УДК 550.834.05

И.А. Гарагаш
д-р физ.-мат. наук
профессор
Институт физики Земли РАН[1]
заведующий лабораторией
garagash@mail.ru

А.В. Хортов
д-р геол.-мин. наук
ОАО «Союзморгео»[2]
главный геолог
akhortov@mail.ru

А.Е. Шлезингер
д-р геол.-мин. наук
Геологический институт РАН[3]
shlesinger@ginras.ru

Значение серпентинизации и десерпентинизации для образования структурного плана Земли

[1]Россия, 123995, Москва, Большая Грузинская, 10.
[2]Россия, 353 461, Геленжик, ул. Красногвардейская, д. 38.
[3]Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер., 7.

В статье рассматривается роль серпентинизации и десерпентинизации, которые имели особое значение в формировании тектонических структур. Процесс тектонической активизации древних платформ связан с глубинным тепловым потоком и разогревом недр до 500–600 °С, что вызывает десерпентинизацию низов коры с превращением серпентинитов во вторичные оливины, перидотиты и другие ультраосновные породы. Постплейстоценовая десерпентинизация создала современные океанические акватории, внешние шельфы и внутренний структурный план их дна вместе с конвективными ячейками, сформировавшие морфологию тектонических структур современного Мирового океана

Ключевые слова: тектонические структуры; океаническое дно; срединные хребты; синеклизы; платформы; осадочный чехол; серпентинизация и десерпентинизация пород; конвективные ячейки

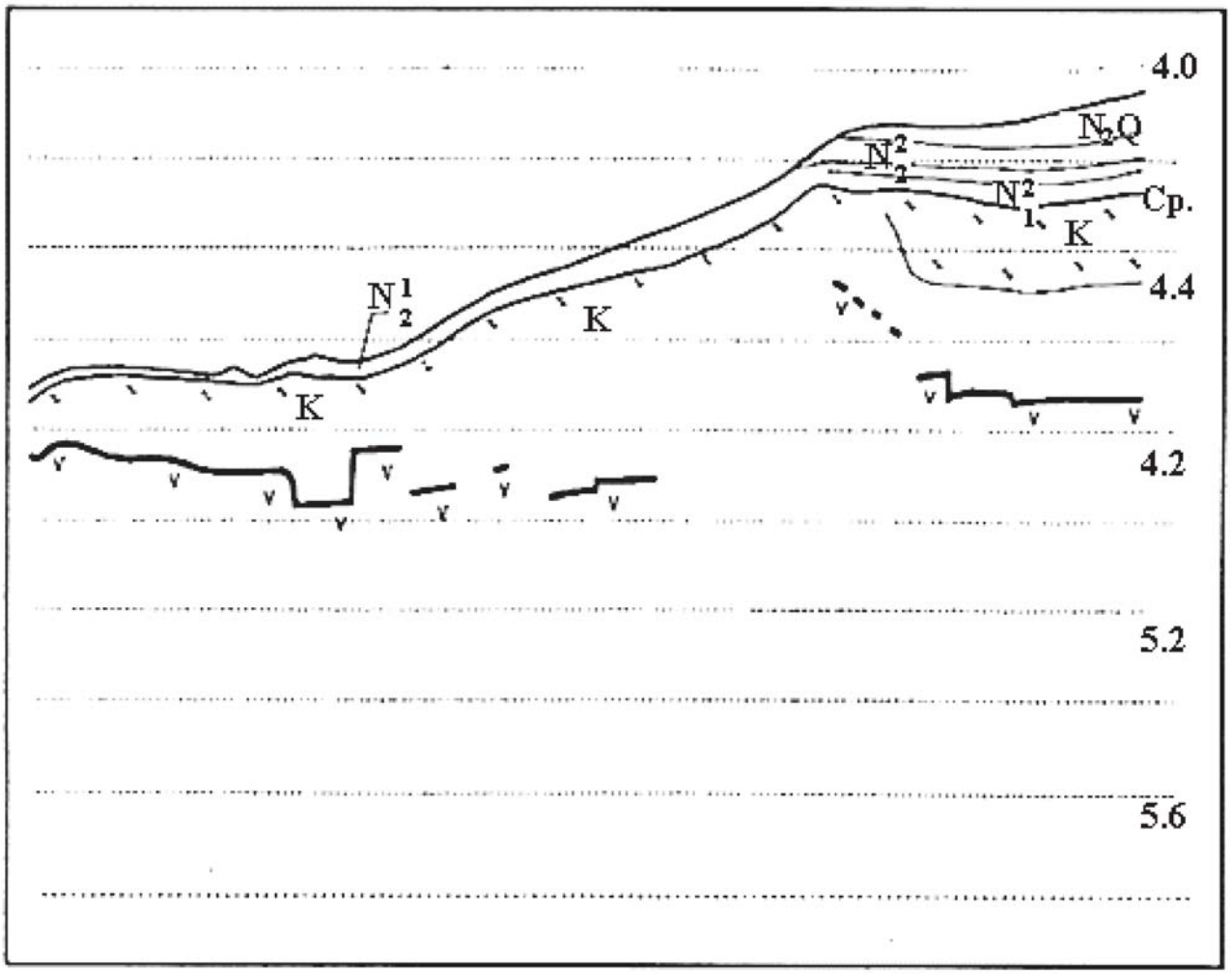
[*] Работа выполнена по темам госзаданий АААА–А17–117051110248–3; 0149–2018–0015; 135–2018–0034.

Впервые серпентинизацию и десерпентинизацию земных недр И.А. Резанов [8] использовал при разработке тектоники древних платформ. Однако их роль там ничтожно мала. Другое дело в океанах, где проявления серпентинизация и десерпентинизация установлены в огромных масштабах.

На площадях океанов до середины юры происходило повсеместное образование магматических пород. С верхней юры началось глобальное создание осадочного чехла, а магматические породы имели фрагментарное распространение в виде хребтов и крупных вулканических сооружений и более мелких подводных вулканических гор и еще более мелких гийот [6, 10]. Начало повсеместного накопления осадочного чехла океанических акваторий связано с великой верхнеюрской трансгрессией, охватившей всю планету. Тектоническое прогибание дна океанических акваторий произошло за счет остывания недр. Первоначально оно сосредоточивалось на периферии океанических акваторий, а затем последовательно продвигалась во внутренние районы. Это позволило выделять площади с началом образования осадочного чехла верхнеюрско-нижнемелового, верхнемелового, палеоцен-эоценового, олигоцен-миоценового и плиоцен-четвертичного возраста. Последний возрастной интервал занимает центральные части океанических акваторий, которые составляют в настоящее время осевые зоны срединно-океанических хребтов (поднятий) [6, 10]. Осадочные чехлы слагают океанические платформы, в которых намечаются сводовые глобальные поднятия и крылья, выраженные океаническими синеклизами [5].

Недра океанических акваторий перед великой верхнеюрской трансгрессией испытали подъем, завершающий глобальный архейско-

Рис. 1.
Локальные тектонические структуры, созданные серпентинизацией недр. Поднятие Шатского Северо-Западной окраины Тихого океана (индексами показан возраст вмещающих пород, жирной линией и знаками «v» – положение акустического фундамента)



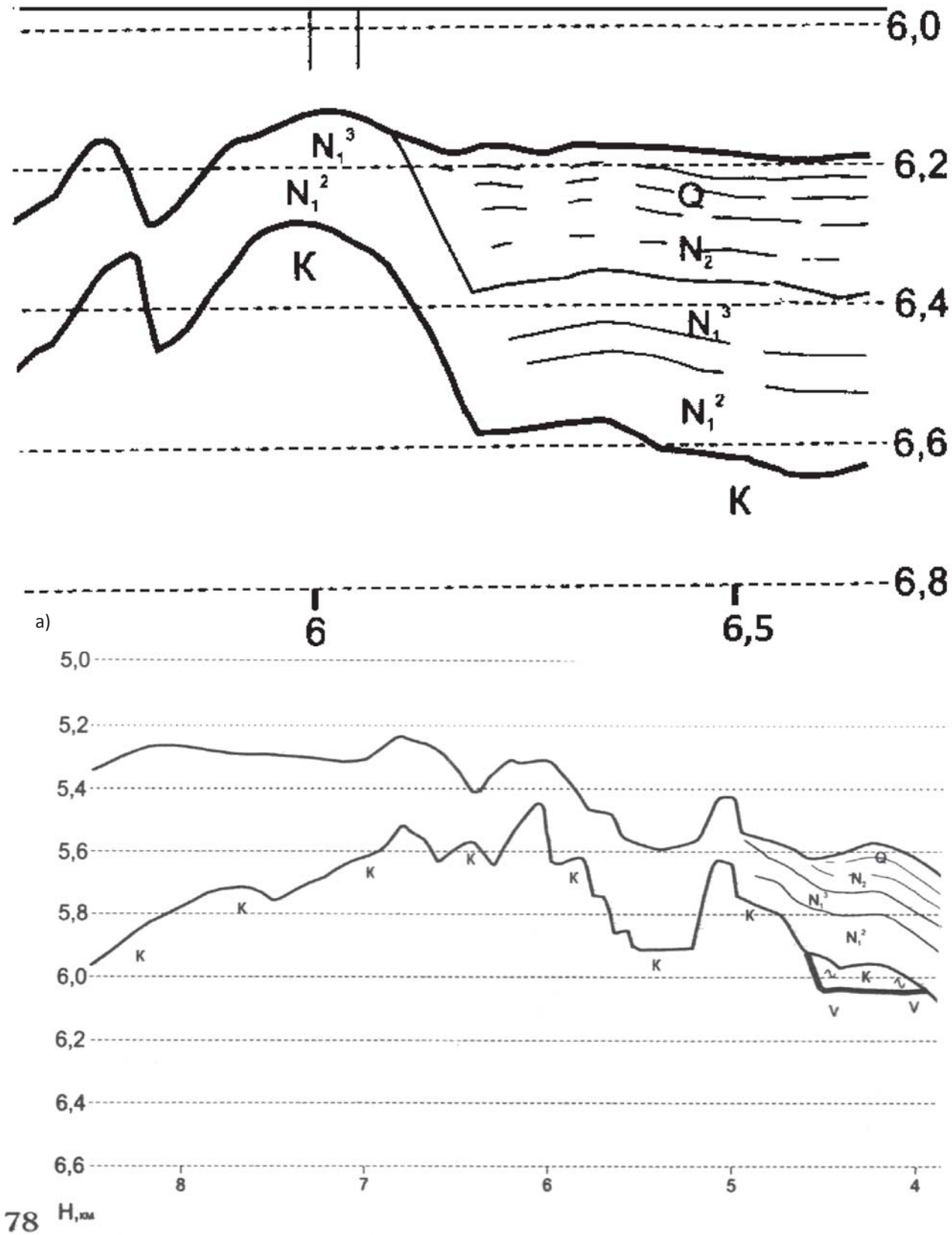


Рис. 2.

Локальные тектонические структуры, созданные серпентинизацией недр. Окраинно океанический вал Зенкевича Северо-Западной окраины Тихого океана; а – свод и внешнее крыло; б – свод и внутреннее крыло (индексами показан возраст вмещающих пород, жирной линией и знаками «v» – положение акустического фундамента)

среднеюрский магматический цикл. Они испытали сильную трещиноватость, проникшую до ультраосновных пород мантии. Воды верхнеюрской трансгрессии проникли до мантии, приводя к серпентинизации, слагающих ее ультраосновных пород. Судя по количественным параметрам десерпентинизации можно оценить постсреднеюрскую серпентинизацию в 15–20 км. Она увеличила объемы затронутых ее пород, за счет чего недра испытывали воздымание. Максимальная серпентинизация имела место на площади океанических котловин. К периферии океанических акваторий степень трещиноватости затухала, и мантия не смачивалась водами, а, следовательно, не подвергалась серпентинизации. В направлении внутренних районов океанических акваторий мантия представлена более нижней частью, менее благоприятной для серпентинизации. Таким образом в постсреднеюрской эволюции недра океанических котловин подверглись воздействию двух процессов. Первый, главный из них, был связан с остыванием недр и приводил к конседиментационному прогибанию [1], вызвавшему образование океанических платформ [5]. Серпентинизация замедляла конседиментационное прогибание, однако существенных коррективов в региональный структурный план она не вносила, но создала два типа локальных тектонических структур. Первый тип составляют одиночные локальные поднятия, имеющие широкое распространение на океанических акваториях. На Международной тектонической карте мира [6], Тектонической карте мира [10] они выделены поднятиями с осадочным чехлом, начинающимся с отложений нижнего мела, местами юры, верхнего мела, палеоцен-эоцена, олигоцен-неогена. Их размеры достигают многих сотен и первых тысяч километров при амплитуде до нескольких сотен метров. Поднятия имеют изометричную неправильную форму и более древнюю подошву по сравнению с сопряженными площадями. Наиболее изученными сейсморазведкой отраженных волн и глубоководным бурением являются поднятия Шатского и Хесса северо-западной части Тихого океана [7, 9]. Разрез осадочного чехла первого из них начинает карбонатная толща А, которую слагают известняки с прослоями окремненных известняков и нанопелагических глин верхней юры-нижнего мела, толщиной 450–550 м, которые за пределами поднятия Шатского сокращаются до 100–200 м (***рис. 1***). Выше располагается кремнисто-глинистая толща В, относящаяся к верхам нижнего и верхнему мелу, толщиной до 300 м. Общая мощность верхней юры и мела по данным сейсморазведки оценивается в 550–600 м. Основную часть кайнозойского разреза поднятия Шатского составляет туффито-кремнистая толща Д, среднемиоцен-четвертичного возраста, толщиной 100–200 м при общей мощности осадочного чехла поднятия Шатского в 700–800 м. Близкий разрез осадочного чехла имеет поднятие Хесса.

Второй объект одиночных поднятий океанических акваторий составляют окраинно-океанические валы [6, 10], осложняющие вершины внешних (океанических) бортов окраинных глубоководных желобов (***рис. 2***). Во всех окраинных одиночных валах фиксируется повышенные толщины кайнозойских отложений. Так, в пределах окраинно океанического вала Зенкевича, составляющего вершину внешнего (океанического) склона окраинного глубоководного Курильского желоба, толщина кайнозойских отложений достигает 600–1000 м, сокращаясь за его пределами до 100–200 м [7]. Такие же соотношения наблюдаются и на других окраинно-океанических валах.

Одиночные тектонические структуры океанических акваторий в виде изометричных поднятий с разновозрастной подошвой осадочного чехла и окраинные одиночные валы площадей, ограниченных окраинными глубоководными желобами, представляют современные и инверсионные положительные структуры, созданные из отрицательных структур с повышенными толщинами осадочного чехла. Первые не имеют линейных закономерностей, представляя типичные структуры нелинейной закономерности. Вторые располагаются в зоне сопряжения океанических акваторий с окраинными глубоководными желобами и относятся к структурам линейных закономерностей.

Одиночные тектонические структуры нелинейной закономерности занимали площади океанических акваторий с пониженными значениями серпентинизации, что приводило к образованию в их пределах опусканий и утолщению осадочного чехла, осложняющих региональный фон, создаваемый верхнеюрско-кайнозойскими океаническими платформами. Он приводил к трансгрессивному продвижению прогибания от периферии океанических акваторий и их центральным частям, превратившимся в своды гигантских систем поднятий.

Окраинно океанические валы представляют инверсионные отрицательные тектонические структуры, возникшие на периферии океанических акваторий, где мантийные серпентиниты утонялись или полностью выклинивались. Они ограничивались окраинными глубоководными желобами, представляющими компенсационные структуры фронта складчатых геосинклинальных сооружений континентов, аналогич-

ные краевые прогибы суши. Краевые прогибы и окраинные глубоководные желоба наложились большей своей частью, первые – на периферию континентального платформенного, а вторые – на периферию океанических чехлов [5]. Подстилающие их чехлы находились в состоянии сжатия за счет фронтальных частей, сопряженных складчатых геосинклинальных сооружений, и имели незначительные погружения. Именно за счет этого возникли крылья окраинно-океанических валов. Внутренние крылья окраинно океанических валов и утонение океанического осадочного чехла возникли за счет серпентинизации мантии на площади океанических акваторий, замедлявшей тектоническое прогибание. Таким образом преимущественно при отсутствии или ослаблении серпентинизации усиливается конседиментационное прогибание, приводящее к образованию локальных отрицательных тектонических структур.

Окраинно-океанические валы имеют линейную закономерность, располагаясь в зонах сопряжения океанических акваторий с окраинными глубоководными желобами. Следовательно, серпентинизация недр ослабляет тектоническое опускание дна океанических акваторий и создает нелинейные и линейные локальные отрицательные тектонические структуры.

На рубеже холодного плейстоцена и теплого голоцена произошло резкое повышение температуры Земли. При их значениях в 500–600 °С и выше произошла десерпентинизация и вторичное образование оливинов, перидотитов и других ультраосновных пород с выделением воды и уменьшением толщины недр на 10–20%. При этом физические параметры до десерпентинизации и после десерпентинизации изменяются, но остаются промежуточными между мантией и корой. На площади океанических акваторий серпентинитовые породы слагают сейсмический слой 3В толщиной до 3–4 км, отсутствующий за их пределами.

Сокращение толщины серпентинизированной разуплотненной мантии при десерпентинизации привело к резкому дифференцированному обрушению (талассогенезу) океанических акваторий и сопряженных с ними шельфов. На площади последних он быстро затухал в сторону суши, создав пологий подъем (внешний шельф). То есть процессы талассогенеза создали внешние шельфы, континентальные склоны, океанические котловины, остаточные срединно-океанические хребты (поднятия) и другие региональные и локальные тектонические остаточные положительные и отрицательные структуры. Вместе с конвективными ячейками глубоководных бассейнов (топодепрессий) краевых и внутренних морей [2, 3, 4] был создан современный Мировой океан. Десерпентинизация выделила значительные массы воды, значительно большие, чем впитала в себя серпентинизация, т.к. образование ультраосновных пород выделило дополнительную кристаллизационную воду, общая масса которой заполнила возникшие гигантские емкости.

Следовательно, постсреднеюрская серпентинизация замедлила верхнеюрско-кайнозойское конседиментационное прогибание, создала локальные отрицательные изометричные нелинейной закономерности тектонические структуры и окраинно-тектонические валы линейной закономерности. Постплейстоценовая десерпентинизация, подробно рассмотренная И.А. Гарагашем [2, 3], создала современные океанические акватории, внешние шельфы, и внутренний структурный план их дна, что, вместе с конвективными ячейками [2, 4], создало современный Мировой океан.

Литература

1. Гарагаш И.А., Иогансон Л.И., Шлезингер А.Е. Структуры типа антеклиз, синеклиз и областей глубокого прогибания на платформах и физический механизм их образования //Бюллетень МОИП. Отдел геологии. Т. 76. Вып. 1. 2001. С. 18–21.

2. Гарагаш И.А., Лобковский Л.И., Шлезингер А.Е. Геодинамическая модель и эволюция глубоководных акваторий Северного Ледовитого океана в позднем мезозое-кайнозое по данным сейсмических исследований //Геология и геоэкология континентальных окраин Евразии. Вып. 4. М.: ГЕОС. 2012. С. 11–28.

3. Гарагаш И.А., Полещук А.В., Хортов А.В., Шлезингер А.Е. Модельные расчеты параметров механизма десерпентинизации для континентов и океанов //Тектоника современных и древних океанов и их окраин. Материалы XIIX Тектонического совещания. Т. I. М.: ГЕОС. 2017 С. 82–86.

4. Гарагаш И.А., Шлезингер А.Е. Природа подъема Мохо глубоководных осадочных бассейнов Черноморского типа. Бюллетень МОИП. Отдел геологии. Т. 81. Вып. 4. 2006. С. 3–6.

5. Главные тектонические структуры и эволюция Земли. LAMBERT. Academic Publishing. 2017. 194 с.

6. Международная тектоническая карта мира. Масштаб 1:15 000 000. М. 1982.

7. Патрикеев В.Н. Атлас сейсмических разрезов Северо-Западной плиты Тихого океана. М.: ГЕОС. 2009. 207 с.

8. Резанов И.А. Происхождение океанов. М.: Наука. 1979. 200 с.
9. Сейсмостратиграфия в геологии Мирового океана и континентов. LAMBERT. Academic Publishing. 2015. 305 с.
10. Тектоническая карта мира. Масштаб 1:45 000 000. М.: ВСЕГЕИ. 1984.

UDC 550.834.05

I.A. Garagash, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of Laboratory, Institute of Physics of the Earth, RAS[1], garagash@mail.ru
A.V. Khortau, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Chief Geologist of OOO Soyuzmorgeo[2], akhortov@mail.ru
A.E. Schlesinger, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Geological Institute of RAS[3], shlesinger@ginras.ru

[1]10 Bolshaya Gruzinskaya, Moscow, 123995, Russia.
[2]38 Krasnogvardeyskaya str., Gelendzhik, 353461, Russia.
[3]7 Pyzhevsky lane, Moscow, 119017, Russia.

Importance of Serpentinization and De-serpentinization in Shaping the Earth's Structural Geometry

Abstract. The paper discusses serpentinization and de–serpentinization processes, which were of particular importance in tectonic structures formation. Tectonic activation of ancient platforms is associated with deep–seated heat flow and formations heating up to 500–600 °C, which causes de–serpentinization in basal zone of the crust with serpentinite transformation into secondary olivine, peridotite, and other ultrabasic rocks. The process is accompanied by filtering water out to the surface; at the same time, rock density decreases by 10–20%, serpentinite mass takes on the properties of normal mantle rocks. As a result, the basal crust reduces in thickness and experience shrinkage, thus negative platform structures are formed. Waters of Upper Jurassic transgression reached the mantle and caused serpentinization of ultrabasic rocks composing it; the formations experienced uplift. Maximal serpentinization is observed in the oceanic hollows. De–serpentinization in post–Pleistocene created the living oceans, outer shelf, internal geometry of their seafloor with convection cells, which determined the morphology of tectonic structures in the living World Ocean.

Keywords: tectonic structures; the oceanic bottom; median ranges; syneclise; platforms; sediment cover; serpentinization and deserpentinization rocks; convective cell.

References

1. Garagash I.A., Ioganson L.I., Shlezinger A.E. ***Struktury tipa antekliz, sinekliz i oblastej glubokogo progibanija na platformah i fizicheskij mehanizm ih obrazovanija*** [Structures such as anteclise, syneclise and deep-sagging areas on platforms and the physical mechanism of their formation]. ***Bjulleten' MOIP. Otdel geologii*** [Bulletin MOIP. Department of Geology], vol. 76, issue 1, 2001, pp. 18–21.
2. Garagash I.A., Lobkovskij L.I., Shlezinger A.E. ***Geodinamicheskaja model' i jevoljucija glubokovodnyh akvatorij Severnogo Ledovitogo okeana v pozdnem mezozoe-kajnozoe po dannym sejsmicheskih issledovanij*** [Geodynamic model and evolution of the deep-water areas of the Arctic Ocean in the Late Mesozoic-Cenozoic according to seismic data]. ***Geologija i geojekologija kontinental'nyh okrain Evrazii*** [Geology and geoecology of continental margins of Eurasia]. 2012, vol. 4, pp. 11–28.
3. Garagash I.A., Poleshhuk A.V., Hortov A.V., Shlezinger A.E. ***Model'nye raschety parametrov mehanizma deserpentinizacii dlja kontinentov i okeanov*** [Model calculations of the parameters of the mechanism of despertinization for the continents and oceans]. ***Tektonika sovremennyh i drevnih okeanov i ih okrain*** [Tectonics of modern and ancient oceans and their margins] Proc. of the XIIX Tectonic Meeting. Vol. I, Moscow, 2017, pp. 82–86.
4. Garagash I.A., Shlezinger A.E. ***Priroda pod`ema Moho glubokovodnyh osadochnyh bassejnov Chernomorskogo tipa*** [The nature of the rise of the Moho deep-sea sedimentary basins of the Black Sea type]. ***Bjulleten' MOIP. Otdel geologii*** [Bulletin MOIP. Department of Geology]. 2006, vol. 81, issue 4, pp. 3–6.
5. ***Glavnye tektonicheskie struktury i jevoljucija Zemli*** [The main tectonic structures and the evolution of the Earth]. LAMBERT. Academic Publishing, 2017, 194 c.
6. ***Mezhdunarodnaja tektonicheskaja karta mira. Masshtab 1:15 000 000*** [International tectonic map of the world. Scale 1:15 000 000]. Moscow, 1982.
7. Patrikeev V.N. ***Atlas sejsmicheskih razrezov Severo-Zapadnoj plity Tihogo okeana*** [Atlas of seismic sections of the Northwest Plate of the Pacific Ocean]. Moscow, GEOS Publ., 2009, 207 p.
8. Rezanov I.A. ***Proishozhdenie okeanov*** [Origin of the oceans]. Moscow, Nauka Publ., 1979, 200 p.
9. ***Sejsmostratigrafija v geologii Mirovogo okeana i kontinentov*** [Seismic stratigraphy in the geology of the oceans and continents]. LAMBERT. Academic Publishing, 2015, 305 p.
10. ***Tektonicheskaja karta mira. Masshtab 1:45 000 000*** [Tectonic map of the world. Scale 1:45 000 000]. Moscow, VSEGEI Publ., 1984.