

УДК 551.242:528

**СОВРЕМЕННАЯ КИНЕМАТИКА СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ АРГУНСКОГО
КОНТИНЕНТАЛЬНОГО МАССИВА (ВОСТОЧНАЯ ЧАСТЬ
ЦЕНТРАЛЬНО-АЗИАТСКОГО СКЛАДЧАТОГО ПОЯСА)****Серов М.А., Жижерин В.С.***ФГБУН Институт геологии и природопользования Дальневосточного отделения
Российской академии наук, Благовещенск, e-mail: serov@ascnet.ru*

В статье представлены данные о современных движениях северной части Аргунского континентального массива. Они основаны на геодезических измерениях с использованием GPS технологий и геолого-геофизической информации. Исследования проводились на геодинамическом полигоне, охватывающем территорию с координатами от 121 до 128 градусов в.д. и от 53 до 56 градусов с.ш. Современная геодинамика и сейсмичность исследуемого региона в значительной мере определяются взаимодействием Евразийской и Амурской литосферных плит, область сопряжения которых представляет собой транзитную зону, состоящую из подвижных тектонических блоков, ограниченных сейсмоактивными разломами. В результате обработки GPS данных было получено векторное поле скоростей смещений пунктов геодинамического полигона Верхнего Приамурья. Установленные параметры смещений (направление, величина) свидетельствуют об однородности векторного поля скоростей точек, принадлежащих северной части Аргунского массива, и отсутствии в его пределах значимых подвижек (разности в компонентах векторов не превышают первые мм в год). Сделан вывод о кинематической целостности северной части Аргунского массива на современном этапе.

Ключевые слова: современная геодинамика, GPS-геодезия, Центрально-Азиатский складчатый пояс, Аргунский массив

**PRESENT-DAY KINEMATICS OF THE NORTHERN PART OF THE ARGUNA
CONTINENTAL MASSIF (EASTERN PART OF THE CENTRAL ASIAN FOLD BELT)****Serov M.A., Zhizherin V.S.***Science federal state budgetary institution Institute of geology and environmental management
of Far East office of the Russian Academy of Sciences, Blagoveshchensk, e-mail: serov@ascnet.ru*

The paper presents data of modern movements in the northern part of the Argun continental massif. That data are based on geodetic measurements using GPS technology and geological and geophysical information. Measurements were carried out at the geodynamic range, covering the territory with coordinates from 121 to 128 degrees east and from 53 to 56 degrees north. Modern geodynamics and seismicity of the region are largely determined by the interaction of the Eurasian and Amur lithospheric plates, the conjugation zone of which is a transit zone consisting from many mobile tectonic blocks limited by seismically active faults. As a result of GPS data processing, a vector field of displacement velocities of geodynamic polygon sites in the Upper Amur region was obtained. The established displacement parameters (direction, magnitude) indicate the homogeneity of the vector field of points displacement belonging to the northern part of the Argun massif and the absence of significant motions in its range (the differences in the vector components do not exceed the first mm per year). A conclusion is made about the kinematic integrity of the northern part of the Argun massif at the present stage.

Keywords: modern geodynamics, GPS-geodesy, Central Asian folded belt, Argun massif

Тектоническая эволюция Восточной Азии, представляющей собой сложный коллаж разновозрастных геологических структур, издавна привлекает внимание исследователей. Согласно существующим представлениям [1, 2], здесь выделяются Северо-Азиатский и Северо-Китайский кратоны, между которыми зажаты Аргунский (Керулен-Аргуно-Мамынский), Бу-реинско-Цзямусинский континентальные массивы (супертеррейны), разделенные палеозойскими и позднепалеозойско-ранне-мезозойскими складчатыми поясами.

Одним из наиболее дискутируемых аспектов является современная геодинамика этого региона, которая обычно рассматривается в русле взаимодействия Евразийской и Амурской плит. Область этого

взаимодействия по [3, 4] представляет собой широкую полосу (до 400 км) активизации эндогенных процессов. Северным ограничением этой полосы, протягивающейся от озера Байкал на западе, до Удской Губы Охотского моря на востоке, выступает Олекмо-Становая сейсмическая зона, южным – Тукурингра-Джагдинская.

По существующим представлениям кинематические характеристики взаимодействующих Евразийской и Амурской плит практически идентичны [5], скорость смещения Амурской плиты относительно Евразийской имеет очень малую величину – 1–3 мм/год [6], однако зона их сочленения ярко выражена в градиентах поля напряжений, плотности разрывных нарушений и сейсмичности [7, 8]. Участков инструмен-

тальных GPS-наблюдений в пределах Амурской плиты сравнительно немного [6, 9], и они не характеризуют всю ее площадь, что снижает обоснованность представлений об однонаправленности движения слагающих ее блоков и, соответственно, целостности.

Целью данной работы является изучение современной кинематики северной части Аргунского континентального массива на основе GPS-измерений, полученных на Верхнеамурском геодинамическом полигоне. Этот континентальный массив в схемах структурного районирования [1, 3, 4, 8], рассматривается в качестве составной части Амурской литосферной плиты. С севера Аргунский массив отделен от Монголо-Охотского складчатого пояса (МОСП) Южно-Тукурингским разломом субширотного простирания.

В строении Аргунского континентального массива принимают участие разновозрастные геологические образования. В существующих стратиграфических схемах в качестве «основания» обычно рассматриваются условно раннедокембрийские метаморфические комплексы гонжинской серии [1, 10]. Однако в последние годы показано, что формирование протолитов метаморфических пород гонжинской серии произошло в палеозое и мезозое, а наложенные на них структурно-метаморфические преобразования связаны не с докембрийским, а с мезозойским этапом геологического развития.

Мощные деформированные терригенные толщи юрского возраста слагают Верхнеамурский прогиб [1, 2], расположенный вдоль границы Аргунского континентального массива и Монголо-Охотского складчатого пояса. Л.П. Зоненшайн с соавторами [7] сопоставлял эти толщи с отложениями пассивных континентальных окраин, тогда как Л.М. Парфенов с соавторами [2] предполагал их орогенную природу.

Раннемеловые комплексы представлены интрузиями преимущественно гранитоидного состава, относимыми к верхнеамурскому и буриндинскому комплексам, а также андезитами и дацитами талданского вулканического комплекса [10]. К несколько более поздним относится галькинский бимодальный вулканический комплекс.

Наконец значительная часть Аргунского континентального массива, по крайней мере его восточная часть, перекрыта чехлом рыхлых отложений кайнозойских отложений Амуро-Зейской впадины [10].

Неотектонический этап развития территории Верхнего Приамурья обусловлен

продолжающимся сближением под острым углом Евразийской и Амурской плит. Межплитные и межблоковые движения привели к созданию сложных разломно-блоковых структур современного облика, чье развитие происходит на основе тектонических структур более раннего времени заложения.

Вычисленная средняя мощность земной коры северной части Аргунского массива имеет типичные для континентов значения (40–42 км) и незначительно увеличивается с востока на запад [1]. Модельная глубина залегания подошвы литосферы составляет 85 км на его восточном обрамлении, увеличивается до 100 км в его центральной части и достигает 150 км на его западном фланге [4]. Вычисленная средняя плотность земной коры характеризуется пониженными значениями, и незначительно увеличивается с юга на север от 2,805 г/см³ до 2,826 г/см³. Плотность верхней мантии имеет повышенные значения 3,289 г/см³ и практически не изменяется на всей его площади.

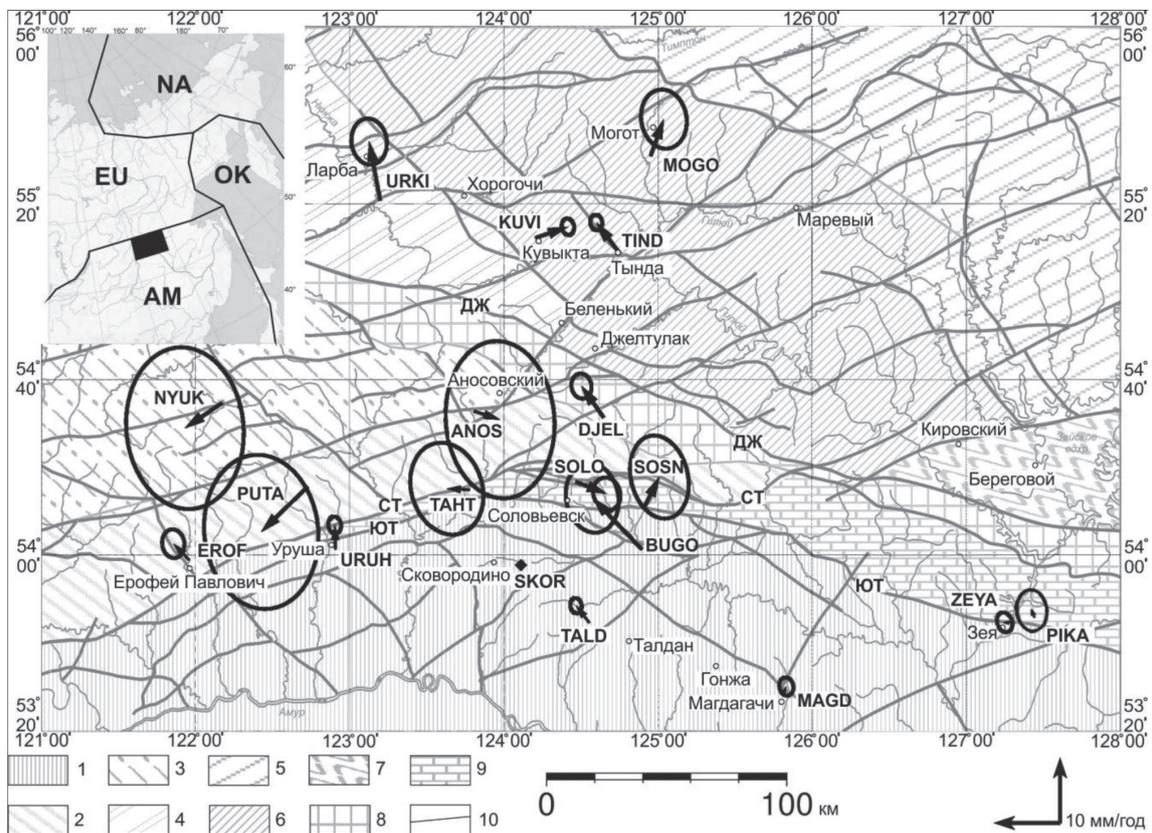
В геоэлектрических полях [1] отчетливо выражены два слоя, верхний соотносится с земной корой и имеет мощность 30–40 км, с типичным сопротивлением 1800–3700 Ом/м. Нижний слой, мощностью 30–60 км и сопротивлением 100–500 Ом/м, соотносится с литосферной мантией. В подошве земной коры выделяется незначительный по мощности высокопроводящий 25–40 Ом/м слой мощностью 5–15 км. На схеме гравитационного поля [10] территории северной части Аргунского массива соответствуют положительные аномалии 30–40 мГал, достигающие значений 55 мГал на его северном обрамлении. На схеме аномалий магнитного поля [10] северная часть Аргунского массива подразделяется на две зоны: восточную, с общей незначительной положительной аномалией до 200 нТл, и западную, с эквивалентной общей отрицательной аномалией. В центральной области на локальных участках аномалии магнитного поля достигают экстремальных значений более 2000 нТл. Тепловой поток на выделяемой площади имеет стационарный характер [1], его интенсивность составляет около 45 мВт/м² на южном обрамлении и монотонно возрастает в северном направлении, где в области сочленения с МОСП достигает значений 80 мВт/м². Сейсмический режим на большей части Аргунского массива спокойный, инструментально зарегистрированы лишь отдельные рассеянные по площади и времени сейсмические события малых магнитуд. Однако в зоне влияния Южно-Тукурингского

разлома плотность выделяемой сейсмической энергии значительно возрастает, и как показало случившееся в 2011 г. близ г. Сковородино сейсмическое событие магнитудой 6.1 [11], накапливающиеся на этом участке тектонические напряжения способны продуцировать сильные землетрясения с катастрофическими последствиями, т.к. разлом пересекает действующий нефтепровод ВСТО и строящийся газопровод «Сила Сибири», Транссибирская и Байкало-Амурская железнодорожные магистрали, в зоне влияния разлома также находится Зейская ГЭС.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в северной части Амурской области (Верхнее Приаму-

рье) на геодинамическом полигоне, охватывающем территорию с координатами от 121 до 128 градусов в.д. и от 53 до 56 градусов с.ш. Данный полигон включает в себя северную часть Аргунского блока, в котором к настоящему времени, организовано 6 точек наблюдения (ZEYA, MAGD, TALD, SKOR, URUH, BUGO) (рис. 1). Данные пункты наблюдений представляют собой закрепленные в коренных породах или бетонных основаниях специальные реперы (стержни из легированной стали). Участки, на которых устанавливались реперы, выбраны таким образом, чтобы исключить влияние склоновых, криогенных и оползневых процессов, на достаточном удалении от каких-либо объектов деятельности человека.



Основные тектонические структуры Верхнего Приамурья [10] и горизонтальные смещения пунктов относительно пункта SKOR. Главные тектонические структуры Верхнего Приамурья: 1 – Аргунский континентальный массив; 2–3 – структуры Селенга-Станового супертеррейна, блоки: 2 – Урканский, 3 – Могочинский; 4–7 – Структуры Джугдуро-Станового супертеррейна, блоки: 4 – Ларбинский, 5 – Брянтинский, 6 – Иликанский, 7 – Дамбукинский; 8–9 шовные зоны: 8 – Джелтулакская шовная зона, 9 – Монголо-Охотский складчатый пояс; 10 – основные разломы: ЮТ – Южно-Тукурингрский, СТ – Северо-Тукурингрский, ДЖ – Джелтулакский. Векторы скорости смещений (стрелки) пунктов относительно пункта SKOR показаны с эллипсами 95% доверительного интервала. На врезке отмечены основные литосферные плиты восточной Азии: EU – Евразийская, AM – Амурская, ОК – Охотская, NA – Северо-Американская. Темный прямоугольник – исследуемый регион

Измерения на реперных пунктах, как правило, выполнялись 1 раз в год (в период с 2007 по 2013 г.) с использованием спутниковых приемников Ashtech UZ-12, оснащенных антеннами типа choke ring. Запись информации приемниками осуществлялась с 30 секундным интервалом при продолжительности сессии не менее 36 часов, что является достаточным условием для вычисления пространственных координат пункта с субмиллиметровой точностью [12]. Для минимизации влияния сезонных отклонений на точность позиционирования все полевые кампании проводились в течение августа-сентября.

Полученные данные GPS-наблюдений обрабатывались с использованием программного пакета GAMIT/GLOBK [12]. В процессе обработки, для получения окончательного координатного решения, были использованы навигационные файлы, точные орбиты спутников и RINEX файлы станций международной сети IGS загружаемые программным пакетом с сервера NASA. Для определения системы отсчета использовались данные о положении и скоростях не менее 25 IGS станций, входящих в систему отсчета ITRF2008.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате обработки было получено векторное поле скоростей смещений пунктов геодинимического полигона Верхнего Приамурья (таблица). Как следует из приведенных в таблице оценок, все точки наблюдения (кроме пункта BUGO, для которого еще не накоплен длительный ряд наблюдений), принадлежащие северной части Аргунского массива, характеризуются близкими параметрами смещений (направление, величина). Что свидетельствует об однородности векторного поля скоростей точек в её пределах (разности в компонентах векторов не превышают первых мм в год) и, следовательно, отсутствии значимых подвижек внутри северной части массива.

Подтверждением этому может служить сравнение оценок скоростей смещения пунктов северной части Аргунского массива, приводимых в этой работе, с оценками, полученными для китайской части последнего [13, 14]. Разность в векторах для близко расположенных пунктов, несмотря на различия в конфигурации сети наблюдений, их продолжительности, а также методиках обработки данных, не превышает первых мм/год.

Горизонтальные скорости смещений GPS пунктов геодинимического полигона Верхнего Приамурья в ITRF2008

Координаты пунктов, в градусах		Компоненты скоростей смещений, мм/год		Ошибки определения скоростей, мм/год		Название пункта
с.ш.	в.д.	восток	север	восток	север	
127,43	53,77	23,45	-16,04	0,89	1,25	PIKA
127,28	53,75	22,57	-17,17	0,41	0,50	ZEYA
125,80	53,46	24,75	-14,11	0,36	0,46	MAGD
124,94	55,51	26,44	-10,54	1,40	1,83	MOGO
124,90	54,19	26,55	-11,47	1,81	2,59	SOSN
124,89	54,03	16,85	-8,20	1,63	2,16	BUGO
124,75	55,15	20,77	-11,79	0,28	0,35	TIND
124,64	54,53	20,74	-11,77	0,57	0,71	DJEL
124,55	53,75	22,26	-13,42	0,26	0,34	TALD
124,46	54,29	28,58	-16,81	0,81	0,97	SOLO
124,20	55,21	29,33	-14,36	0,29	0,38	KUVI
124,11	53,97	24,14	-16,10	0,27	0,35	SKOR
123,80	54,56	28,35	-17,23	3,38	4,91	ANOS
123,78	54,26	20,89	-15,91	2,27	2,87	TAHT
123,20	55,35	22,74	-7,17	1,08	1,41	URKI
122,91	54,03	24,62	-11,96	0,32	0,42	URUH
122,73	54,27	17,39	-23,01	3,55	4,82	PUTA
122,17	54,59	18,89	-19,81	3,65	5,06	NYUK
121,96	53,99	22,19	-13,28	0,65	0,83	EROF

Примечание. Ошибки определения скорости приведены в 95% доверительном интервале.

Таким образом, несмотря на то, что Аргунский континентальный массив характеризуется гетерогенным геологическим строением, что находит свое отражение в сложной структуре геофизических полей, в пределах его северной части установлена однородность векторного поля скоростей смещений, что свидетельствует о его кинематической целостности. При этом кинематические параметры северной части Аргунского массива существенным образом отличаются от других геологических структур, находящихся в области взаимодействия Евразийской и Амурской плит (рисунок).

Анализ развития морфоструктур, характер трещинной и полученные результаты кинематики показывают, что Южно-Турунгрский разлом является взбросом с левой сдвиговой составляющей. Это подтверждает и механизм очага Сковородинского землетрясения, произошедшего 14 октября 2011 г. [11]. Данный разлом четко выражен на схемах гравитационного поля, где ему соответствует значительная положительная аномалия [10], а также выражен на геоэлектрических полях, где ему соответствует область низкого сопротивления [1].

Заключение

На основе геодезических измерений с использованием GPS-технологий, выполненных на геодинимическом полигоне Верхнего Приамурья, получено векторное поле скоростей смещений пунктов. Установленные параметры смещений (направление, величина) свидетельствуют об однородности векторного поля скоростей точек, принадлежащих северной части Аргунского массива, и отсутствию в его пределах значимых подвижек (разности в компонентах векторов не превышают первые мм в год). Показана кинематическая целостность северной части Аргунского массива на современном этапе.

Прикладное значение полученных результатов связано с возможностью дальнейшей оценки воздействия динамических напряжений на искусственные объекты, расположенные в пределах активных тектонических структур.

Исследования выполнены при поддержке РФФИ (грант 17-55-53110).

Список литературы

1. Глубинное строение и металлогения Восточной Азии / отв. ред. Диденко А.Н., Малышев Ю.Ф., Саксин Б.Г. – Владивосток: Дальнаука, 2010. – 332 с.
2. Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И., Бадарч Г., Беличенко В.Г., Булгатов А.Н., Дриль С.И., Кириллова Г.Л.,

Кузьмин М.И., Ноклеберг У., Прокопьев А.В., Тимофеев В.Ф., Томуртоого О., Янь Х. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеанская геология. – 2003. – Т. 22, № 6. – С. 7–41.

3. Гатинский Ю.Г., Рундквист Д.В., Владова Г.Л., Прохорова Т.В., Романюк Т.В. Блоковая структура и геодинамика континентальной литосферы на границах плит // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2008. – № 1. – Вып. 11. – С. 32–47.

4. Malyshev Y.F., Podgornyi V.Y., Shevchenko B.F., Romanovskii N.P., Kaplun V.B., Gornov P.Y. Deep structure of the Amur lithospheric plate border zone. Russian Journal of Pacific Geology. – 2007. – vol. 1. Issue 2. – P. 107–119.

5. Kreemer C., Holt W.E., Haines A.J. An integrated global model of present-day plate motions and plate boundary deformation // Geophysics Journal International. – 2003. – vol. 154. – P. 8–34.

6. Timofeev V.Y., Kazansky A.Y., Ardyukov D.G., Metelkin D.V., Timofeev A.V., Gornov P.Y., Gilmanova G.Z., Shestakov N.V. Rotation parameters of the Siberian domain and its eastern surrounding structures during different geological epochs // Russian Journal of Pacific Geology. – 2011. – vol. 5. Issue 4. – P. 288–297.

7. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натапов Л.М. Тектоника литосферных плит территории СССР. М.: Недра, – 1990. – Кн. 1. – 326 с. – Кн. 2. – 334 с.

8. Imaeva L.P., Imaev V.S., Kozmin B.M. Seismogeodynamics of the Aldan-Stanovoi block // Russian Journal of Pacific Geology. – 2012. – vol. 6. Issue 1. – P. 1–12.

9. Miroshnichenko A.I., Sankov V.A., Likhnev A.V., Ashurkov S.V., Sorokin A.P., Sorokina A.T., Serov M.A., Sherman S.I., Panfilov N.I., Space geodesy in geodynamic studies: Recent movements in the Zeya-Bureya Basin // Russian Journal of Pacific Geology. – 2008. – vol. 2. Issue 1. – P. 64–71.

10. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000000. Издание третье. Дальневосточная серия. Листы: N-51 (Сковородино), N-52 (ЗЕЯ). – СПб.: Картофабрика ВСЕГЕИ, 2009.

11. Ханчук А.И., Сафонов Д.А., Коновалов А.В., Шестаков Н.В., Быков В.Г., Серов М.А., Сорокин А.А. Сильнейшее современное землетрясение в Верхнем Приамурье 14 октября 2011 г.: первые результаты исследования // Доклады академии наук. – 2012. – Т. 445, № 3. – С. 338–341.

12. Herring T.A., King R.W., McClusky S.C., 2010. Introduction to GAMIT/GLOBK Release 10.4. Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology. – 48 p.

13. Meng G., Shen X., Wu J., Rogozhin E. A. Present-day crustal motion in northeast China determined from GPS measurements // Earth Planets Space. – 2006. – vol. 58. – P. 1441–1445.

14. Wang W., Yang S., Wang Q. Crustal block rotations in Chinese mainland revealed by GPS measurements // Earthquake Science. – 2009. – vol. 22. Issue 6. – P. 639–649.

References

1. Glubinnoe stroenie i metallogenija Vostochnoj Azii / отв. ред. Диденко А.Н., Малышев Ю.Ф., Саксин Б.Г. Владивосток: Дальнаука, 2010. 332 p.
2. Parfenov L.M., Berzin N.A., Hanchuk A.I., Badarch G., Belichenko V.G., Bulgatov A.N., Dril S.I., Kirillova G.L., Kuzmin M.I., Nokleberg U., Prokopen A.V., Timofeev V.F., Tomurtoogo O., Jan H. Model formirovaniya orogennyh pojasov Centralnoj i Severo-Vostochnoj Azii // Tihookeanskaja geologija. 2003. T. 22, no. 6. pp. 7–41.
3. Gatinskij Ju.G., Rundkvist D.V., Vladova G.L., Prohорова T.V., Romanjuk T.V. Blokovaja struktura i geodinamika kontinentalnoj litosfery na granicah plit // Vestnik KRAUNC. Nauki o Zemle. 2008. no. 1. Vyp. 11. pp. 32–47.
4. Malyshev Y.F., Podgornyi V.Y., Shevchenko B.F., Romanovskii N.P., Kaplun V.B., Gornov P.Y. Deep structure of the

Amur lithospheric plate border zone. *Russian Journal of Pacific Geology*. 2007. vol. 1. Issue 2. pp. 107–119.

5. Kreemer C., Holt W.E., Haines A.J. An integrated global model of present-day plate motions and plate boundary deformation // *Geophysics Journal International*. 2003. vol. 154. pp. 8–34.

6. Timofeev V.Y., Kazansky A.Y., Ardyukov D.G., Metelkin D.V., Timofeev A.V., Gornov P.Y., Gilmanova G.Z., Shestakov N.V. Rotation parameters of the Siberian domain and its eastern surrounding structures during different geological epochs // *Russian Journal of Pacific Geology*. 2011. vol. 5. Issue 4. pp. 288–297.

7. Zonenshajn L.P., Kuzmin M.I., Natapov L.M. *Tektonika litosfernyh plit territorii SSSR*. M.: Nedra, 1990. Kn. 1. 326 p. Kn. 2. 334 p.

8. Imaeva L.P., Imaev V.S., Kozmin B.M. Seismogeodynamics of the Aldan-Stanovoi block // *Russian Journal of Pacific Geology*. 2012. vol.6. Issue 1. pp. 1–12.

9. Miroschnichenko A.I., Sankov V.A., Likhnev A.V., Ashurkov S.V., Sorokin A.P., Sorokina A.T., Serov M.A., Sherman S.I., Panfilov N.I., Space geodesy in geodynamic studies:

Recent movements in the Zeya-Bureya Basin // *Russian Journal of Pacific Geology*. 2008. vol. 2. Issue 1. pp. 64–71.

10. Gosudarstvennaja geologicheskaja karta Rossijskoj Federacii masshtaba 1:1000000. Izdanie trete. Dalnevostochnaja serija. Listy: N-51 (Skovorodino), N-52 (ZEJa). SPb.: Kartfabrika VSEGEI, 2009.

11. Hanchuk A.I., Safonov D.A., Konovalov A.V., Shestakov N.V., Bykov V.G., Serov M.A., Sorokin A.A. Silnejshee sovremennoe zemletrjasenie v Verhnem Priamure 14 oktjabrja 2011 g.: pervye rezultaty issledovanija // *Doklady akademii nauk*. 2012. T. 445, no. 3. pp. 338–341.

12. Herring T.A., King R.W., McClusky S.C., 2010. Introduction to GAMIT/GLOBK Release 10.4. Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology. 48 p.

13. Meng G., Shen X., Wu J., Rogozhin E. A. Present-day crustal motion in northeast China determined from GPS measurements // *Earth Planets Space*. 2006. vol. 58. pp. 1441–1445.

14. Wang W., Yang S., Wang Q. Crustal block rotations in Chinese mainland revealed by GPS measurements // *Earthquake Science*. 2009. vol. 22. Issue 6. pp. 639–649.