

УДК 551.24

doi: 10.26102/2310-6018/2018.23.4.023

В. А. Минаев¹, А. О. Фаддеев², А. В. Кантышева³, Т. М. Невдах², Т. Р.
Ахметшин⁴

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ РИСКИ И НЕФТЕГАЗОНОСНЫЕ РАЙОНЫ КИПРА МОДЕЛИ ОЦЕНКИ

¹ФГБОУ ВО “Московский государственный технический университет”
им. Н.Э. Баумана МГТУ (национальный исследовательский университет)

²ФКОУ ВО “Академия права и управления Федеральной службы
исполнения наказаний”

³Дальневосточный юридический институт МВД России

⁴ФГБОУ ВО “Уфимский государственный нефтяной технический
университет”

В статье рассматриваются актуальные вопросы сейсмической опасности на территории Кипра и прилегающей акватории Средиземного моря. Цель статьи – анализ геодинамических рисков в указанном регионе, построение адекватных моделей их оценки, а также обоснование индикаторов геодинамической опасности и поиска нефтегазовых бассейнов. Построена вероятностная модель, описывающая последовательность геодинамических состояний геологической среды исследуемой территории и удовлетворяющая условиям независимости, однородности и ординарности потоков событий. Дано ее описание в виде дифференциальных уравнений Колмогорова. На основе модели получено эквипотенциальное распределение геодинамического риска, позволяющее обосновывать зоны достаточно безопасного строительства на острове Кипр и размещения шельфовой инфраструктуры на побережье. Другой немаловажный прикладной аспект модельных исследований — это поиск геодинамических индикаторов сейсмического риска. Одним из таких индикаторов являются вихревые структуры, образованные векторами горизонтальных напряжений в литосфере Земли. Наибольшая концентрация эпицентров произошедших землетрясений и наибольший вероятностный геодинамический риск приходится на территорию, где наблюдается взаимное пересечение четырёх вихревых структур в районе юго-западного побережья острова. Важный аспект оценки геодинамического риска связан с задачей поиска индикаторов нефтегазоносных месторождений. Используя цифровую модель литосферы Земли, созданную авторами, установлено, что нефтегазоносных месторождений территориально размещаются на границах левовращающейся вихревой структуры, образованной конкретными физическими характеристиками литосферы. Это подтверждается эмпирическими данными на примере территории Кипра и прилегающей к нему акватории Средиземного моря. Делается вывод о том, чтобы уточнить расположение нефтегазоносных зон, необходимы картографические данные о более детальном распределении движений земной коры, тектонических нарушениях и аномальном гравитационном поле.

Ключевые слова: Кипр, сейсмическая опасность, вероятностная модель, геодинамический риск, индикатор, литосфера Земли, горизонтальные напряжения, нефтегазоносные зоны.

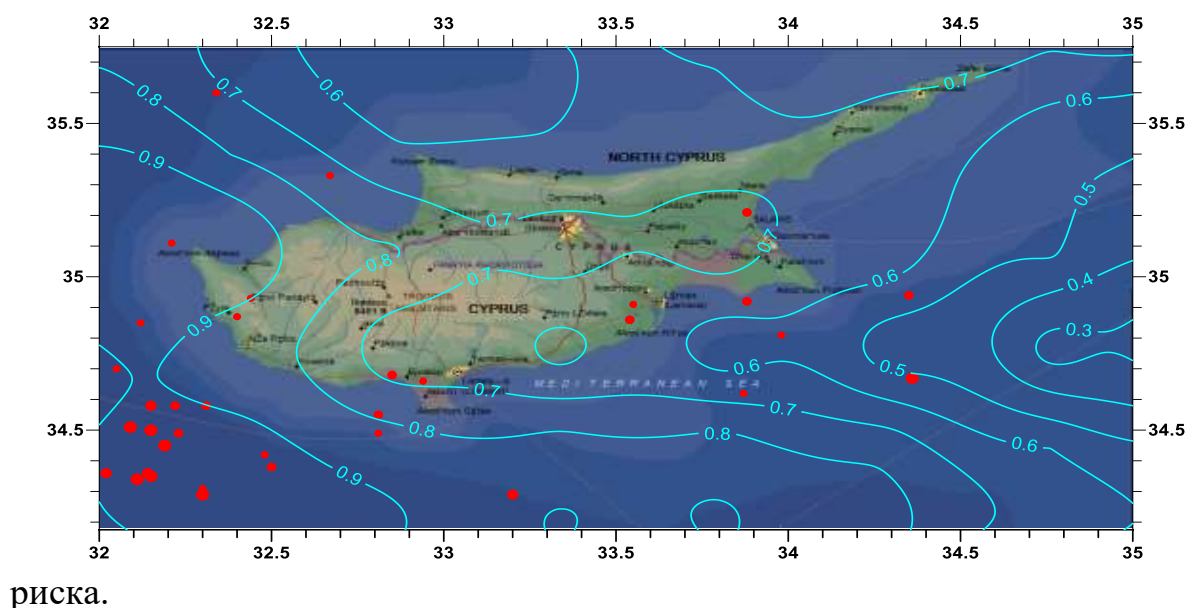
ВВЕДЕНИЕ

Остров Кипр расположен в одной из наиболее сейсмоопасных зон мира, в районе так называемого Средиземноморского складчатого пояса, который начинается от Атлантического океана, разделяет африканский континент заканчиваясь у Южно-Китайского моря. По статистике на указанный пояс приходится около 15% сейсмической активности планеты.

Согласно историческим сведениям и данным сейсмологических каталогов [1, 2] территория современного Кипра и прилегающая к нему акватория Средиземного моря продолжают оставаться весьма сейсмически активным районом Земного шара.

Однако киприотам относительно повезло в том смысле, что живут они на достаточно спокойном острове, ведь, например, в Греции и Турции землетрясения случаются гораздо чаще. На самом Кипре толчки ощущаются в основном в прибрежных частях острова. Это – район Пафоса и далее на восток, проходя через Лимассол и Ларнаку к Фамагусте (Рисунок 1).

Исследования показывают, что за свою историю остров минимум 15 раз оказывался в эпицентре разрушительных землетрясений. С конца XIX века по 2004 год в районе расположения острова зарегистрировано более четырёхсот ощутимых землетрясений, а полтора десятка из них произошли с разрушениями, жертвами которых стали 67 человек. Таким образом, задача оценки геодинамического риска в прогностическом плане для Кипра является весьма актуальной. В статье выполнены оценки этого



риска.

Рисунок 1- Распределение эпицентров произошедших землетрясений и эквипотенциальное распределение вероятностного геодинамического риска на территории Кипра и прилегающей акватории Средиземного моря

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для этого использованы вероятностные модели оценки геодинамического риска, созданные в работах [3-6, 8, 10]. Основопологающим при ее построении выступило предположение о том, что последовательность геодинамических состояний геологической среды исследуемой территории представляет собой события, удовлетворяющие условиям независимости, однородности и ординарности, т.е. являются простейшие потоки.

Обозначая через $p_k(t)$ вероятность того, что в течение некоторого промежутка времени длительностью t в процессе реализации различных состояний геологической среды произойдут k различных геодинамических процессов и, учитывая, что указанная вероятность не зависит ни от выбора системы отсчета, ни от предыстории геологической среды, можно построить соответствующие дифференциальные уравнения Колмогорова. Рассмотрим три состояния – равновесное устойчивое состояние – 1; неравновесное неустойчивое состояние – 2 и квазиравновесное состояние – 3 (Рисунок 2):

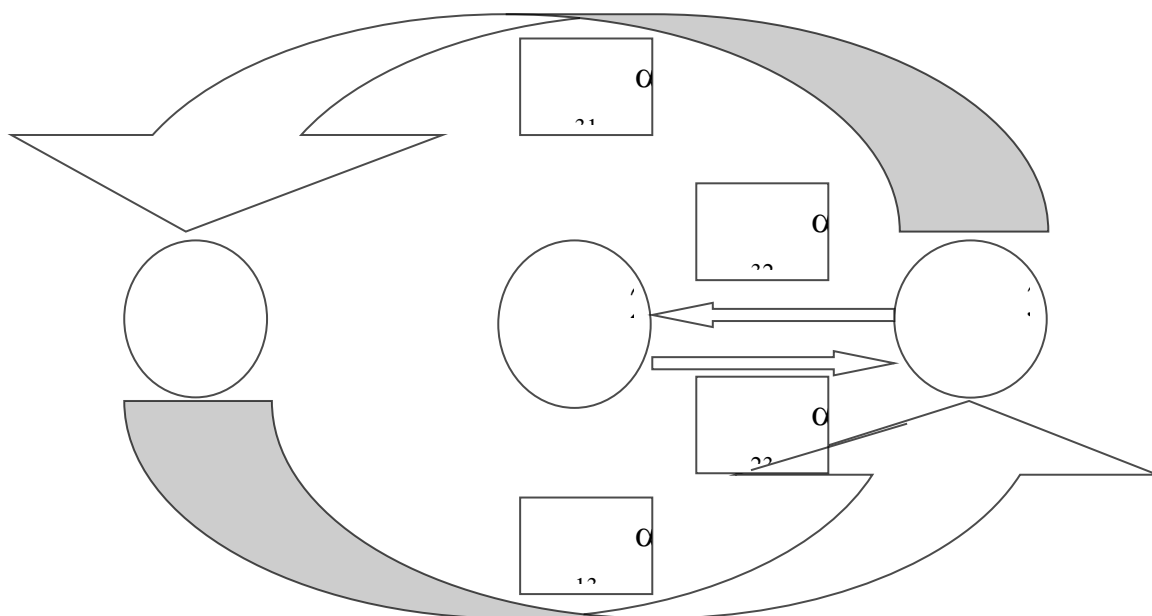


Рисунок 2 - Схема взаимопереходов геологической среды
между состояниями 1, 2, 3

$$\begin{cases} p_1'(t) = -\alpha_{13}p_1(t) + \alpha_{31}p_3(t), \\ p_2'(t) = -\alpha_{23}p_2(t) + \alpha_{32}p_3(t), \\ p_3'(t) = \alpha_{13}p_1(t) + \alpha_{23}p_2(t) - (\alpha_{31} + \alpha_{32})p_3(t). \end{cases} \quad (1)$$

Коэффициенты α_{ij} (где $i = 1, 2, 3$; $j = 1, 2, 3$) отражают энергетические процессы, протекающие в геосреде, в результате которых происходит ее переход из состояния i в состояние j [6, 7].

Сами же вероятности нахождения элементарного объёма геологической среды в состояниях 1, 2, 3 вычисляются по известным соотношениям [6]:

$$\begin{cases} p_1 = \frac{\alpha_{23}\alpha_{31}}{\alpha_{13}\alpha_{23} + \alpha_{13}\alpha_{32} + \alpha_{23}\alpha_{31}}, \\ p_2 = 1 - \frac{\alpha_{13} + \alpha_{31}}{\alpha_{31}} p_1, \\ p_3 = 1 - p_1 - p_2. \end{cases} \quad (2)$$

ОБСУЖДЕНИЕ

Используя соотношения (2) для территории Кипра и прилегающей к нему акватории Средиземного моря, получено эквипотенциальное распределение геодинамического риска (Рисунок 1).

Из анализа Рисунка 1 следует, что результаты математического моделирования согласуются с распределениями эпицентров уже произошедших сейсмических событий.

Полученные результаты весьма важны как при обосновании зон строительства на острове Кипр, особенно туристских объектов, так и при размещении шельфовой инфраструктуры с учетом геодинамических аномалий, проявляющихся в различии сейсмических рисков.

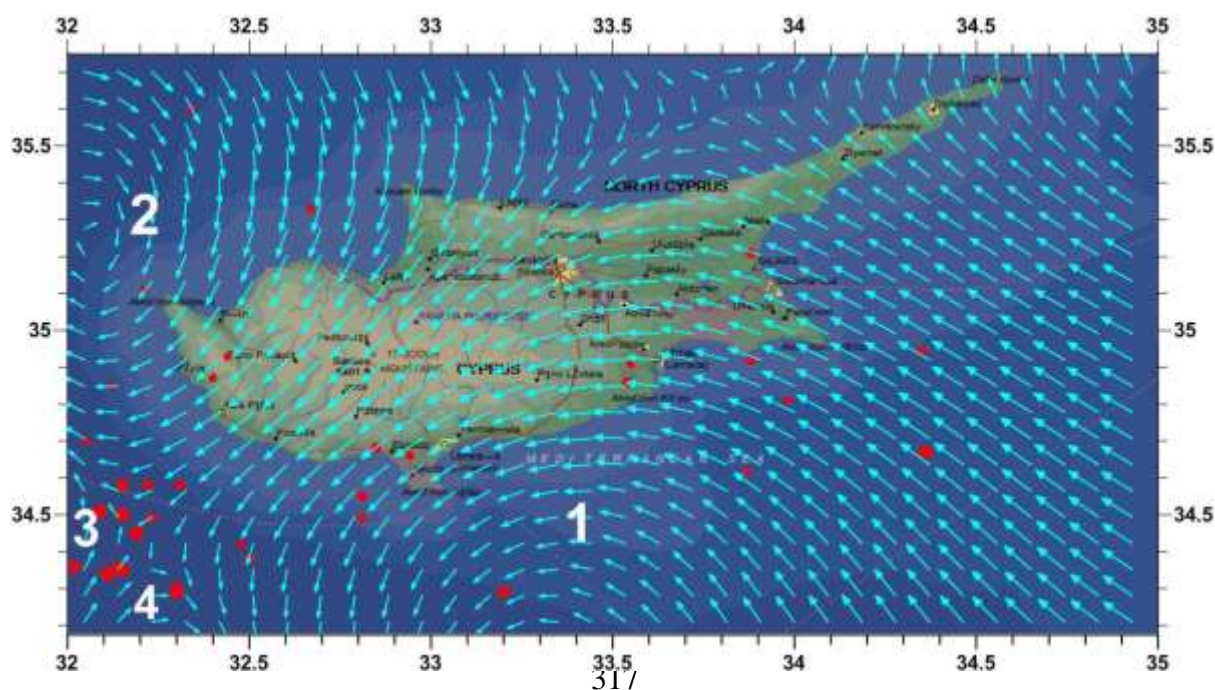
Другой немаловажный прикладной аспект модельных исследований, проделанных авторами – это поиск геодинамических индикаторов повышенного сейсмического риска.

Одним из таких индикаторов, как показали исследования, являются особенности распределения полей векторов горизонтальных геодинамических напряжений в литосфере Земли. Для территории Кипра и прилегающей к нему акватории Средиземного моря выявлены чётко выраженные вихревые структуры, образованные векторами горизонтальных напряжений в литосфере Земли, обозначенные цифрами 1, 2, 3, 4 (Рисунок 3).

Наибольшая концентрация эпицентров уже произошедших землетрясений и наибольший вероятностный геодинамический риск в прогностическом отношении приходится на территорию, где наблюдается взаимное пересечение всех четырёх вихревых структур (левый нижний угол).

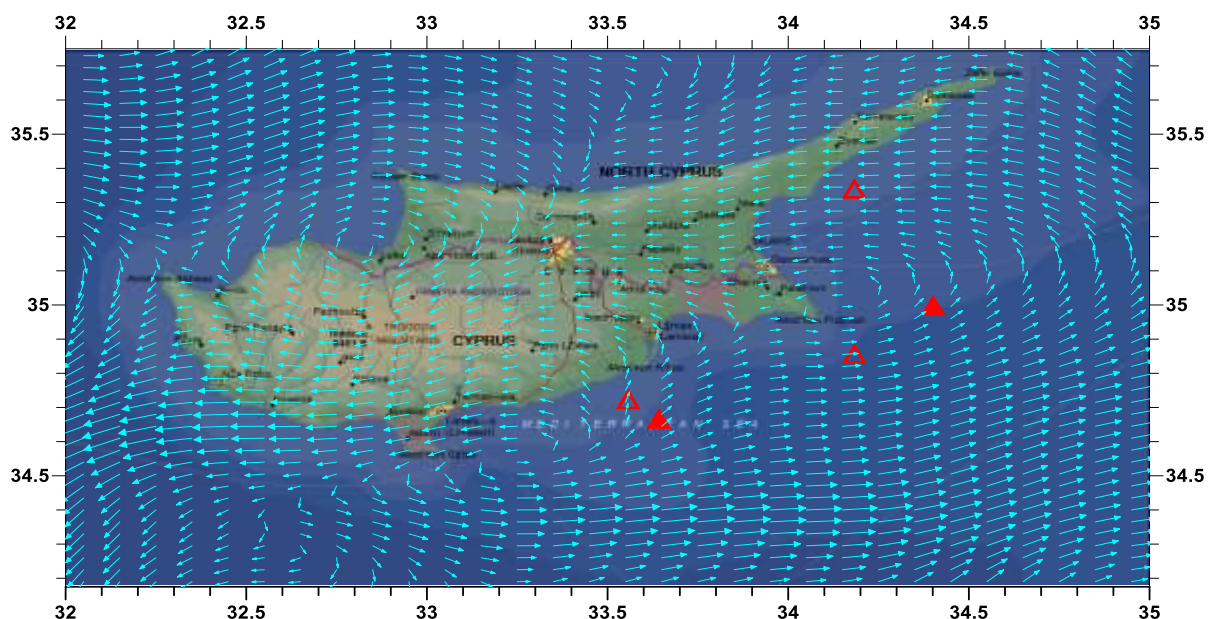
Как показали наши исследования, важный аспект оценки геодинамического риска также связан с задачей поиска индикаторов нефтегазоносных месторождений.

Используя цифровую модель литосферы Земли, созданную авторами [9], построен такой индикатор. Установлено, что *прогнозные расположения нефтегазоносных месторождений территориально размещаются на границах левовращающейся вихревой структуры, образованной конкретными физическими характеристиками литосферы*, что подтверждается эмпирическими данными на примере территории



Кипра и прилегающей к нему акватории Средиземного моря (Рисунок 4).

Рисунок 3 - Пересечение четырех вихревых структур горизонтальных напряжений в



литосфере Земли для территории Кипра и прилегающей акватории Средиземного моря

Рисунок 4 - Распределение векторов выявленной вихревой структуры для территории Кипра и прилегающей акватории Средиземного моря (сплошными треугольниками обозначены известные месторождения нефти, не сплошными – известные месторождения газа).

Отметим, что для получения уточненных результатов о расположении нефтегазоносных зон необходима более детальная информация о:

- современных вертикальных движениях земной коры на поверхности;
- новейших вертикальных тектонических движениях;
- новейших горизонтальных тектонических движениях;
- тектонических разломных нарушениях;
- аномальном гравитационном поле.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Вероятностная модель оценки геодинамического риска позволяет обосновывать безопасные зоны строительства на суше и размещения шельфовой инфраструктуры.

2. Немаловажный прикладной аспект модельных исследований – это поиск геодинамических индикаторов повышенного сейсмического риска, которые выявляются по данным математического моделирования.

3. Наибольшая концентрация эпицентров землетрясений и наибольший вероятностный геодинамический риск приходятся на территорию, где наблюдается взаимное пересечение вихревых структур, отражающих горизонтальные напряжения в литосфере Земли.

4. Важный аспект оценки геодинамического риска связан с задачей поиска индикаторов нефтегазоносных месторождений. Нефтегазоносные месторождения с наибольшей вероятностью размещаются на границах левовращающихся вихревых структур в литосфере, что подтверждают расчеты по регионам Земного шара, где имеются нефтегазоносные зоны.

5. Для того, чтобы уточнить результаты о расположении нефтегазоносных зон, необходимы картографические данные о более детальных распределениях движений земной коры, тектонических нарушениях и аномальном гравитационном поле.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данные Европейско-Средиземноморского сейсмологического центра. Источник: Мировой Центр Данных по физике твердой Земли, Москва (www.wdcb.ru).
2. Сейсмологические каталоги Геофизической службы РАН, Обнинск. Источник: Мировой Центр Данных по физике твердой Земли, Москва (www.wdcb.ru).
3. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика разломных зон: разломообразование в реальном масштабе времени // Геодинамика и тектонофизика. 2014. № 5(2). – Рр. 401–443.
4. Минаев В.А., Фаддеев А.О. Оценки геоэкологических рисков. Моделирование безопасности туристско-рекреационных территорий. – М.: Финансы и статистика, изд. дом ИНФРА-М, 2009. – 370 с.
5. King S. D. Subduction zones: observations and geodynamic models // Physics of the Earth and Planetary Interiors. 2001. 127. – Рр. 9-24.
6. Минаев В.А., Фаддеев А.О., Кузьменко Н.А. Моделирование и оценка геодинамических рисков. – М.: «РТСофт» – «Космоскоп», 2017. – 256 с.
7. Минаев В.А., Фаддеев А.О., Ахметшин Т.Р., Невдах Т.М., Фаддеев А.А. Геодинамические индикаторы для поиска нефтегазоносных полей // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2018. Выпуск 3. – С. 16 – 36.
8. Кузьмин Ю.О., Жуков В.С. Современная геодинамика и вариации физических свойств горных пород. — М.: Горная книга, 2012. — 264 с.

9. Минаев В.А., Фаддеев А.О., Ахметшин Т.Р., Невдах Т.М. Цифровая модель геодинамических процессов в литосфере Земли // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2018. Выпуск 3. – С. 9-15.
10. Gerya T. Introduction to Numerical Geodynamic Modelling. – NY: Cambridge University Press, 2010. – 358 p.

V. A. Minaev¹, A. O. Faddeev², A. V. Kantysheva³, T. M. Nevдах²,
T. R. Akhmetshin⁴

GEODYNAMIC RISKS AND OIL-GAS AREAS OF CYPRUS: VALUATION MODEL

¹*Bauman Moscow State Technical University
(National Research University).*

²*Academy of Law and Management of the Federal Penitentiary Service*

³*Far Eastern Law Institute of the Russia Internal Affairs Ministry*

⁴*Ufa State Oil Technical University*

The article deals with the issues of seismic hazard in Cyprus and the adjacent waters of the Mediterranean Sea. The purpose of the article is the analysis of geodynamic risks in this region, the construction of adequate models for their assessment, as well as the justification of indicators of geodynamic danger and the search for oil and gas basins. A probabilistic model describing the sequence of geodynamic states of the geological environment of the studied area and satisfying the conditions of independence, homogeneity and ordinariness of the event flows is constructed. Its description in the form of Kolmogorov differential equations is given. Based on the model, the equipotential distribution of geodynamic risk is obtained, which makes it possible to justify the zones of sufficiently safe construction on the island of Cyprus and the placement of offshore infrastructure on the coast. Another important applied aspect of model studies is the search for geodynamic indicators of seismic risk. One of such indicators is vortex structures formed by vectors of horizontal stresses in the Earth's lithosphere. The highest concentration of epicenters of earthquakes and the highest probability of geodynamic risk occur in the area where there is a mutual intersection of four vortex structures in the South-West coast of the island. An important aspect of geodynamic risk assessment is related to the task of searching for indicators of oil and gas fields. Using a digital model of the Earth's lithosphere, created by the authors, it is found that oil and gas fields are geographically located on the boundaries of the left-rotating vortex structure formed by specific physical characteristics of the lithosphere. This is confirmed by empirical data on the example of the territory of Cyprus and the adjacent waters of the Mediterranean Sea. It is concluded that in order to clarify the location of oil and gas zones, cartographic data on more detailed distributions of crustal movements, tectonic disturbances and anomalous gravitational field are needed.

Keywords: Cyprus, seismic hazard, probabilistic model, geodynamic risk, indicator, Earth lithosphere, horizontal stresses, oil and gas zones

REFERENCES

1. Dannye Evropejsko-Sredizemnomorskogo sejsmologicheskogo centra. Istochnik: Mirovoj Centr Danyh po fizike tverdoj Zemli, Moskva (www.wdcb.ru).
2. Sejsmologicheskie katalogi Geofizicheskoy sluzhby RAN, Obninsk. Istochnik: Mirovoj Centr Danyh po fizike tverdoj Zemli, Moskva (www.wdcb.ru).
3. Kuz'min Y.O. Sovremennaya geodinamika razlomnyh zon: razlomoobrazovanie v real'nom masshtabe vremeni // Geodinamika i tektonofizika. 2014. № 5(2). – Pp. 401–443.
4. Minaev V.A., Faddeev A.O. Ocenki geohkologicheskikh riskov. Modelirovanie bezopasnosti turistsko-rekreacionnyh territorij. – M.: Finansy i statistika, izd. dom INFRA-M, 2009. – 370 p.
5. King S. D. Subduction zones: observations and geodynamic models // Physics of the Earth and Planetary Interiors. 2001. 127. – Pp. 9-24.
6. Minaev V.A., Faddeev A.O., Kuz'menko N.A. Modelirovanie i ocenka geodinamicheskikh riskov. – M.: «RTSoft» – «Kosmoskop», 2017. – 256 p.
7. Minaev V.A., Faddeev A.O., Ahmetshin T.R., Nevdah T.M., Faddeev A.A. Geodinamicheskie indikatory dlya poiska neftegazonosnyh polej // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya «Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie». 2018. Vypusk 3. – Pp. 16 – 36.
8. Kuz'min Y.O., Zhukov B.C. Sovremennaya geodinamika i variacii fizicheskikh svojstv gornyh porod. — M.: Gornaya kniga, 2012. – 264 p.
9. Minaev V.A., Faddeev A.O., Ahmetshin T.R., Nevdah T.M. Cifrovaya model' geodinamicheskikh processov v litosfere Zemli // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya «Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie». 2018. Vypusk 3. – Pp. 9-15.
10. Gerya T. Introduction to Numerical Geodynamic Modelling. – NY: Cambridge University Press, 2010. – 358 p.