливаются правые сдвиги, по другой (северо-западной) – левые.

При пересечении данными системами разломов правобережья р. Алдан в Предверхоянском прогибе дешифрируются смещения флювиогляциальных отложений и выявлены тектонические деформации, предположительно отнесенные к классу сейсмодислокаций. Они расположены по трассе субширотной ветви Верхоянского левого сдвига простираения, который следует с запада от р. Лена к юго-востоку пересекая Кетандино-Ульбейскую правосдвиговую систему. Данный разлом отчетливо дешифрируется на всех космоснимках различных масштабов и ярко выражен в поле градиентов новейших вертикальных тектонических движений.

Интересным является и тот факт, что практически все землетрясения Лено-Алданского междуречья локализованы в пределах нескрытых интрузий. Возможность использования связи сейсмичности с гранитоидными интрузиями была показана на Тянь-Шане [6], где обнаружилась прямая зависимость землетрясений от количества интрузий. Это было также подтверждено нашими исследованиями в Северо-Восточной Якутии [5].

В геодинамическом отношении Нижне-Алданская депрессия заложена как компенсационная структура растяжения на южных крыле Центрально-Верхоянской сдвиговой системы (Верхоянский и Усть-Алданский левый сдвиг) (рисунок, А). В ее состав входят две крупные серповидные депрессии (Усть-Алданская и Таттинская), сходного морфологического облика с вытянутым окончанием к юго-западу. Отмечается также ряд локальных структур растяжения (Вилуйская, Кобяйская и др.). Пространственное расположение данных структур находится в полном соответствии с моделями на упругих оптически активных материалах [7].

Сбросовые ограничения этих впадин смещены динамопарами пересекающихся сдвигов северо-

западного и северо-восточного простираений соответственно лево и правосдвиговой кинематики. Эти разломы являются более поздними деформациями.

Другим структуроформирующим разломом является Усть-Алданский левый сдвиг северо-западного простираения, следящийся от субширотной (приустьевой) части долины р. Алдан. Он образует с Верхоянским разломом той же кинематики узкую и протяженную структуру растяжения, соответствующую Предверхоянскому краевому прогибу. Далее он касательно проходит по долине р. Лены вдоль Китчанского выступа Верхоянского свода. Усть-Алданский разлом обозначен на карте неотектонического мегакомплекса Атласа тектонических карт и опорных профилей Сибири (9 лист).

Таким образом, сейсмотектонический анализ Лено-Алданского междуречья, основанный в основном на морфотектонических исследованиях и широком использовании космических снимков, выявил следующие закономерности:

- блоковый характер рельефа морфоструктур, аномальный их топографический уклон, а также рассмотренные закономерности долинной речной сети, свидетельствуют о структурной перестройке данного региона в современное время, что связано с региональным тангенциальным сжатием. На фоне общего воздымания территории со скоростью до 4 мм/г., отдельные участки Нижне-алданской впадины (центральная часть) стабильны (0 мм/г.) или испытывают слабое опускание до –2 мм/г. (геодезические данные);

- ведущую морфотектоническую роль в формировании структур растяжения Нижне-Алданской впадины играет Центрально-Верхоянская левосдвиговая система (Верхоянский и Усть-Алданский разломы), между окончаниями кулис которой был заложен Предверхоянский краевой прогиб, а на южном крыле – Нижне-Алданская впадина;

- самыми молодыми дизъюнктивами являются динамопары левых и правых сдвигов соответственно северо-восточного и северо-западного простираений (Кангаласский, Табагинский, Татта-Томпонский, Амгинский), которые смещают сбросовые границы Нижнеалданской впадины. К зонам их пересечения приурочены эпицентры землетрясений средней интенсивности ($K \geq 11$), мерзлотноналедные явления;

- зоны разломов Центрально-Верхоянской левосдвиговой системы, по-видимому, являются сопряженной динамопарой с Сетте-Дабанской системой взбросо-сдвигов южного сектора Верхоянского складчато-надвигового пояса. Их взаимодействие и объясняет повышенный уровень сейсмической активизации всего Лено-Алданского междуречья;

– решение задач современной геодинамики сравнительно малообжитых Сибирских регионов, занимающих к тому же обширные труднодоступные территории, просто невозможно без привлечения материалов ДЗ, позволяющих объединить разрозненные геолого-геоморфологические данные в систему доказанных построений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адаменко О.М. Современный рельеф и морфоструктуры // Плоскогорья и низменности Восточной Сибири. М.: Наука, 1971. С. 15–68.
2. Камалетдинов В.А., Гриненко В.С., Слестенов Ю.Л. Геологическая карта Якутии. Централь-но-Якутский блок. Масштаб 1:500000. СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 1999. 19 с.

3. Баранова Ю.П., Ильина И.А., Никитин В.П. и др. Миоцен Мамонтовой горы. М.: Наука, 1976. 284 с.
4. Прокопьев А.В., Дейкуненко А.В. Деформационные структуры складчато-надвиговых поясов // Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). М.: МАИК “Наука”, 2001. С. 156–198.
5. Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. Сейсмо-тектоника Якутии. М.: ГЕОС, 226 с.
6. Кнауф В.И., Миколойчук А.В. и др. Строение и состав домезозойского фундамента и сейсмичность Киргизии // Геолого-геофизические изучения сейс-моопасных зон. Фрунзе: ИЛИМ, 1984. С. 25–40.
7. Осокина Д.Н., Цветкова Н.Ю. Изучение локального поля напряжений и прогноз вторичных нару-шений в окрестностях тектонических разрывов и в очагах землетрясений с учетом третьего главного напряжения // Поля напряжений и деформаций в литосфере. М.: Наука, 1979. С. 163–184.

Active Seismic Structures of Lena-Aldan Interfluve's (Central Yakutia)

L. P. Imaeva, V. S. Imaev, B. M. Kozmin, S. V. Sleptsov

Institute for Diamond and Precious Metals Geology,

Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Yakutsk

Earth Crust Institute, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Irkutsk

The investigations of the recent geodynamics one of the largest on North-East of Asia latecenozoic foothill Low Aldan depression with the aids of cooperative analysis of space imageries and geological-geophysical data show that wide paleogen-neogen depression with 950 meters of sands and clay-sand deposits under the influence of horizontal displacements on the system of large strike-slips formed the specific crescent depressions of tension. This depressions under the activity of horizontal compression were transcuted the diagonal system small strike-slip faults. This system controls almost all earthquakes which have been take place here.