

Новейшая геодинамика восточной окраины Сибирской платформы

© Л. А. Сим*, Н. А. Гордеев, А. В. Маринин

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

*E-mail: sim@ifz.ru

Комплексом геологических, структурно-геоморфологических и тектонофизических методов изучена новейшая геодинамика восточной окраины Сибирской платформы, включающей Оленекский и Мунский своды на северо-восточной периферии Анабарской антеклизы, Вилуйскую синеклизу и западную часть Предверхооянского прогиба. Впервые составлена схема новейшей геодинамики восточной части Сибирской платформы масштаба 1:500 000. Выявлено доминирование сдвигового типа напряженного состояния и выделены разломы, сформированные в неотектонический этап в разных геодинамических обстановках. Установлено, что механизм формирования Оленекского и Мунского поднятий обусловлен внутриплатформенными источниками тектонических напряжений. Для оценки степени унаследованности разновозрастных структурных планов периферии Анабарской антеклизы созданы 3D-модели поверхности осадочного чехла и фундамента. Крупные новейшие структуры – Оленекское и Мунское сводовые поднятия, Кютингдинский прогиб и Бурская впадина – на протяжении длительной геологической истории развивались унаследованно, а Предверхооянский прогиб и кряж Чекановского отнесены к инверсионным структурам. Показано, что главные особенности неотектонического структурного плана изученной территории определяют новейшие активно развивающиеся Оленекское поднятие и Верхооянский хребет.

Ключевые слова: тектоника, напряженное состояние, геодинамика, Оленекский свод, Вилуйская синеклиза.

Modern geodynamics of the eastern boundary of the Siberian Platform

Lidiya A. Sim*, Nikita A. Gordeev, Anton V. Marinin

Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*E-mail: sim@ifz.ru

The recent geodynamics of the Eastern margin of the Siberian platform has been studied by a complex of geological, structural-geomorphological and tectonophysical methods. It includes Olenek uplift and Muna uplift at the North-East of the Anabar antecline, Vilyuiskaya syncline and the Western part Predverkhoyansky trough. For the first time, a scheme of the latest geodynamics of the Eastern part of the Siberian platform at a scale of 1:500 000 was compiled. The prevalence of the strike-slip falls of tectonic regime of the stress state is established and the faults formed in the neotectonic stage in different geodynamic settings are determined. The compression axes in the horizontal plane radiate from the center of Olenek and Muna uplifts. This shows the mechanism of formation of these structures due to intra-platform sources of tectonic stresses. To assess the degree of structural heredity multi-age plans the periphery of the Anabar antecline created 3D model of the sedimentary cover and basement. The newest major structure – Olenek and Munscoe uplift, Kutungdinskoe trough and the Boer trench for geological history, has developed an inherited, and Predverkhoyansky trough and the Chekanovsky ridge is related to the inversion structures. The analysis of the neotectonic stress scheme shows that the main sources determining the features of the neotectonic structural plan of the studied area are the newest actively developing Olenek uplift and the Verkhoyansk ridge. Olenek and Muna newest uplifting have intra-platform source of tectonic stress caused by prolonged uplift of these structures, exhumation and subsequent erosion, leading to release of residual elastic gravitational stresses.

Keywords: tectonics, stressed state, geodynamics, Oleneksky crest, Vilyuiskaya syncline.

Введение

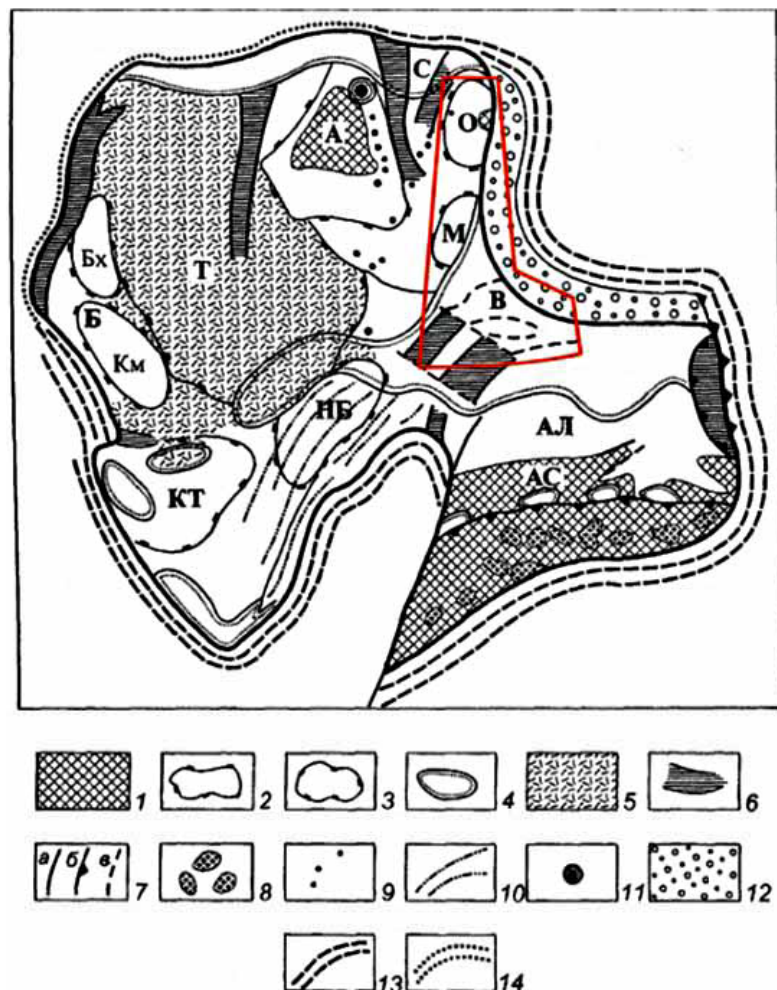
Территория исследования находится в восточной части Сибирской платформы, она включает в себя северо-восточную периферию Анабарской антеклизы, Вилюйскую синеклизу и западную окраину Предверхо-анского прогиба. Анализ положения Вилюйской синеклизы относительно Сибирской платформы показывает ее особое положение: структура сформирована на дугообразном изгибе в теле платформы; центральная ось структуры вытянута на ЮЗ и подчеркнута складчатыми структурами мезозойского Верхоянского орогенного пояса. С юго-запада навстречу этой дуге между Алданским щитом и Непско-Ботуобинской антеклизой картируется «вершина Байкало-Патомского входящего угла Центрально-Азиатского подвижного пояса» [Хаин, 2001, с. 175]. Такая сложная конфигурация Сибирской платформы, в которой явно имеет место пережим СВ простирания, сформировалась до образова-

ния рифейских авлакогенов, приспособляющихся в начальной стадии их формирования к морфологии древней структуры. На рис. 1 видно, что авлакогены Вилюйской синеклизы имеют СВ простирание в отличие от прочих авлакогенов платформы преимущественно меридионального простирания.

В пределах Анабарской антеклизы выделяются Оленекский и Мунский своды с разделяющим их Кютингдинским грабеном; Вилюйская синеклиза состоит из серии грабенообразных впадин северо-восточного простирания, сформированных над авлакогенами в фундаменте (рис. 1).

На северо-восток от района исследований расположена высокосейсмичная зона спрединга в Арктике [Имаев и др., 2000], переходящая на континенте в Момский рифт [Актуальные вопросы... , 2005], с востока от изучаемой территории находится Верхоянско-Колымская (Верхоянская) орогеническая область, активизированная в новейший этап

Рис. 1. Тектоническая схема Сибирской платформы (по [Хаин, 2001]) и район исследований. 1 – щиты и другие выступы фундамента; 2 – антеклизы; 3 – синеклизы; 4 – контуры мезо-кайнозойских впадин; 5 – область проявления триасового траппового магматизма; 6 – авлакогены; 7 – разрывные нарушения: а – выделенные, б – предполагаемые; в – крупные взбросы и надвиги; 8 – мезозойские массивы гранитоидов; 9 – кимберлитовые трубки; 10 – линейные складчатые зоны в чехле платформы; 11 – крупные астроблемы; 12 – позднекиммерийские краевые прогибы; 13–14 – обрамление древней платформы: 13 – складчатые сооружения, 14 – чехол молодых платформ. АЛ – Алданская моноклиза; АС – Алдано-Становой щит; Б – Байкитская антеклиза (Км – Камовский свод, Бх – Бахтинский); В – Вилюйская синеклиза (Ангаро-Вилюйский прогиб); КТ – Канско-Тасеевская синеклиза; М – Мунский свод; О – Оленекский свод; С – Суханская впадина; Т – Тунгусская синеклиза; НБ – Непско-Ботуобинская антеклиза. На схеме показан район исследований.



[Новейшая тектоника... , 2000; Милановский, 1996; и др.]. Такие структуры обрамления могут служить источниками внутриплитных напряжений и сейсмичности [Новейшая тектоника... , 2000] в изучаемом районе. Кроме того, данные о находках россыпных алмазов [Граханов, 2005, 2007], об Оленекском месторождении битумов [Поляков и др., 2011] и газоконденсатных месторождениях в Вилюйской синеклизе [Новейшая тектоника... , 1985; Берзин, 2001; Ефимов и др., 2012], а также отсутствие информации о напряженном состоянии обсуждаемого района [Zoback, 1992] требуют изучения новейшей геодинамики. На карте напряженного состояния верхней части литосферы Земли Сибирская платформа также представляет собой «белое пятно» [Актуальные вопросы... , 2005].

Цель данного исследования заключается в выявлении геодинамических условий формирования новейших структур восточной части Сибирской платформы.

Для изучения новейшей геодинамики структурно-геоморфологическим методом реконструкции сдвиговых напряжений [Сим, 1991] восстановлены ориентации осей сжатия и растяжения в горизонтальной плоскости. На основе полученных данных о неотектонических напряжениях впервые составлена схема неотектонических напряжений восточной части Сибирской платформы, анализ которой дал возможность определить наличие внутриплатформенных источников неотектонических напряжений и влияние новейшего орогенеза Верхоянья на формирование неотектонических структур платформы.

Методика исследований

Методика выделения неотектонических разломов. Для выделения неотектонических разломов авторы провели дешифрирование топографических карт района исследований м-ба 1:100 000 и 1:200 000, а также космических снимков (Lansat 8, MODIS – <https://www.google.ru/maps>, <https://yandex.ru/maps>). Отдешифрованные разломы сопоставляли с имеющимися государственными геологическими картами, опубликованными результатами изучения разломной тектоники, картами разломов, картами магнитных ано-

мальный м-ба 1:1 000 000 и другими материалами. Часть отдешифрованных разломов, не нашедших отражения в опубликованных материалах, остается в ранге линейментов или предполагаемых по геоморфологическим данным новейших разломов.

Структурно-геоморфологический метод реконструкции сдвиговых тектонических напряжений [Сим, 1991, 2000, 2011]. В основе геодинамического анализа территории исследования лежат данные о неотектонических напряжениях, которые были восстановлены структурно-геоморфологическим методом (СГМ) реконструкции сдвиговых напряжений. Метод основан на представлении о повсеместном развитии в осадочном чехле платформ крутопадающих разломов, которые могут формироваться только при горизонтальной ориентации осей сжатия и растяжения, а также на результатах математического [Ребецкий, 1987] и физического [Михайлова, 2002] моделирования сдвигов платформ. Сдвиг в фундаменте платформ, развиваясь в осадочном чехле, сопровождается образованием определенно ориентированных систем вторичных нарушений на дневной поверхности. Ориентация оперяющих разрывов или вторичных нарушений в зонах динамического влияния сдвигов как по полевым данным, так и по данным моделирования обобщена М.В. Гзовским [1954, 1975], она представлена на рис. 2. Это соотношение взаимных ориентировок оперяющих разрывов в зоне сдви-

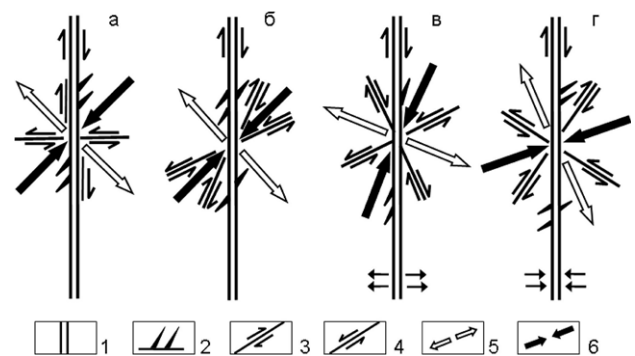


Рис. 2. Парагенезис оперяющих трещин в зоне сдвига (палетка Гзовского) [Гзовский, 1975]. Варианты напряженного состояния при углах скальвания 45° (а), $<45^\circ$ (б), обстановки дополнительного растяжения (в) и сжатия (г). 1 – разлом; 2 – трещины отрыва; 3, 4 – сколы Риделя с право-(3) и лево(4)сдвиговой кинематикой; 5, 6 – ориентация осей растяжения (5) и сжатия (6) в горизонтальной плоскости.

га, а также их ориентировки по отношению к плоскости сдвига, используется в СГМ, а рисунок назван нами палеткой Гзовского. В каждом варианте на палетке Гзовского выделяются две системы – сопряженных сколов и система отрывов, параллельная оси сжатия. Технология метода заключается в дешифрировании всех прямолинейных элементов рельефа, названных мегатрещинами, вблизи выделенного неотектонического разлома. В отличие от трещин в их классическом понимании, «мегатрещины» в зависимости от масштаба исследований могут вполне классифицироваться как мелкие разломы. Например, при реконструкции тектонических напряжений СГМ в масштабе 1:1 000 000 в зоне динамического влияния разломов длиной до 200 км и более (т.е. на карте или снимке это линеамент длиной 20 см и более) мегатрещины выделяются в виде прямолинейных элементов рельефа длиной от 0.5 до 1 см и более, что соответствует 5–10 км на местности; они могут относиться по классификации М.В. Гзовского к производным разрывам, связанным с развитием более крупных тектонических разрывов [Гзовский, 1975, с. 117].

Если мегатрещины соответствуют одному из вариантов ориентации оперяющих трещин в зоне сдвига, то при совпадении ориентировки мегатрещин относительно разлома с вариантами «в» и «г» на палетке Гзовского принимается, что разлом/линеамент и мегатрещины имеют тектоническую природу, определяются ориентировки девиаторных напряжений сжатия и растяжения в горизонтальной плоскости, направление сдвига (правый, левый) и геодинамические обстановки формирования разломов.

Возраст реконструированных напряжений принимается за новейший в связи с выраженностью разломов и мегатрещин в рельефе, а также в связи с тем, что эти структуры нарушают молодые кайнозойские отложения.

3D геологическое моделирование применено для установления взаимосвязи глубинных и новейших структур. На основе программного обеспечения ArcGis, Global Mapper оцифровывались геологические, топографические карты, тектонические схемы. В дальнейшем были созданы базы данных в формате ASCII,

Elevation data, Grid. Полученные данные загружали в программное обеспечение RMS, в котором создается рабочая среда для моделирования. Параметры модели нашей среды – ширина x , глубина y , высота z ; система привязки координат – проекция Гаусса–Крюгера на основе датума WGS84. Далее производилась загрузка файлов ASCII, Elevation data и Grid, которые мы переработали в 3D-модель.

Новейшая разломная тектоника

Новейшей тектонике района исследований посвящены мелкомасштабные карты новейшей тектоники и серия обзорных работ по обширным территориям [Новейшая тектоника... , 1985; Грачев, 1996; Новейшая тектоника... , 1998; Новейшая тектоника... , 2000; и др.], в которых рассмотрены также вопросы о крупных неотектонических разломах восточной части Сибирской платформы и структур обрамления.

Наиболее информативным индикатором тектонических напряжений служат разломы, разрывные нарушения, трещины любого масштаба (в зависимости от решаемых задач). Важная особенность неотектонической структуры Сибирской платформы заключается в большой плотности линейных тектонических нарушений, омоложении древних и возникновении новых разломов [Горнштейн и др., 1976; Берзин, 2001; Новейшая тектоника... , 2000; и др.]. «Границы крупнейших тектонических элементов Сибирской платформы нередко совпадают либо с древними активизированными разломами, либо с новейшими тектоническими разломами, выделенными по геоморфологическим признакам» [Новейшая тектоника... , 1998, с. 26].

Новейшая разломная тектоника имеет заметные различия в северной (окраина Анабарской антеклизы) и южной частях района исследований, что обусловлено особым положением Вилуйской синеклизы на Сибирской платформе [Хаин, 2001].

В структуре восточной окраины Анабарской антеклизы наблюдаются многочисленные разрывные нарушения, которые, по данным геологической съемки м-ба 1:200 000 (1960, 1965, 1975) и м-ба 1:1 000 000 (2013), в основном имеют сбросовую кинематику

и являются либо вертикальными, либо крутопадающими. Разрывы нарушают породы фундамента и осадочного чехла. Преобладают разрывы СЗ ориентировки (300–320°), проявленные на поверхности линеаментами. Оленекский свод ограничивают субмеридиональные новейшие разломы, проекция которых на дневную поверхность представляет линии слабой дугообразной формы, стремящиеся обраться свод (рис. 3). На северо-восточном крыле Оленекского поднятия присутствуют разрывы СВ простирания (20–30°, до 40°). В области распространения кембрийских отложений в этой же части поднятия выделяются узкие зоны субширотных (восток-северо-восточных) разрывов

с азимутами простирания СВ 75–80°, которые протягиваются на юг вплоть до 66° с.ш. Крупный Непский разлом СВ простирания, примерно совпадающий с северо-западной границей Вилюйской синеклизы, выделенный на карте разломной тектоники [Карта разломов... , 1980], отчетливо виден на карте четвертичных отложений м-ба 1:1 000 000 (1990), так как он отделяет области развития нерасчлененных элювиальных и делювиальных отложений. В пределах Вилюйской синеклизы отдешифрованы новейшие разломы, большинство из которых соответствуют разломам, зафиксированным на карте разломной тектоники СССР [Карта разломов... , 1980]. Так, разломы СВ простирания, ограничива-

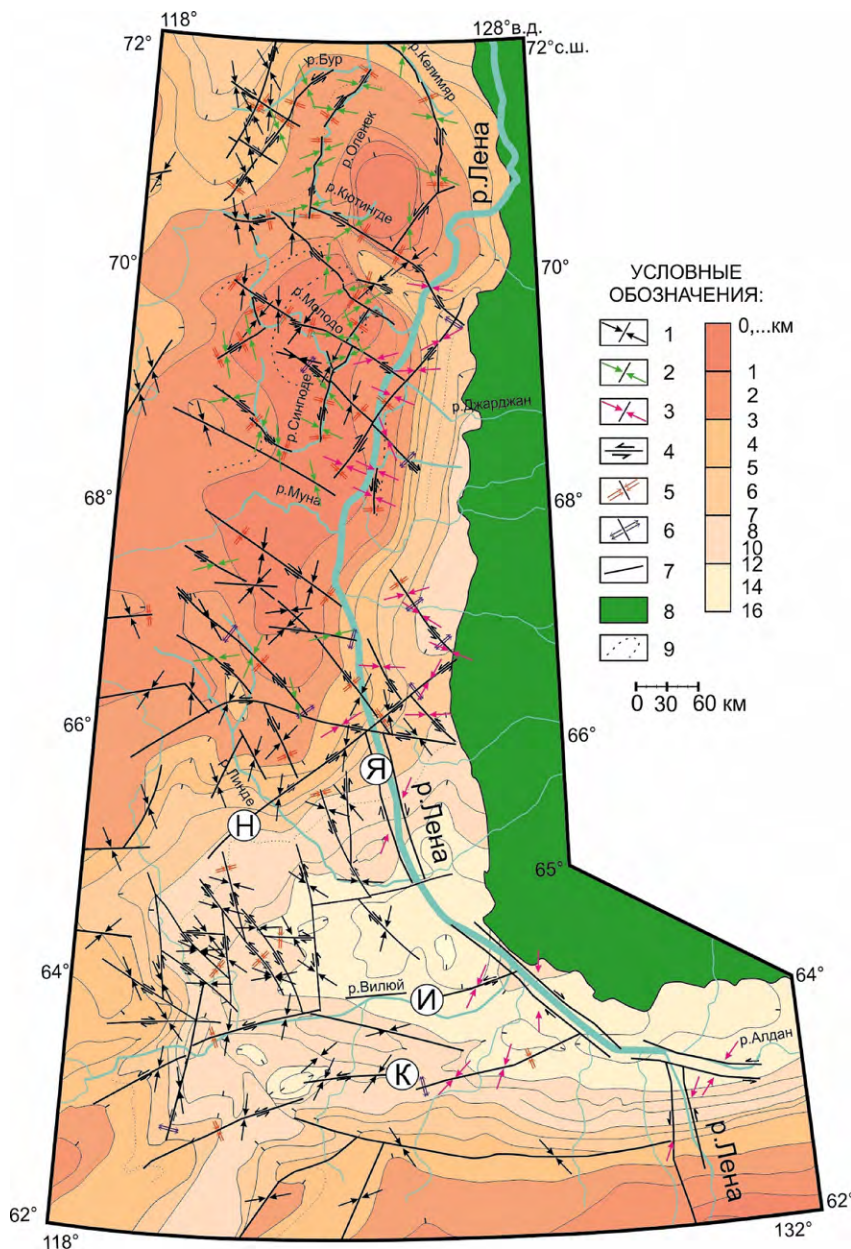


Рис. 3. Схема неотектонических напряжений и геодинамики восточной окраины Восточно-Сибирской платформы. 1–3 – оси сжатия в горизонтальной плоскости, восстановленные структурно-геоморфологическим методом, характеризующие разломы, в том числе влияние на платформенные структуры сводовых поднятий (2) и орогена (3); 4 – сдвиги; 5, 6 – локальные геодинамические обстановки сжатия (5) и растяжения (6); 7 – разрывные структуры; 8 – область Верхоянского орогенеза, 9 – предположительные изолинии фундамента через 0.5–1 км. Крупнейшие разломы: Н – Непский, И – Исыятинский, К – Кемпендяйский, Я – Якутский.

ющие авлакогены синеклизы, в центральной части структуры становятся практически субширотными. При приближении к устью р. Вилюй, а также на левобережье р. Лена разломы опять приобретают ВСВ простирание. На указанной карте выделено два таких разлома, охарактеризованных как активные в архее и среднем палеозое: более южный Кемпендяйский и северный Исыятинский, он совпадает с долиной р. Вилюй на расстоянии более 500 км от г. Верхневилуйск. Между этими разломами выделен Хапчагайский мегавал [Милановский, 1996; Берзин, 2001]. Исыятинский разлом СВ простирания, на востоке переходящий в разлом ВСВ простирания, был активен с позднего протерозоя по средний палеозой [Карта разломов... , 1980]. Исыятинский и Кемпендяйский разломы зафиксированы и на тектонической карте России м-ба 1:4 000 000 [Тектоническая... , 2006]. Перечисленные разломы северо-восточного и северо-восток-субширотного простирания являются основными дизъюнктивными структурами Вилюйской синеклизы [Сафронов и др., 2003]; их влияние на блоковую тектонику этой структуры очевидно. Особый интерес представляют субмеридиональные разломы района. Главный из них совпадает с долиной р. Лена выше устья р. Алдан и является частью Якутского мантийного разлома [Горнштейн и др., 1976; Тектоническая... , 2006]. Юго-восточная часть разлома выделена и на карте новейшей тектоники Северной Евразии [Карта новейшей тектоники... , 1997]. Северо-западное крыло синеклизы осложнено серией мелких разломов северо-западного и меридионального простираний.

Результаты реконструкции тектонических напряжений

С помощью СГМ вдоль новейших разломов, как было указано выше, восстановлены ориентации осей сжатия и растяжения в горизонтальной плоскости (рис. 3).

На схеме неотектонических напряжений ориентации осей сжатия (ориентировки осей растяжения по определению нормальны к осям сжатия) нестабильны в пространстве [Гордеев, 2016]. Так, практически все разломы СЗ простирания на востоке Анабарской

антеклизы являются правыми сдвигами, которые формируются при ССЗ ориентировке осей сжатия. При этом крупные разломы такого же простирания, ограничивающие Кютингдинский грабен, имеют противоположные сдвиговые компоненты перемещений, что должно обеспечить его продвижение на юго-восток; разломы СЗ простирания, секущие центральную часть Мунского свода, также формируются на отдельных своих отрезках как сдвиги с противоположным типом перемещений, что может быть обусловлено ростом этого свода.

Для новейшего разлома СВ простирания – северо-западной границы Вилюйской синеклизы – установлено СГМ левосдвиговое перемещение, которое характерно и для отрезков Исыятинского и Кемпендяйского разломов ВСВ-широтного простирания.

Геодинамическая обстановка дополнительного растяжения реконструирована на отдельных отрезках разломов в Предвилуйском краевом прогибе, а обстановка дополнительного сжатия – на разломах, ограничивающих Оленекский свод, и на СЗ борту Вилюйской синеклизы. Прочие разломы активизированы или сформированы в неотектонический этап в трехосном напряженном состоянии.

Геодинамика восточной окраины Сибирской платформы

Анализ распределения ориентировок осей сжатия в горизонтальной плоскости в районе исследований показал, что оси сжатия радиально расходятся от Оленекского и Мунского поднятий. Эти оси показаны на рис. 3 зеленым цветом. На основании такого распределения осей сжатия нами предполагается наличие внутриплатформенных источников деформирования этих структур. Для подтверждения этого предположения проведено 3D-моделирование структур фундамента и осадочного чехла восточной части Анабарской антеклизы. Оцифрованные геологические, топографические карты и тектонические схемы, переработанные в 3D-модели, представлены на рис. 4.

На 3D-модели фундамента отчетливо выделяются древний Оленекский и более

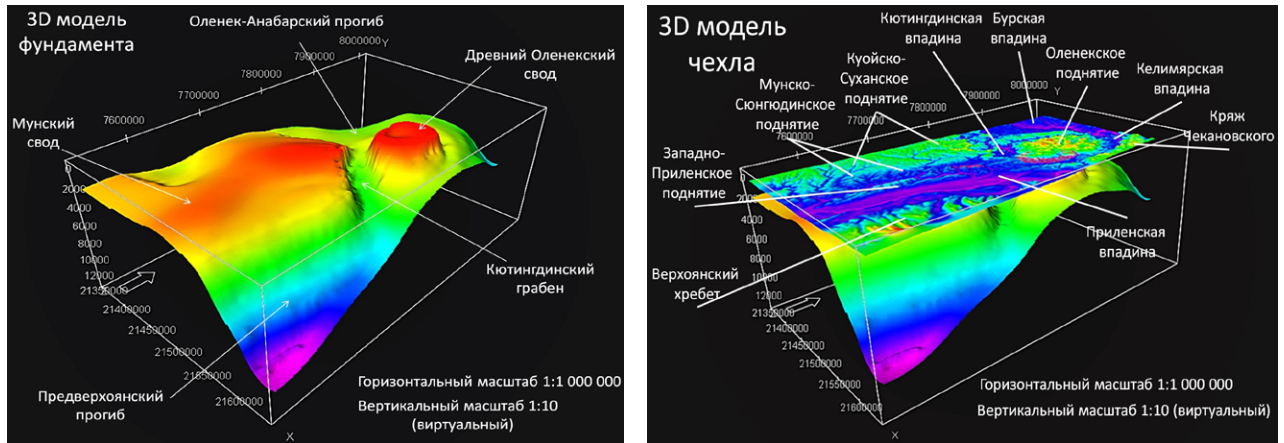


Рис. 4. 3D-модели фундамента и чехла восточной части Анабарской антеклизы.

сложно построенный Мунский своды, разделенные Кютингдинским грабеном. На северо-западе района наблюдается часть Оленек-Анабарского прогиба.

На 3D-модели чехла, построенной с учетом мощностей новейших отложений, отчетливо видно унаследованно развивающееся Оленекское поднятие.

Мунское поднятие новейшего времени делится на две ступени – Куойско-Суханскую и Мунско-Сюнгюдинскую. Последняя входит на исследуемую территорию лишь восточной окраиной. Они нашли отражение

на схеме неотектонических напряжений и новейшей геодинамики (рис. 3). На северо-востоке Оленекского поднятия единый древний Оленек-Анабарский прогиб расчленен на Бурскую и Келимярскую впадины, а на самом северо-востоке на Предверхоанском краевом прогибе сформирован наложенный кряж Чекановского. В пределах краевого прогиба на восточной окраине сформированы новейшие структуры Верхоанского хребта.

По наложенной 3D-модели чехла (рис. 4) можно определить степень унаследованности новейших структур от древних.



Рис. 5. Кембрийские отложения в основании чехла Оленекского поднятия на его юго-западном склоне. Левый берег р. Оленек, в 6 км ниже устья р. Чуксун. Фото Б.Б. Кочнева

В основании чехла лежат кембрийские отложения, обнажающиеся на левобережье р. Оленек (рис. 5). Над крупными древними Оленекским и Мунским сводами унаследованно развиваются Оленекское и Мунское поднятия; в пределах древнего Оленек-Анабарского прогиба выделились Бурская и Келимярская впадины, разделенные разрастающимся на новейшем этапе Оленекским сводом; над Кютингдинским грабеном развит одноименный прогиб.

Непосредственно на юго-запад от границы этого прогиба сформировалось единое Мунское поднятие, ступени которого, Куйско-Суханская и Мунско-Сюнгиудинская, отделяются друг от друга серпообразными притоками ручьев и рек и характеризуются разным гипсометрическим уровнем [Гордеев, Сим, 2018]. Такая перестройка новейших структур говорит о том, что Оленекское поднятие, формирующееся с протерозоя как устойчивая положительная структура, имеет свой внутриплатформенный источник деформирования, независимый от влияния внешних источников. Более того, благодаря этому источнику деформирования Оленекское поднятие влияет на развитие структур в своем обрамлении как на северной, так и на южной границах. Над древним прогибом, расположенным восточнее Оленекского и Мунского сводов на левобережье р. Лена, сформировались новообразованные неотектонические структуры Западно-Приленского меридионального поднятия и Приленская впадина, а на правобережье реки выделяются положительные структуры Верхоянья. Субширотные оси сжатия, восстановленные восточнее новейших унаследованных поднятий, выделенные на рис. 3 оранжевым цветом, отражают влияние растущих структур в Верхоянье.

Для объяснения наличия субмеридиональных ориентировок осей сжатия требуются дополнительные более детальные исследования.

Новообразованное поднятие кряж Чекановского, возникшее на западном крыле мезозойского Предверхоянского прогиба в самом начале новейшего этапа [Галабала и др., 1971], является асимметричным, с крутым западным склоном, обрывающимся к долине

р. Келимяр. Подножие склона разрывными нарушениями отделяется от Келимярского прогиба. Без сомнения, происхождение кряжа Чекановского связано с влиянием роста новейших структур Верхоянья. Поднятия-ступени Верхоянья – Восточно-Приленское, Джарджан-Натарское, Собопольское, входящие в состав Верхоянского хребта, также сформировались под влиянием орогенных процессов в Верхоянском хребте, которые обусловили активизацию новейших разломов в обрамлении Виллюйской синеклизы.

Обсуждение результатов

Анализ восстановленных неотектонических напряжений на восточной окраине Сибирской платформы напрямую связан с проблемой источников внутриплатформенных тектонических напряжений. Возможную природу таких напряжений глобального уровня большинство исследователей объясняют движением крупнейших плит литосферы. Перемещение последних формирует в области их активного взаимодействия соответствующий тип напряженного состояния с формированием основных геодинамических режимов: 1) горизонтального сжатия при конвергенции (сближении) плит; 2) горизонтального растяжения при спрединге – раздвижении плит [Леонов, 1995]. Тектонические напряжения, возникающие при этом, могут передаваться на большие расстояния. Согласно [Zoback, 1992], оси сжатия при этом ориентированы в обобщенном виде ортогонально границам литосферных плит и закономерности их ориентировок могут помочь в поисках природы внутриплитных напряжений. Неравномерные во времени фазы глобальных перестроек кинематики плит «связаны с неравномерной мантийной конвекцией» [Лобковский и др., 2004, с. 116]. На восточную окраину Сибирской платформы на неотектоническом этапе могут влиять процессы спрединга в Арктике и орогенные процессы, происходящие в Верхояно-Колымской горной системе. При изучении геодинамики района исследований предполагалось наличие признаков такого влияния на формирование структур на востоке Сибирской платформы. При этом одной из серьезных проблем реконструкции неотектонических

напряжений исследуемого региона является проблема генезиса избыточных напряжений горизонтального сжатия, которая остро стоит перед горняками, в частности, на Кольском полуострове. Эти напряжения также связывают с проявлением дальнедействующего давления от границ литосферных плит. Альтернативой этому мнению является точка зрения о действии остаточных напряжений предыдущих эпох. Длительное существование в породах верхних слоев коры остаточных явлений гравитационного напряженного состояния (ГНС) Ю.Л. Ребецкий [Ребецкий, 2008] объясняет присутствием внутренних литосферных процессов, происходящих в коре орогенов, щитов и плит. К ним относятся вертикальные восходящие перемещения, вызванные соответствующими движениями на подошве коры или литосферы. Сопутствующие им экзогенные процессы приводят к упругой разгрузке остаточных горизонтальных гравитационных напряжений, вызванной эксгумацией пород при воздымании поверхности. На основе величины эрозии Фенноскандинавского щита за мезозой–кайнозой [Сим, 2012] оказалось возможным рассчитать величину избыточных напряжений горизонтального сжатия в массиве горных пород при действии только массовых (гравитационных) сил в породах Кольского полуострова. Расчетная величина соизмерима с величинами современных напряжений, измеренных в Хибинском и Ловозерском массивах [Ребецкий и др., 2017]. Таким образом, устойчивое воздымание Оленекского и Мунского поднятий с протерозоя можно объяснить разгрузкой «разряжающихся» гравитационных горизонтальных напряжений. Рост этих поднятий обусловил радиально расходящиеся оси сжатия. Продолжающийся рост Оленекского поднятия вызвал разделение древнего Оленек-Анабарского прогиба на Бурскую и Келимярскую впадины, а также смещение оси Кютингдинского новейшего прогиба на юго-запад относительно оси Кютингдинского древнего грабена.

Новообразованные структуры на восточной окраине Анабарской антеклизы (кряж Чекановского, Западно-Приленское поднятие) с субширотной ориентировкой осей сжатия и их северо-восточные ориентации на северо-восточной границе Виллойской синеклизы обусловлены орогенными процессами в Верхо-

янском хребте. Влияние спрединга в Арктике предположительно можно ожидать западнее и северо-западнее Оленекского поднятия.

Выводы

В результате проведенных исследований составлена схема неотектонических напряжений восточной части Сибирской платформы. На основе анализа ориентировок осей сжатия в горизонтальной плоскости выделена зона влияния орогенных процессов в Верхоянье, в которой сформированы новообразованные новейшие структуры кряж Чекановского и Западно-Приленское поднятие. В Виллойской синеклизе произошла активизация разломов древнего заложения сдвигового типа. Сдвиг вызван близкими к нормальным по отношению к границе орогена и платформы ориентировками осей сжатия.

Оленекский и Мунский новейшие поднятия имеют внутриплатформенный источник тектонических напряжений, обусловленный их длительным воздыманием, которое сопровождается эксгумацией пород и последующей эрозией этих структур. Это приводит к высвобождению упругих остаточных гравитационных напряжений.

Список литературы

1. *Актуальные вопросы современной геодинамики Центральной Азии*. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. 296 с.
2. Берзин А.Г. Разломная тектоника Виллойской синеклизы в связи с нефтегазоносностью // *Тектоника неогена – общие и региональные вопросы: Материалы XXXIV тектон. совещ.* М.: ГЕОС, 2001. С. 47–50.
3. Галабала О.Р. и др. Неотектоника северо-восточной части Сибирской платформы и ее складчатого обрамления // *Вопросы региональной геологии СССР*. М.: Недра, 1971. С. 118–129.
4. Граханов С.А. Промышленные россыпи алмазов Якутии // *Бюлл. МОИП. Отдел геол.* 2005. Т. 80, вып. 3. С. 56–61.
5. Граханов С.А. *Особенности формирования и закономерности размещения россыпей алмазов северо-востока Сибирской платформы*: автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук. Якутск, 2007. 48 с.
6. Гзовский М.В. Тектонические поля напряжений // *Изв. АН СССР. Сер. геофиз.* 1954. № 5. С. 390–410.
7. Гзовский М.В. *Основы тектонофизики*. М.: Наука, 1975. 375 с.
8. Гордеев Н.А. Тектонофизический анализ линейментов Оленекского поднятия // *Четвертая тектонофиз. конф. в ИФЗ РАН: Тектонофизика и актуальные*

вопросы наук о Земле: Материалы докл. всерос. конф.: в 2 т. М.: ИФЗ, 2016. Т. 1. С. 48–52.

9. Гордеев Н.А., Сим Л.А. Комплексный подход изучения новейшей геодинамики, основанный на геологических и тектонофизических методах // *Воздействие внешних полей на сейсмический режим и мониторинг их проявлений: Тез. докл. Междунар. юбилейной науч. конф., г. Бишкек, 3–7 июля 2018 г.* Бишкек, 2018. С. 169–173.

10. Горнштейн Д.К., Мокшанцев К.Б., Петров А.Ф. Разломы восточной части Сибирской платформы // *Разломная тектоника территории Якутской АССР.* Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1976. С. 10–63.

11. Грачев А.Ф. Основные проблемы новейшей тектоники и геодинамики Северной Евразии // *Физика Земли.* 1996. № 12. С. 5–36.

12. Ефимов А.С., Герд А.А., Мельников П.Н., Старосельцев В.С., Вымятин А.А., Акимов В.Г., Черепанова И.И., Бражникова М.В. О состоянии и перспективах ресурсной базы углеводородов, геологоразведочных работ и лицензирования недр Восточной Сибири и Республики Саха (Якутия) // *Геология нефти и газа.* 2012. № 5. С. 57–74.

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

14. *Карта новейшей тектоники Северной Евразии: м-б 1:5 000 000* / гл. ред А.Ф. Грачев; Мин-во природных ресурсов России. М.: ОИФЗ РАН, 1997.

15. *Карта разломов территории СССР и сопредельных стран: м-б 1:2 500 000* / ред. А.В. Сидоренко. М.: ВСЕГЕИ, 1980.

16. Леонов Ю.Г. Напряжения в литосфере и внутриплитная тектоника // *Геотектоника.* 1995. № 6. С. 3–25.

17. Лобковский Л.И., Никишин А.М., Хаин В.Е. *Современные проблемы геотектоники и геодинамики.* М.: Науч. мир, 2004. 610 с.

18. Милановский Е.Е. *Геология России и ближнего зарубежья (Северной Евразии): учебник.* М.: Изд-во МГУ, 1996. 448 с.

19. Михайлова А.В. Исследование механизмов формирования тектонических структур в слое над активными разломами фундамента в свете учения М.В. Гзовского // *Тектонофизика сегодня.* М.: ОИФЗ РАН, 2002. С. 212–224.

20. *Новейшая тектоника, геодинамика и сейсмичность Северной Евразии* / ред. А.Ф. Грачев. М.: ПРОБЕЛ, 2000. 487 с.

21. *Новейшая тектоника Северной Евразии: Объяснит. записка к карте новейшей тектоники Северной Евразии м-ба 1:5 000 000.* М.: ГЕОС, 1998. 147 с.

22. *Новейшая тектоника Сибирской платформы и ее влияние на нефтегазоносность.* М.: Наука, 1985. 144 с.

23. Поляков А.А., Блинова В.Н., Каширцева В.А., Смирнова М.Е. Новые данные о геологическом строении Оленекского месторождения битумов и перспективах нефтегазоносности прилегающей территории // *Нефтегазовая геология. Теория и практика.* 2011. Т. 6, № 3. С. 1–13.

24. Ребецкий Ю.Л. Напряженное состояние слоя при продольном горизонтальном сдвиге блоков фундамента // *Поля напряжений и деформаций в земной коре.* М.: Наука, 1987. С. 4–56.

25. Ребецкий Ю.Л. О возможном механизме генерации в земной коре горизонтальных сжимающих напряжений // *Докл. АН.* 2008. Т. 423, № 4. С. 538–542.

26. Ребецкий Ю.Л., Сим Л.А., Козырев А.А. О возможном механизме генерации избыточного горизонтального сжатия рудных узлов Кольского полуострова (Хибины, Ловозеро, Ковдор) // *Геология рудных месторождений.* 2017. Т. 59, № 4. С. 263–280. [Rebetsky Yu.L., Sim L.A., Kozyrev A.A. Possible mechanism of horizontal overpressure generation of the Khibiny, Lovozero, and Kovdor ore clusters on the Kola Peninsula // *Geology of Ore Deposits*, 59(4): 265-280. <https://doi.org/10.1134/s1075701517040043>]

27. Сафронов А.Ф., Берзин А.Г., Фрадкин Г.С. Тектоническая природа локальных поднятий Виллюйской синеклизы // *Геология нефти и газа.* 2003. № 4. С. 20–28.

28. Сим Л.А. Изучение тектонических напряжений по геологическим индикаторам (методы, результаты, рекомендации) // *Изв. вузов. Геология и разведка.* 1991. № 10. С. 3–22.

29. Сим Л.А. Влияние глобального тектогенеза на новейшее напряженное состояние платформ Европы // *М.В. Гзовский и развитие тектонофизики.* М.: Наука, 2000. С. 326–350.

30. Сим Л.А. Полевые методы реконструкции тектонических напряжений // *Современная тектонофизика: методы и результаты: Материалы 1-й молодеж. тектонофиз. школы-сем., 21–24 сент. 2009, ИФЗ РАН, Москва.* М., 2011. С. 277–287.

31. Сим Л.А. О связи объема осадконакопления в бассейнах обрамления с величиной эрозионного сноса с Фенноскандинавского щита в мезокайнозой // *Материалы XLIV Тектон. совещ.* М.: ГЕОС, 2012. С. 398–401.

32. *Тектоническая карта России, сопредельных территорий и акваторий: м-б 1:4 000 000* / ред. Е.Е. Милановский. М.: МГУ, 2006.

33. Хаин В.Е. *Тектоника океанов и континентов (год 2000).* М.: Научный мир, 2001. 606 с.

34. Zoback M.L. First- and second-order patterns of stress in the lithosphere: the World Stress Map Project // *J. Geophys. Res.* 1992. Vol. 97, N B8. P. 11703–11728. <https://doi.org/10.1029/92jb00132>

Сведения об авторах

СИМ Лидия Андреевна, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, ГОРДЕЕВ Никита Александрович, аспирант, младший научный сотрудник, МАРИНИН Антон Витальевич, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник – лаборатория тектонофизики им. М.В. Гзовского, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва