В.В. Стогний¹, Г.А. Стогний¹**ВОЗМОЖНЫЙ МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ МАКРОРЕЛЬЕФА
ВЕРХОЯНО-КОЛЫМСКОЙ ОРОГЕННОЙ ОБЛАСТИ
(НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ)****АННОТАЦИЯ**

Верхояно-Колымская орогенная область является основным элементом морфоструктуры западной части Верхояно-Чукотской горной страны. Территория орогенной области охватывает Верхоянскую систему горных хребтов на западе, систему хребтов Черского и Момского на северо-востоке и хребет Сунтар-Хаята на юге. Приведены результаты спектрально-статистического анализа цифровых моделей современного рельефа Верхояно-Колымской орогенной области с различными радиусами осреднения и разделения гравитационного поля на разночастотные составляющие, отвечающие различным глубинным уровням литосферы, выполненные с целью выявления пространственных изменений геоморфологических и геофизических параметров орогенной области, а также условий формирования её горных сооружений.

Показано, что горным системам соответствуют линейные гравитационные минимумы, а Верхояно-Колымской положительной региональной аномалии низкочастотной составляющей рельефа — Верхоянский региональный гравитационный минимум амплитудой до 100 мГал и размером в поперечнике 1100–1200 км.

Для морфоструктуры Верхояно-Колымской орогенной области характерен прямой рельеф, что позволяет глубинное строение горных сооружений и их образование рассматривать в рамках соответствующих им складчатых структур. Горообразование Верхояно-Колымской орогенной области анализируется на базе предложенной модели её глубинного строения, а именно как результат гранитизации кристаллического фундамента и нижнего осадочного слоя под влиянием флюидов мантийной астенотинзы на глубине 45–120 км. Реоморфические процессы кристаллического фундамента обусловили становление гранитоидных куполов и подъём горных хребтов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: орогенная область, цифровая модель, гравитационное поле, геоморфология

Valery V. Stogny², Galina A. Stogny²**POSSIBLE MECHANISM FOR FORMING MACRORELIEF
OF VERKHOYANSK-KOLYMA OROGENIC REGION
(BASED ON THE ANALYSIS OF GEOPHYSICAL FIELDS)****ABSTRACT**

The Verkhoyansk-Kolyma orogenic region is the main element of the morphostructure of the Western part of the Verkhoyano-Chukotka mountain country. The territory of the orogenic region covers the Verkhoyansk system of mountain ranges in the West, the system of Chersky and Momsky ridges in the North-East and Suntar-Khayata ridge in the South. The results of

¹ Кубанский государственный университет, ул. Ставропольская, д. 149, 350040, Краснодар, Россия;
e-mail: stogny_vv@mail.ru

² Kuban State University, Stavropolskaya str., 149, 350040, Krasnodar, Russia; *e-mail:* stogny_vv@mail.ru

spectral-statistical analysis of the Verkhoyansk-Kolyma orogenic region relief digital models in the various radiuses averaging and separation of the gravitational field at different frequency components, corresponding to different depth levels of the lithosphere, is made to identify the spatial changes in geomorphological and geophysical parameters of the orogenic region, and also conditions of its mountain facilities formation.

It is shown that the mountain systems correspond to linear gravitational minima, and the Verkhoyano-Kolyma positive regional anomaly of the low-frequency component of the relief-Verkhoyansk regional gravitational minimum with an amplitude of up to 100 mGal and a diameter of 1100–1200 km.

The morphostructure of the Verkhoyansk-Kolyma orogenic region is characterized by a straight relief, which allows the deep structure of mountain structures and their formation to be considered within the framework of their corresponding folded structures. On the example of the Verkhoyansk meganticlinory deep structure, the model of the Verkhoyansk ridge formation is substantiated. Orogenesis of the Verkhoyansk-Kolyma orogenic region is considered on the basis of the proposed model of the deep structure, namely as a result of granitization of the crystalline basement and lower sedimentary layer under the influence of mantle fluids actinolite at depths of 45–120 km. Rheomorphic processes of the crystalline basement resulted in the formation granite-gneiss domes and the rise of mountain ranges.

KEYWORDS: orogenic region, digital model, gravitational field, geomorphology

ВВЕДЕНИЕ

Верхояно-Колымская орогенная область является основным элементом морфоструктуры западной части Верхояно-Чукотской горной страны. Территория орогенной области охватывает Верхоянскую систему горных хребтов на западе, систему хребтов Черского и Момского на северо-востоке и хребет Сунтар-Хаята на юге. Верхоянская система горных хребтов включает хребты Хараулахский, Верхоянский и Сетте-Дабан и представляет собой асимметричный свод с крутым западным и более пологим восточным крыльями [Тектоника ..., 2001]. Хребты Черского и Момский разделены Момской и Верхнеселеняхской межгорными впадинами, а на северо-востоке эта горная система граничит с Зырянским предгорным прогибом.

Имеется несколько схем структурно-геоморфологического районирования Верхояно-Колымской орогенной области. Г.Ф. Уфимцев [1999] Верхояно-Колымскую орогенную область отнёс к возрожденному орогену, в пределах которого Верхоянская система горных хребтов представляет собой сводовое поднятие, а система хребтов Черского и Момского — сводово-глыбовую зону линейного коробления и тектонического скупивания. По Г.Э. Каскевич [2003], орогенной области соответствуют рамки Лено-Колымской горной страны, интерпретируемой как мегасвод первого порядка, включающий горные сооружения (Верхоянский, Черского) и разделяющую их Яно-Индибирскую редуцированную межгорную впадину; при этом Верхоянское горное сооружение объединяет Верхоянскую и Сунтар-Хаятинскую системы горных хребтов, а горное сооружение Черского рассматривается как асимметричный мегасвод второго порядка. В.Н. Смирнов [2012] хребты Верхоянский, Черского и Момский отнёс к Яно-Колымской орогенической системе, а хребты Сетте-Дабан и Сунтар-Хаята — к Охотско-Чукотской орогенической системе. Согласно [Новейшая тектоника ..., 2000], границы Верхояно-Колымской орогенной области были оформлены в эоцене вследствие обрушения Верхояно-Чукотского протоорогенного свода с образованием системы впадин, а мощные восходящие тектонические движения, проявившиеся в конце плиоцена, способствовали формированию наблюдаемых ныне горных сооружений. По В.Б. Спектору с соавторами [2000], Верхояно-Колымская орогенная область в позднем мезозое и в кайнозое развивалась полициклически, проходя в течение цикла путь от

горного сооружения до выровненной поверхности; при этом снижение и выравнивание поверхностей хребтов происходило гл. обр. за счёт изостатического погружения и в меньшей степени за счёт экзарации и аккумуляции осадков.

С позиции тектоники плит, формирование горных хребтов Верхояно-Колымской орогенной области связывается с взаимодействием Евразийской и Северо-Американской литосферных плит и раскрытием Евразийского океанического бассейна в кайнозое; при этом чередование эпох сжатия и растяжения земной коры орогенной области объясняется изменением полюса вращения плит [Тектоника ..., 2001]. Современная граница между Евразийской и Северо-Американской плитами проводится вдоль хребта Гаккеля и далее — вдоль хребта Черского [Fujita et al., 1997; Parfenov, 1991].

Приведённый краткий обзор показывает существенные различия в подходах исследования проблемы условий горообразования. На современном этапе выявление региональных закономерностей современного рельефа Верхояно-Колымской орогенной области и механизма формирования макрорельефа этого региона с учётом строения литосферы и внутриплитной геодинамики актуально, что определило цель и задачи исследований.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

С целью выявления пространственных изменений геоморфологических и геофизических параметров Верхояно-Колымской орогенной области и условий формирования её горных сооружений выполнен спектрально-статистический анализ цифровых моделей современного рельефа с радиусами осреднения 5, 10, 20 и 45 км и разделение гравитационного поля на разночастотные составляющие, отвечающие различным (10, 20 и 50 км) глубинным уровням организации литосферы. Спектрально-статистический анализ цифровых моделей современного рельефа и разделение гравитационного поля на разночастотные составляющие проведён в пределах территории, ограниченной (120–126) – (152–162)° в.д., 58–72° с.ш. (рис. 1). Также анализировались данные Мировой Гравиметрической модели MGM2012 (электронный ресурс), гравиметрические карты в редукции Буге и Фая, а также изостатических аномалий Эри–Хейсанена.

При анализе закономерностей связи особенностей рельефа с характером геофизических полей Верхояно-Колымской орогенной области и отдельных его участков использовались топографические, геологические и гравиметрические карты м-ба от 1: 50 000 до 1: 1 000 000, а также региональные схемы теплового потока, изостазии, неотектонических движений и современной сейсмичности. Базовым геофизическим материалом при выявлении региональных глубинных неоднородностей литосферы служили материалы гравиметрических съёмок м-ба 1: 200 000, использовались также данные Интернет-ресурсов Мировых моделей гравитационного¹ и магнитного² полей. При интерпретации гравитационного поля с целью изучения структуры литосферы одним из наиболее эффективных подходов является разделение исследуемого поля на разночастотные составляющие с их дальнейшим анализом.

Гравитационное поле отражает главным образом современное тектоническое строение литосферы, поэтому результаты его интерпретации использовались как индикатор при разработке геодинамических моделей формирования Верхояно-Колымской орогенной области, в т.ч. при изучении роли глубинных факторов в формировании горных хребтов и впадин. Комплексная интерпретация имеющихся материалов включала

¹World Gravity model. Электронный ресурс: <http://bgi.obs-mip.fr/data-products/Grids-and-models/wgm2012> (дата обращения 15.12.2019)

²World Magnetic model. Электронный ресурс: <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/soft.shtml> (дата обращения 15.12.2019)

методы анализа и синтеза исходных моделей. Итоговые синтетические модели базировались на интерпретации полученных данных спектрально-статистической обработки гравиметрических и топографо-геодезических материалов и косвенных признаков (положительная аномалия геоида, повышенный тепловой поток Верхоянской аномалии, высокая рассеянная сейсмичность, изостатически скомпенсированная большая часть территории исследования).

Рис. 1. Карта рельефа северо-востока России¹. Прямоугольник — регион исследования
 Fig. 1. Relief map of the North-East of Russia¹. The rectangle is the region of study

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Верхояно-Колымской орогенной области в низкочастотной составляющей рельефа (рис. 2) соответствует одноименная положительная региональная аномалия, а в низкочастотной составляющей гравитационного поля (рис. 3) — Верхоянский региональный минимум. В соответствии с этим можно предположить, что и региональная

¹World Gravity model. Электронный ресурс (Web resource): <http://bgi.obs-mip.fr/data-products/Grids-and-models/wgm2012> (дата обращения (accessed) 15.12.2019)

составляющая гравитационного поля, отражающая верхнемантийный уровень литосферы, и низкочастотная составляющая рельефа, эпицентры минимума и максимума которых довольно близки, являются проявлением общих глубинных процессов. Мощность земной коры исследуемого региона изменяется от 30 до 45 км [Mackey *et al.*, 1998]. Следует отметить, что Верхояно-Колымской орогенной области соответствует аномалия теплового потока, превышающая 60 мВт/м² при его фоновых значениях 45–50 мВт/м², закономерности которой ввиду немногочисленных определений теплового потока в её пределах пока не выявлены [Балобаев, 1991].

Предполагается, что положительная аномалия теплового потока обусловлена влиянием верхнемантийной (40–130 км) неоднородности, интерпретируемой как Верхоянская астенотинза [Стогний, Стогний, 2000], либо теплогенерацией коллизионных процессов [Дучков, Соколова, 2004].

Рис. 2. Низкочастотная (радиус осреднения 50 км) составляющая рельефа Верхояно-Колымской орогенной области.

В-К — Верхояно-Колымский максимум рельефа

Fig. 2. Low-frequency (averaging radius of 50 km) component of the Verkhoyansk-Kolyma orogenic region relief.

V-K — Verkhoyano-Kolyma maximum relief

В структуре среднечастотной составляющей рельефа при радиусе осреднения 20 км (рис. 4) линейными максимумами проявляются горные хребты: Верхоянский, Черского, Момский и Сунтар-Хаята. Сетте-Дабанский горный хребт соответствует западной градиентной зоне Сунтар-Хаятинского максимума рельефа. Хребт Черского представлен двумя смещёнными в субширотном направлении сегментами. Северный сегмент имеет север-северо-западное простирание, а южный — северо-западное, аналогичное простиранию Момского хребта. Строение северной части Верхояно-Колымской орогенной области в общих чертах аналогично альпийскому двустороннему орогену по Коберу.

Рис. 3. Низкочастотная составляющая гравитационного поля Верхояно-Колымской орогенной области: 1 — граница Сибирской платформы с Верхояно-Колымской орогенной областью; 2 — Зырянская впадина.

Vr — Верхоянская гравитационная аномалия

Fig. 3. The low-frequency component of the Verkhoyansk-Kolyma orogenic region gravitational field: 1 — the border of the Siberian platform with the Verkhoyan-Kolyma orogenic region; 2 — Zyryansk depression. Vr — Verkhoyansk gravitational anomaly

Рис. 4. Среднечастотная (радиус осреднения 20 км) составляющая рельефа Верхояно-Колымской орогенной области. Горные хребты: В — Верхоянский, М — Момский, С — Сунтар-Хаята, Т — Тас-Кыстабыт, Ч — Черского

Fig. 4. Mid-frequency (averaging radius of 20 km) component of the Verkhoyansk-Kolyma orogenic region relief. Mountain ranges: V — Verkhoyansk, M — Momsky, S — Suntar-Khayatinsky, T — Tas-Kystabyt, Ch — Chersky

В структуре среднечастотной составляющей гравитационного поля (рис. 5) Верхоянский хребет проявляется субдолготной линейной зоной пониженных значений, включающей локальные Хараулахский, Орулганский и Эчийский минимумы. Сунтар-Хаятинской горной системе в плане отвечает одноимённый гравитационный минимум. Северному и южному сегментам хребта Черского соответствуют Адычанский и Нерский гравитационные минимумы. Момский хребет не находит однозначного отражения в поле силы тяжести, северной его части соответствует локальный максимум, а южной — локальный минимум. Сопоставление структуры среднечастотной составляющей гравитационного поля и рельефа показывает, что крупным горным системам Верхояно-Колымской орогенной области соответствуют линейные гравитационные минимумы, интерпретируемые как зоны разуплотнения верхней части земной коры. С наличием разуплотнения в верхней части земной коры горных хребтов связано их современное

поднятия. Горные хребты Верхоянский, Черского, Сунтар-Хаятинский и Момский испытывают поднятия со скоростью от 2 до 4 мм/год [Бочаров и др., 1982].

Для морфоструктуры Верхояно-Колымской орогенной области характерен прямой рельеф. Особенно наглядно это проявлено в пределах Верхоянского хребта, являющегося прямой унаследованной морфоструктурой Верхоянского мегаантиклинария, сложенного палеозойскими карбонатно-терригенными породами. Унаследованность морфоструктуры Верхояно-Колымской орогенной области от тектонических и геологических особенностей территории является благоприятным фактором оценки пространственных изменений геоморфологических и геофизических параметров орогенной области, а также условий формирования её горных сооружений.

Рис. 5. Среднечастотная составляющая гравитационного поля Верхояно-Колымской орогенной области: 1 — граница Сибирской платформы с Верхояно-Колымской орогенной областью; 2 — оси среднечастотной составляющей горных систем. Гравитационные минимумы: А — Адычанский, З — Зырянский, Н — Нерский, О — Орулганский, С — Сунтар-Хаятинский, Э — Эчийский, Х — Хараулахский. Гравитационный максимум: Т — Томпонский

Fig. 5. The mid-frequency component of the gravitational field Verkhoyansk-Kolyma orogenic region: 1 — border of the Siberian platform with the Verkhoyan-Kolyma orogenic region; 2 — axis of the mid-frequency component of mountain systems. Gravity minima: A — Adychansky, Z — Zyryansky, N — Nersky, O — Orulgansky, S — Suntar-Khayatinsky, E — Echiy, Kh — Kharaulakhsy. Gravity maximum: T — Tomponsky

В работе [Гриненко, Стогний, 1992] показано, что Куранахский антиклинорий Верхоянского мегаантиклинория является «штамповой» структурой, сформированной на Эчийском гранитогнейсовом куполе консолидированной земной коры. С учётом предложенной модели глубинного строения земной коры Верхоянского хребта, его образование рассматривается как результат гранитизации в мезозойский тектоно-магматический этап кристаллического фундамента и нижнего осадочного слоя с формированием гранитогнейсовых куполов под влиянием флюидной составляющей Верхоянской астенолинзы. К региональным критериям выделения гранитогнейсовых куполов отнесены области проявления реоморфических процессов в верхней части кристаллического фундамента глубиной до 10 км, отражающиеся гравитационными минимумами амплитудой до 30 мГал и размером в поперечнике до 100 км [Стогний, Стогний, 2004].

Анализ пространственных изменений геоморфологических и геофизических параметров, а также данных по тепловому полю Верхояно-Колымской орогенной области позволяет связать горообразование с процессами глубинной внутриконтинентальной геодинамики. Таким фактором может быть наличие в литосфере на глубинах 40–120 км мантийной Верхоянской неоднородности пониженной плотности — астенолинзы [Стогний, Стогний, 2000]. При этом формирование Сунтар-Хаятинской горной системы, по нашему мнению, происходило под влиянием флюидной и термической составляющей центральной части данной неоднородности, что и обусловило её блоковую структуру. Происхождение горных хребтов Верхоянской системы и системы Черского связано с тектоническими напряжениями, создаваемыми в литосфере краевой частью Верхоянской астенолинзы. Исходя из предложенной модели строения литосферы, Верхояно-Колымскую орогенную область, в соответствии с классификацией И.П. Герасимова [1946], можно рассматривать как геотектуру.

ВЫВОДЫ

На основе спектрально-статистического анализа цифровых моделей современного рельефа Верхояно-Колымской орогенной области с различными радиусами осреднения и разночастотных составляющих гравитационного поля, отвечающих определённым глубинным уровням литосферы, выявлена связь между региональными геоморфологическими особенностями Верхояно-Колымской орогенной области и структурой гравитационного поля. Показано, что Верхояно-Колымской положительной региональной аномалии низкочастотной составляющей рельефа отвечает Верхоянский региональный гравитационный минимум амплитудой до 100 мГал размером в поперечнике до 1100–1200 км и региональная аномалия теплового потока, превышающая 60 мВт/м² при его фоновых значениях 45–50 мВт/м². В структуре среднечастотных составляющих рельефа и гравитационного поля крупным горным системам Верхояно-Колымской орогенной области соответствуют линейные гравитационные минимумы, интерпретируемые как зоны разуплотнения верхней части земной коры. Наличием разуплотнения в верхней части (10–20 км) земной коры горных хребтов объясняется их современное поднятие.

Для морфоструктуры Верхояно-Колымской орогенной области характерен прямой рельеф. Особенно наглядно это проявлено в пределах Верхоянского хребта, являющегося прямой унаследованной морфоструктурой Верхоянского мегаантиклинория. Унаследованность морфоструктуры Верхояно-Колымской орогенной области от тектонических и геологических особенностей территории является благоприятным фактором оценки пространственных изменений геоморфологических и геофизических параметров орогенной области, а также условий формирования её горных сооружений. Региональные закономерности пространственных изменений геоморфологических и геофизических параметров позволяют горообразование Верхояно-Колымской орогенной

области связать с процессами глубинной внутриконтинентальной геодинамики. К основным факторам горообразования следует отнести формирование гранитогнейсовых куполов в процессе гранитизации кристаллического фундамента и нижнего осадочного слоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Балобаев В.Т.* Геотермия мёрзлой зоны литосферы севера Азии. Новосибирск: Наука, 1991. 193 с.
2. *Бочаров Г.В., Гусев Г.С., Есипова Л.В.* Карта современных движений территории Якутской АССР. Геотектоника, 1982. № 3. С. 60–63.
3. *Герасимов И.П.* Опыт геоморфологической интерпретации общей схемы строения СССР. Проблемы физической географии. М.-Л.: Издательство Академии наук СССР, 1946. Т. 12. С. 33–46.
4. *Гриненко В.С., Стогний Г.А.* О глубинном строении Куранахского антиклинория (Западное Верхоянье). Надвиги и шарьяжи платформенных и складчатых областей Сибири и Дальнего Востока и их металлогеническое значение. Иркутск, 1992. С. 98–99.
5. *Дучков А.Д., Соколова Л.С.* Геотермический атлас Сибири. Закономерности строения и эволюции геосфер: Материалы VI Международного междисциплинарного научного симпозиума. Хабаровск: ДВО РАН, 2004. С. 45–56.
6. *Каскевич Г.Э.* Принципы и приёмы структурно-геоморфологического районирования орогенных областей Восточной Якутии. Отечественная геология, 2003. № 6. С. 80–83.
7. Новейшая тектоника, геодинамика и сейсмичность Северной Евразии. М.: Пробел, 2000. 487 с.
8. *Смирнов В.Н.* Верхояно-Чукотская область новейшего горообразования: зональность и основные этапы формирования. Геология и геофизика, 2012. Т. 53. № 5. С. 610–620.
9. *Спектор В.Б., Бакулина Н.Т., Аносова Л.Н.* Плиоценовый цикл горообразования хребта Черского (Северо-Восток России). Тихоокеанская геология, 2000. № 2. С. 32–46.
10. *Стогний Г.А., Стогний В.В.* Гранитогнейсовые купола — рудоконтролирующие структуры Верхояно-Колымской орогенной области. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, 2004. № 4. С. 8–12.
11. *Стогний Г.А., Стогний В.В.* Строение литосферы Верхояно-Колымской орогенной области. Отечественная геология, 2000. № 5. С. 41–44.
12. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. 571 с.
13. *Уфимцев Г.Ф.* Тектонический рельеф Евразии. Отечественная геология, 1999. № 2. С. 28–37.
14. *Fujita K., Stone D.B., Layer P.W., Parfenov L.M., Koz'min B.M.* Cooperative program helps decipher tectonics of northeastern Russia. EOS, 1997. V. 78. No 24. P. 252–253.
15. *Mackey K. G., Fujita K., Ruff L.J.* Crustal thickness of northeast Russia. Tectonophysics, 1998. V. 284. P. 283–297.
16. *Parfenov L.M.* Tectonics of the Verkhoyansk-Kolyma Mesozoides in the context of plate tectonics. Tectonophysics, 1991. V. 139. P. 319–342.

REFERENCES

1. *Balobaev V.T.* Geothermometry of Northern Asia lithosphere frozen zone. Novosibirsk: Nauka, 1991. 193 p. (in Russian).
2. *Bocharov G.V., Gusev G.S., Esipova L.V.* Map of modern movements of the Yakutian ASSR. Geotectonics, 1982. No 3. P. 60–63 (in Russian).
3. *Duchkov A.D., Sokolova L.S.* Geothermal Atlas of Siberia. Patterns of the structure and evolution of geospheres: Proceedings of the VI International interdisciplinary scientific symposium. Khabarovsk: FED RAS, 2004. P. 45–56 (in Russian).

4. *Fujita K., Stone D.B., Layer P.W., Parfenov L.M., Koz'min B.M.* Cooperative program helps decipher tectonics of northeastern Russia. *EOS*, 1997. V. 78. No 24. P. 252–253.
5. *Gerasimov I.P.* Experience of geomorphological interpretation of the general structure of the USSR. *Problems of Physical Geography*. Moscow-Leningrad: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1946. V. 12. P. 33–46 (in Russian).
6. *Grinenko V.S., Stogny G.A.* On the deep structure of the Kuranakh anticlinorium (Western Verkhoyanie). Thrusts and shariajas of the platform and folded areas of Siberia and the Far East and their metallogenic significance. *Irkutsk*, 1992. P. 98–99 (in Russian).
7. *Kaskevich G.E.* Principles and methods of East Yakutia orogenic regions structural-geomorphological zoning. *Otechestvennaya Geologiya (Domestic Geology)*, 2003. No 6. P. 80–83 (in Russian).
8. *Mackey K. G., Fujita K., Ruff L.J.* Crustal thickness of northeast Russia. *Tectonophysics*, 1998. V. 284. P. 283–297.
9. *Parfenov L.M.* Tectonics of the Verkhoyansk-Kolyma Mesozoides in the context of plate tectonics. *Tectonophysics*, 1991. V. 139. P. 319–342.
10. *Smirnov V.N.* Verkhoyan-Chukotka region of the latest mountain building: zoning and the main stages of formation. *Russian Geology and Geophysics*, 2012. V. 53. No 5. P. 610–620 (in Russian).
11. *Spector V.B., Bakulina N.T., Anosova L.N.* Pliocene mountain formation cycle of the Chersky ridge (North-East of Russia). *Russian Journal of Pacific Geology*, 2000. No 2. P. 32–46 (in Russian).
12. *Stogny G.A., Stogny V.V.* Granite gneiss domes — ore-controlling structures of the Verkhoyansk-Kolyma orogenic region. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and exploration*, 2004. No 4. P. 8–12 (in Russian).
13. *Stogny G.A., Stogny V.V.* The structure of the Verkhoyansk-Kolyma orogenic region lithosphere. *Otechestvennaya Geologiya (Domestic Geology)*, 2000. No. 5. P. 41–44 (in Russian).
14. *Tectonics, geodynamics and metallogeny of the Sakha Republic (Yakutia)*. Moscow: IAPC “Nauka/Interperiodica”, 2001. 571 p. (in Russian).
15. *The latest tectonics, geodynamics and seismicity of Northern Eurasia*. Moscow: Probel, 2000. 487 p. (in Russian).
16. *Ufimtsev G.F.* Tectonic relief of Eurasia. *Otechestvennaya Geologiya (Domestic Geology)*, 1999. No 2. P. 28–37.