

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Пермское отделение межрегиональной общественной организации
«ЕВРО-АЗИАТСКОЕ ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО»

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА РАЗВЕДОЧНОЙ И ПРОМЫСЛОВОЙ ГЕОФИЗИКИ

Сборник
научных трудов

Выпуск 2 (7)



Пермь 2019

УДК 550.83
ББК 26.3242
Т337

Главный редактор: д-р техн. наук, проф. **В. И. Костицын**

Теория и практика разведочной и промышленной геофизики: сборник научных трудов / гл. ред. Т337 В. И. Костицын; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2019. – 361 с.

ISBN 978-5-7944-3191-9

ISBN 978-5-7944-3371-5 (вып. 2 (7))

Сборник научных трудов подготовлен по материалам VII международной научной-практической конференции «Теория и практика разведочной и промышленной геофизики». Представлен широкий спектр исследований в области современной сейсморазведки, гравиразведки, магниторазведки, электроразведки, петрофизики и геофизических исследований скважин.

УДК 550.83
ББК 26.3242

Печатается по решению ученого совета геологического факультета Пермского государственного национального исследовательского университета

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

д-р геол.-мин. наук, проф. **А. Е. Абетов** (Казахстан); д-р тех. наук, проф. **В. А. Гершанок**; д-р физ.-мат. наук **А. С. Долгаль**; PhD, доц. **О. Н. Ковин**; д-р физ.-мат. наук, проф. **И. Н. Корчагин** (Украина); канд. тех. наук, доц. **Г. А. Шароглазова** (Беларусь); канд. тех. наук, доц. **А. В. Шумилов**; д-р физ.-мат. наук, проф. **М. Н. Юдин**

РЕЦЕНЗЕНТЫ: д-р тех. наук, проф., лауреат премии Правительства РФ **В. Н. Конешов** (Институт физики Земли РАН); **В. М. Неганов** (ПАО «Пермнефтегеофизика»)

ISBN 978-5-7944-3191-9

© ПГНИУ, 2019

ISBN 978-5-7944-3371-5 (вып. 2 (7))

На лицевой стороне обложки: заведующие кафедрой геофизики А. К. Маловичко (1954–1989) и Р. П. Савелов (1989–1995)

На обратной стороне обложки: коллектив кафедры геофизики ПГНИУ и юбиляры кафедры

3 *Goodfellow W. D., Lydon J. W.* Sedimentary exhalative (SEDEX) deposits // Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods / Geol. Ass. of Canada, Mineral Deposits Division. [S. l.], 2007, pp. 163–183.

REFERENCES

1. *Makeev S. M.* Reshenie dvukh zadach geodinamiki gravistrukturnym metodom [The solution of two problems of geodynamics by the gravistructural method]. *Geologiya i mineralno-syryevye resursy Sibiri*, 2016 (4), pp. 63–74. (In Russian).

2. *Migursky A. V., Noskova E. S.* Geodinamika formirovaniya Nizhneangarskoy zony neftenakopleniya na yugo-zapade Sibirskoy platform [Geodynamics of the formation of the Lower Angara oil accumulation zone in the southwest of the Siberian Platform]. *Geologiya nefti i gaza*, 4-2007, electronic resource <http://www.vipstd.ru/gim/content/view/484/77/>. (In Russian).

3. *Goodfellow W. D., Lydon J. W.* Sedimentary exhalative (SEDEX) deposits. In: Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods. Geol. Ass. of Canada, Mineral Deposits Division. [S. l.], 2007, pp. 163–183.

УДК 528.22.551.24(075.8)

К. И. Маркович

Полоцкий государственный университет. 211440, Беларусь,
г. Новополоцк, ул. Блохина, д. 29;
e-mail: markovich.kirill@mail.ru

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ КАРТЫ СКОРОСТЕЙ СОВРЕМЕННЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ ПО ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ, ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИМ И СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Аннотация. Представлен алгоритм построения карты скоростей современных вертикальных движений земной коры, учитывающий комплексную природу геодинамических процессов, сопровождающуюся деформациями земной коры, изменением геофизических полей, корреляцией с рельефом и внутренним строением Земли.

Ключевые слова: современные вертикальные движения земной коры, корреляционные связи, гравитационные и магнитные аномалии, мощность земной коры, рельеф дневной поверхности, геологическое строение земной коры.

**ALGORITHM FOR CONSTRUCTING A VELOCITY MAP
OF MODERN VERTICAL MOVEMENTS OF THE EARTH'S
CRUST BY GEODESIC, GEOLOGICAL-GEOPHYSICAL
AND SEISMOLOGICAL DATA**

***Abstract.** The paper presents an algorithm for constructing a velocity map of modern vertical movements of the earth's crust. This algorithm takes into account the complex nature of geodynamic processes, which is accompanied by deformation of the earth's crust, changes in geophysical fields, correlation with the relief and internal structure of the Earth.*

***Key words:** modern vertical movements of the earth's crust, correlations, gravitational and magnetic anomalies, thickness of the earth's crust, surface relief, geological structure of the earth's crust.*

В данной статье представлены результаты исследования по совершенствованию алгоритма построения карты скоростей современных вертикальных движений земной коры с использованием подхода профессора Г. И. Каратаева [1], базирующегося на разработках в области математического моделирования геолого-геофизических явлений и связанного с аксиоматической корреляционной моделью прогноза различных параметров земной коры по гравитационным аномалиям. Данный подход впервые применен в настоящей работе для территории Беларуси, но с широким привлечением появившихся в настоящее время моделей Земли, прежде всего, гравитационного поля и рельефа, а также новых геолого-геофизических и сейсмологических данных, современных методов интерполяции.

Теоретической основой прогнозирования являлась методика Г. И. Каратаева. Суть предложенной концепции применительно к установлению эмпирических связей между современными вертикальными движениями земной коры (СВДЗК) и геодезическими, геолого-геофизическими и сейсмологическими данными состоит в следующем. Изучаемая область разбивается на эталонную R^3 (совокупность точек с заданными значениями скоростей СВДЗК – V^3) и прогнозную R^K (совокупность точек, в которых требуется найти возможные значения скоростей СВДЗК V^K) области. На всей исследуемой области задаются геодезические, геолого-геофизические и сейсмологические данные g_i ,

по которым предполагается прогноз V^K . Постулируются следующие положения [1]:

1. Если коэффициенты A_1 и A_2 формулы связи между V_1 и g_1 двух различных областей найдены и применение A_2 на первой области, а A_1 на второй дает значение скоростей, близкие к заданным, то коэффициенты считаются совпадающими, т.е. выполняется условие

$$V_1 - A_2 g_1 \leq \varepsilon_0, \quad V_2 - A_1 g_2 \leq \varepsilon_0, \quad (1)$$

где $A_1 g_1$ – операция прогнозирования, ε_0 – точность прогнозирования.

2. Задается система правил классификаций изучаемой территории со все увеличивающимся числом классов ($C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$) по геолого-геофизическим признакам (правила разбиения территории).

На основании этих постулатов строится схема прогноза. Необходимым условием является нахождение коэффициентов связи A_1 между V^3 и g^3

$$V^3 - A_1 g^3 \leq \varepsilon_0 - \text{связь найдена.} \quad (2)$$

При условии возможности использования коэффициентов A_1 осуществляется прогноз в области R^K . В противном случае в геолого-геофизическом отношении прогнозная точка значительно отличается от эталонной области и необходимо выполнить разбиение исследуемой области согласно второй классификации C_2 . При этом предполагается, что неизвестный фактор в каждом классе C_2 действует постоянно и изменяется между классами.

Придерживаясь полной комплексности подхода и исходя из отсутствия подобного рода исследований, в работе выполнен поиск корреляционных связей скоростей СВДЗК Беларуси со следующими параметрами: 1) рельеф дневной поверхности h (по данным глобальной цифровой модели рельефа ETOPO1 [2]); 2) аномалии ускорения силы тяжести в свободном воздухе $\Delta g_{CB.B}$ и в редукции Буге $\Delta g_{БУГЕ}$ (по данным глобальной гравитационной модели Земли GECO [3]); 3) магнитные аномалии ΔT согласно «Карты магнитных аномалий Беларуси» (по Г. И. Каратаеву, Ж. П. Хотько, Б. В. Бондаренко и др.) [4]; 4) мощность земной коры $H_{МОХО}$ по «Карте мощности земной коры на территории Беларуси», составленной Р. Г. Гарецким [4]; 5) тектоническое районирование G согласно «Карты тектонического районирования Беларуси» (по Р. Г. Гарецкому, Р. Е. Айзбергу) [5].

Общий вид уравнения, связывающего скорости СВДЗК с перечисленными параметрами, имеет следующий вид:

$$V = f(h, \Delta g, \Delta T, H_{\text{МОХО}}, G), \quad (3)$$

где G – данные о геологическом строении земной коры, которые могут быть представлены в виде классификаций: C_1, C_2, \dots, C_Φ .

В качестве эталонных значений скоростей СВДЗК для поиска корреляционных связей использовались скорости реперов «Карты современных вертикальных движений земной коры по геодезическим данным на территорию СССР масштаба 1:5 000 000» 1988 г., расположенных на карте на линиях нивелирования I и II классов.

Отсутствие какой-либо значимой связи между перечисленными параметрами в целом для всей территории Беларуси в C_1 -классификации послужило основанием для разделения исследуемой территории на основании «Карты тектонического районирования Беларуси» на классы (C_2 -классификация): Оршанская впадина, Припятский прогиб, Полесская седловина, Подляско-Брестская впадина, Белорусская антеклиза.

Нахождение вида уравнения регрессии в каждом классе осуществлялось методом подбора на основе анализа построенных для каждой отдельной структуры корреляционных графиков, характеризующих связи скоростей СВДЗК с представленными выше параметрами. Использование различных видов функций и детальный анализ графиков корреляции скоростей СВДЗК для всех перечисленных выше структур C_2 -классификации показали, что связь V с $\Delta g, H_{MOXO}, \Delta T, h$ должна быть криволинейного типа и наилучшим образом определяется при использовании квадратичной функции вида

$$V = \sum_{j=1}^k (a_j + b_j X + c_j X^2) , \quad (4)$$

где X – один из перечисленных геолого-геофизических параметров; a, b, c – коэффициенты связи геодезических, геолого-геофизических и сейсмологических параметров со скоростью СВДЗК.

Наличие связи между регрессионной моделью и эталонными значениями скоростей определялось при помощи корреляционного соотношения для криволинейной функции. Средняя квадратическая погрешность коэффициента корреляции определялась с использованием формулы В. И. Романовского [6].

Оценка точности полученных регрессионных моделей выполнена по внутренней сходимости модельных скоростей с эталонными скоростями карты СВДЗК СССР, 1988 г.

Найдя по способу наименьших квадратов соответствующие коэффициенты для совместно представленных параметров в моделях (V совместно с $\Delta g, h, H_{MOXO}, \Delta T$) выполнен прогноз скоростей СВДЗК, который представлен в виде модельной карты скоростей (рис. 1).

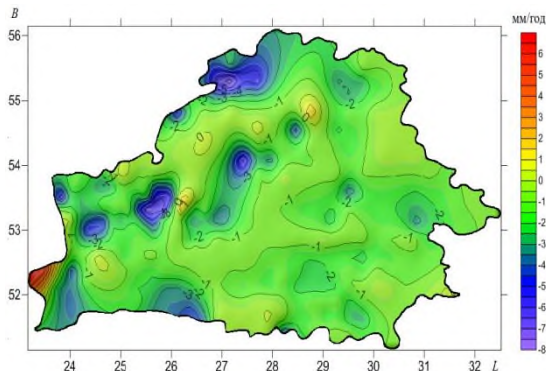


Рис. 1. Модельная карта скоростей СВДЗК

Так как построение модели выполнялось на основании уравнений, относящихся к отдельным тектоническим структурам, для увязки на их границах и интерполирования в областях, где данные отсутствуют, использован «блочный Kriging».

Опираясь на исследования Г. И. Каратаева, А. А. Святогорова, А. Т. Донабетова, Р. Е. Айзберга, А. С. Махнача, можно утверждать, что общей закономерностью для СВДЗК является приуроченность зон высоких градиентов скоростей движений земной коры к тектоническим разломам. На основе анализа градиентов скоростей СВДЗК модельной карты хорошо выделяются Минский, Докшицкий, Чашникский, Полоцкий, Пружанский и Островецкий разломы. Анализ карты СССР (1988 г.) не выявил значительных по величине градиентов скоростей СВДЗК, приуроченных к тектоническим разломам.

Таким образом, можно отметить, что прогнозирование скоростей СВДЗК в пространственном аспекте на территориях, состоящих из разновозрастных и разнотипных геоструктурных элементов должно основываться на установленных закономерностях соотношений и корреляционных связях между современными вертикальными движениями, геофизическими полями, историей развития и различными элементами геологических структур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колмогорова П. П., Каратаев Г. И. Прогнозирование скоростей современных вертикальных движений земной коры с помощью корреляционной модели по статическим геолого-геофизическим данным // Методические вопросы исследования современных движений земной коры, 1975. С. 182–203.

2. ETOPO1 Global Relief Model [Electronic resource]: International Centre for Environmental Information. Mode of access: <https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global>. Date of access: 11.02.2017.
3. Global Gravity Field Models [Electronic resource]: International Centre for Global Earth Models (ICGEM). Mode of access: <http://icgem.gfz-potsdam.de>. Date of access: 06.03.2017.
4. Нацыянальны атлас Беларусі. Мн.: Белкартографія, 2002. 292 с.
5. Тектоника Беларусі / под. ред. Р. Г. Гарецкого. Мн.: Наука и техника, 1976. 200 с.
6. Булатов В. В. Глубинная геомеханика. М.: Недра, 1990. 263 с.

REFERENCES

1. *Kolmogorova P. P. Karataev G. I.* Prognozirovaniye skorostey sovremennykh vertikalnykh dvizheniy zemnoy kory s pomoshchyu korrelyatsionnoy modeli po staticheskim geologo-geofizicheskim dannym [Prediction of the speeds of modern vertical movements of the earth's crust using a correlation model based on static geological and geophysical data]. Metodicheskiye voprosy issledovaniya sovremennykh dvizheniy zemnoy kory, 1975, pp. 182–203. (In Russian).
2. ETOPO1 Global Relief Model [Electronic resource]: International Centre for Environmental Information. Mode of access: <https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global>. Date of access: 11.02.2017.
3. *Global Gravity Field Models* [Electronic resource]: International Centre for Global Earth Models (ICGEM). Mode of access: <http://icgem.gfz-potsdam.de>. Date of access: 06.03.2017.
4. *National Atlas of Belarus*. Minsk: Belkartografiya, 2002. 292 p.
5. *Garetskiy R. G.* Tektonika Belarusi [Tectonics of Belarus]. Minsk: Science and technology, 1976. 200 p. (In Russian).
6. *Bulatov V. V.* Glubinnaya geomekhanika [Deep geomechanics]. Moscow: Nedra, 1990. 263 p. (In Russian).