КОМПЛЕКСНЫЙ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ МОРФОСТРУКТУР ЦЕНТРАЛЬНОГО ТИПА И ИХ СВЯЗЬ С МЕСТОРОЖДЕНИЯМИ НЕФТИ И ГАЗА

А. Л. Харитонов

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова РАН, Москва
ahariton@izmiran.ru

Усовершенствование методики поисков месторождений нефти и газа по комплексу данных измерений различных физических полей и геолого-геофизической интерпретации результатов анализа информации, полученной из карт морфоструктур центрального типа, показывает определенную взаимосвязь расположения месторождений различных типов углеводородов (газ, нефть) и морфоструктур центрального типа (МСЦТ). В работе использовался целый комплекс различных методов исследования: выполнен взаимный корреляционный анализ измерений магнитного, гравитационного полей и значений теплового потока, проанализированы геологические и тектонические особенности пространственного и глубинного строения морфоструктур центрального типа.

Ключевые слова: морфоструктуры центрального типа, магнитное поле, гравитационное поле, тепловой поток, нефтегазовые месторождения.

COMPLEX GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL ANALYSIS OF SOME MORPHOLOGICAL STRUCTURES OF THE CENTRAL TYPE AND THEIR CONNECTION WITH OIL AND GAS FIELDS

A. L. Kharitonov

Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation,
Russian Academy of Sciences, Moscow
ahariton@izmiran.ru

The purpose of this paper is related to the improvement of the technique of oil and gas deposits prospecting on the complex of data of measurements of various physical fields and geological and geophysical interpretation of the results of analysis of information obtained from maps of morphological structures of the Central type. The article shows a correlation between the location of deposits of different types of hydrocarbons (gas, oil) and the morphological structures of the central type (MSCT). In the work the whole complex of various methods of research was used: the mutual correlation analysis of measurements of magnetic, gravitational fields and heat flux values, geological and tectonic features of the spatial and deep structure of morphological structures of the central type.

Keywords: morphological structures of Central type, magnetic, gravity fields, heat flow, oil-gas fields.

Введение

По теоретическим предположениям, высказанным в работах [1, 2], автором была изучена взаимосвязь расположения месторождений углеводородов и морфоструктур центрального типа. Актуальность проведенных исследований связана с разработкой методики поисков месторождений нефти и газа по данным геолого-геофизической интерпретации космических снимков или уже построенных для территории Российской Федерации подробных карт морфоструктур центрального типа.

Рассмотрим возможные природные механизмы образования морфоструктур центрального типа. По результатам геологической интерпретации различных физических полей (магнитного, гравитационного, теплового) глубинное строение многих крупных морфоструктур центрального типа, как будет показано ниже, часто определяется термомагматическими плюмами [1, 5, 11]. Хорошо известно [5, 6], что на ранней стадии эволюционного формирования Земли произошло образование древнейших морфоструктур центрального типа — нуклеаров, проявляющихся на поверхности Земли в виде огромных кольцевых валлообразных структур. Большинство гигантских (тысячи километров в диаметре) морфоструктур центрального типа образовалось в результате возникновения мантийных термомагматических плюмов и суперплюмов, внедрившихся в земную кору из мантии в нуклеарный геохронологический период эволюции Земли.

Методы и подходы

Для выявления морфоструктур центрального типа в пределах территории Российской Федерации помимо материалов дешифрирования космических снимков [3] были использованы измерения магнитного [9], гравитационного [12] полей и теплового потока [4], а также некоторые другие геолого-геофизические данные [4, 8]. Для их обработки были применены методы взаимного корреляционного анализа [10].

Результаты выделения морфоструктур центрального типа

По данным дешифрирования космических снимков поверхности рельефа на территории Российской Федерации (РФ) различными авторами [5, 6] было выявлено множество морфоструктур центрального типа (МСЦТ) разного вида и размера (от нескольких сотен метров до нескольких тысяч километров) (рис. 1).

Большинство этих морфоструктур центрального типа возникло в разные периоды в процессе геологической эволюции Земли. МСЦТ на территории Российской Федерации имеют различный геологический возраст и глубину очагов, разные виды физических механизмов образования, определяющих их морфологические поверхностные и глубинные особенности, а также пространственные размеры. Известно [5], что имеется несколько физических механизмов образования морфоструктур центрального типа: магматический (плюм-магматический, магмовулканический, грязевулканический), метеоритный, дегаза-

Рис. 1. Фрагмент карты морфоструктур центрального типа, расположенных на территории Западно-Сибирской и Восточно-Сибирской платформ [3]

Fig. 1. Fragment of the map of morphological structures of the Central type, located on the territory of the West Siberian and East Siberian platform [3]

сионно-взрывной, тектонический (цилиндрические дайки), метаморфический, сейсмический, комплексный. Отмечают разные поверхностные МСЦТ на территории Российской Федерации: кольцевые куполообразные, спиралевидные и конусообразные (чашеобразные).

Анализ расположения различных МСЦТ и месторождений углеводородов

К морфоструктурам центрального типа 3-го и 4-го порядков на территории Российской Федерации можно отнести Калининградскую, Балтийскую, Московскую, Прикаспийскую, Обскую и другие (200—1400 км в диаметре). Результаты наших исследований [10—12] подтверждаются тем, что в пределах многих из этих МСЦТ (Калининградская, Прикаспийская, Обская) найдены большие месторождения различных углеводородов.

Глубинные морфологические особенности плюм-магматических МСЦТ в общем виде можно представить следующим образом (рис. 2).

В недрах Земли в результате продвижения от мантии к поверхности магматических образований, так называемых термомагматических плюмов [1, 5], образуются усеченные воронкообразные (или чашеобразные) глубинные структуры, по граничным (кольцевым) зонам которых в результате периодических процессов глубинной дегазации Земли винтообразно продвигаются к поверхности газотермальные и гидротермальные потоки [2].

Геолого-геофизическая интерпретация данных

Рассмотрим подробно тектоническое строение некоторых морфоструктур центрального типа, расположенных на территории Российской Федерации, выявленных по комплексу различных геолого-геофизических данных и данных дешифрирования космических снимков, приведенных на рис. 1 и 3.

На Западно-Сибирской платформе (ЗСП) кроме Обской МСЦТ имеются и дочерние морфоструктуры центрального типа меньшего порядка, которые образуются в бортовых зонах МСЦТ 3-го порядка. В качестве примера можно привести такие дочерние морфоструктуры 4-го и 5-го порядков (рис. 3, А), как Ямало-Ненецкая, Гыданская (на севере от основной Обской) и Сосьвинская (на западе). На схеме дешифрирования космического снимка (рис. 3, А) отчетливо выделяются кольцевые структуры меньших порядков вдоль краевого шва Обской МСЦТ. Эти кольцевые структуры обусловлены в основном гранито-гнейсовыми образованиями фундамента. На северном обрамлении Западно-Сибирской плиты, в низовьях Оби, отчетливо выделяется региональная кольцевая Обская морфоструктура центрального типа 3-го порядка диаметром около 1400 км.

По результатам комплексных геолого-геофизических исследований [10—11] с использованием карт [4, 9, 12] и данных дешифрирования космических снимков [3] был построен схематический глубинный разрез земной коры, пересекающий Обскую МСЦТ (рис. 3, В).

Рис. 2. Схематический глубинный разрез строения плюм-магматических морфоструктур центрального типа [11]: 1 — породы осадочного слоя земной коры; 2 — породы складчатого основания осадочного слоя земной коры; 3 — раздробленные породы на границе гранитного слоя земной коры; 4 — раздробленные породы на границе базальтового слоя земной коры; 5 — породы литосферного слоя мантии Земли; 6 — залежи жидких УВ на пересечении субгоризонтальных границ физических слоев Земли и субвертикальных границ МСЦТ; 7 — залежи газожидких полезных ископаемых на пересечении субгоризонтальных границ физических слоев Земли и субвертикальных границ МСЦТ; 8 — границы, разделяющие физические слои земной коры; 9 — граница Моховичича; 10 — направление субвертикального потока теплопереноса вещества (УВ флюидов) к поверхности Земли

Fig. 2. Schematic deep section of the structure and plume-magmatic morphological structures of the Central type [11]. 1 — rocks sedimentary layers of the Earth's crust; 2 — rocks of the folded base of sedimentary layers of the Earth's crust; 3 — shattered rocks on the border of the granite layer of the Earth's crust; 4 — crushed rock on the boundary of the basaltic layer of the Earth's crust; 5 — rocks of the lithospheric layer of the Earth mantle; 6 — deposits of liquid hydrocarbons at the intersection of sub-horizontal boundaries of the physical layers of the Earth and subvertical boundaries MTC; 7 — deposits of gas-fluid minerals at the intersection of sub-horizontal boundaries of the physical layers of the Earth and the subvertical boundaries of MTC; 8 — the boundaries separating the physical layers of the Earth's crust; 9 — the border of Mohorovichich; 10 — the direction of the subvertical flow of heat and mass transfer of matter (and C-H fluids) to the Earth's surface

Имеются и другие данные глубинных разрезов литосферы через территорию Обской МСЦТ [7], подтверждающие наши исследования о глубинных «корнях» Обской МСЦТ, находящихся ниже 150 километров (рис. 4).

На рис. 5 показано расположение крупных месторождений нефти и газа в пределах Обской МСЦТ и ее дочерних морфоструктур.

Рис. 3. Глубинное геолого-геофизическое строение земной коры под Обской морфоструктурой центрального типа [11]: А — схема геолого-геофизического строения Обской МСЦТ: 1 — оси высокой проницаемости земной коры; 2 — безамплитудные тектонические разломы и уступы, выраженные в рельефе земной поверхности; 3 — контуры брахиформных поднятий и структур центрального типа меньшего порядка; 4 — глубинные литосферные разломы; 5 — триасовые палеорифтовые системы; 6 — уступы поверхности Мохоровичича; 7 — блоки земной коры с наименьшей мощностью; 8 — изодинамы отрицательных значений аномального магнитного поля; 9 — изодинамы нулевых значений аномального магнитного поля; 10 — линия прохождения корреляционного профиля и геолого-геофизического разреза; В — разрез глубинного строения земной коры Обской МСЦТ: 11 — осадочные формации чехла Западно-Сибирской плиты (ЗСП), 12 — формационные комплексы герцинид ЗСП, 13 — структурно-вещественные комплексы байкалит ЗСП по геолого-геофизическим данным, 14 — области распространения глубинных горизонтов коры ЗСП, 15 — верхняя мантия, 16 — зоны повышенной проницаемости земной коры, 17 — мантийные и коровые диапиры, 18 — краевые швы ЗСП, dQ — аномальные значения теплового потока из недр Земли, dg — значения аномалий гравитационного поля Земли, Q_{ср} — усредненные значения теплового потока из недр Земли

Fig. 3. Deep geological-geophysical structure of the crust beneath the Ob morphological structure of the Central type and the diagram of the structure of the Ob MSCT [11]: A — scheme of geological and geophysical structure of the Ob MSCT: 1 — axis high permeability of the earth's crust; 2 — no-amplitude tectonic faults and scarps expressed in the Earth's topography; 3 — contours brake force elevations and structures of the Central type of a smaller order; 4 — the deep lithospheric faults; 5 — Triassic paleo-rift system; 6 — ledges of Mohorovichich's surface; 7 — blocks of the crust with the lowest capacity; 8 — isodynamic negative values of the magnetic anomaly field; 9 — isodynamic zero values of the magnetic anomaly field; 10 — line passage of the correlation profile and geological section; B — cross-section of the deep structure of the crust of the Ob MSCT: 11 — formation of sedimentary cover of the West Siberian plate (WSP), 12 — formational complexes of rocks of Hercinian orogenic period of the WSP, 13 — structural-material complexes of rocks of Baykalian orogenic period of the WSP on geological and geophysical data, 14 — distribution of the deep levels of the crust of the WSP, 15 — upper mantle, 16 — zones of increased permeability of the crust, 17 — mantle and crustal diapirs, 18 — regional seams of WSP, dQ — anomalous values of heat flux from the earth's interior, dg — values of anomalies of the gravitational field of the Earth, Q_{SR} — averaged values of heat flux from the earth's interior

Рис. 4. Плотностной разрез литосферы Обской МСЦТ по региональному профилю, пересекающему территорию Западно-Сибирской плиты [7]

Fig. 4. Density section of the lithosphere of the Ob MSCT on the regional profile crossing the territory of the West Siberian plate [7]

Результаты и обсуждение

В построенном геолого-геофизическом разрезе, пересекающем Обскую морфоструктуру центрального типа (рис. 3, В), можно видеть, что на границе Мохоровичича имеется поднятие мантии амплитудой около 5 км. При этом комплексы глубинных горизонтов земной коры (14) значительно сокращены и образуют своеобразную воронку. Между горизонтами пород осадочного чехла в центре Обской МСЦТ расположена линза пород байкальского возраста (13). Кольцевая структура, ооконтуривающая на поверхности Земли Обскую морфоструктуру центрального типа, вместе с диапировыми структурами в глубине земной коры позволяют наметить субвертикальные глубинные границы этой МСЦТ. Как мож-

Рис. 5. Схема расположения основных нефтегазовых месторождений Западной Сибири в пределах Обской морфоструктуры центрального типа [8] (окружность синего цвета): 1 — границы нефтегазоносного бассейна; 2 — границы Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции; 3 — зоны нефтегазоаккумуляции, входящие в объединенные нефтегазоносные области: I — Приуральская, II — Фроловская, III — Каймысовская, IV — Среднеобская, V — Васюганская, VI — Пайдугинская, VII — Надым-Пурская, VIII — Пур-Тазовская, IX — Южно-Ямальная; 4 — границы нефтегазоносных районов; 5 — номера зон нефтегазоаккумуляции; 6 — нефтегазовые месторождения; 7 — месторождения нефти; 8 — месторождения газа; 9, 10 — частично заполненные газоперспективные структуры; 11 — заполненные нефтеперспективные структуры; 12 — частично заполненные нефтеперспективные структуры; 13 — пустые структуры; 14 — месторождения нефти и битума; 15 — месторождения газа и битума; 16 — месторождения битума; 17 — «пустые» битумоперспективные структуры; 18 — частично заполненные нефтью битумоперспективные структуры; 19 — частично заполненные газом битумоперспективные структуры; 20, 21 — нефтегазоконденсатные месторождения

Fig. 5. The scheme of location of the main oil and gas fields in Western Siberia within the limits of the Ob morphological structure of the Central type [8] (blue circle): 1 — boundary of basin; 2 — boundary of the West Siberian petroleum province; 3 — number of zones of oil and gas entering into joint oil and gas field: I — Ural, II — Frolovsky, III — Caymisovsky, IV — Middle Obsky, V — Vasyugan, VI — Paydugin, VII — Nadym-Pursky, VIII — Pur-Tazovsky, IX — South-Yamal; 4 — border petroleum provinces; 5 — zones of oil-gas accumulation; 6 — oil and gas field; 7 — oil fields; 8 — deposits of gas; 9 and 10 partially filled gas perspective structure; 11 — oil-filled structure; 12 — partially completed structures prospective for oil; 13 — empty structure; 14 — oil and bitumen; 15 — deposits of gas and bitumen; 16 — deposits of bitumen; 17 — «empty» bitumen perspective structure; 18 — bitumen perspective structure partially filled with oil; 19 — bitumen perspective structure partially gas filled; 20, 21 — oil and gas condensate field

но видеть по графику аномальных значений теплового потока (dQ), поступающего из недр Земли, кольцевая структура аномального теплового потока смещена на запад и восток относительно центра Обской морфоструктуры центрального типа, то есть в бортовые зоны МСЦТ, где расположены мантийные диапиры. Это говорит о том, что тепловой поток распространяется в соответствии с направлением более глубокой, чем земная кора, «корневой» мантийной структуры центрального типа и подтверждается данными работы [7] (рис. 4). Кроме того, хорошо видно, что географическое расположение Обской МСЦТ (кольцевая структура, изображенная на рис. 3, совпадает с расположением наиболее продуктивной части Западно-Сибирской нефтегазовой провинции, круговые границы которой оконтурены на схеме (рис. 5). Анализ физических полей (рис. 3, В), измеренных над Обской МСЦТ, показывает повышенные значения аномалий гравитационного и магнитного полей в центральной части МСЦТ и локальных минимумов в ее периферийных частях. При этом часто фиксируются пониженные значения аномалий теплового потока в центре многих МСЦТ и локальных максимумов в ее бортовых зонах (например, в Прикаспийской МСЦТ).

Поэтому, по нашим данным, более перспективными районами для поиска месторождений углеводородов являются бортовые зоны многих морфоструктур центрального типа (например, Прикаспийская, Новороссийская, Московская) [11]. Однако Обская МСЦТ отличается от многих тем, что высокий тепловой поток распределен почти равномерно по всей ее площади, за исключением небольшой центральной части, где наблюдается пониженный тепловой поток. Это, по-видимому, и влияет на почти повсеместное распространение значительных по запасам месторождений нефти и газа, а не только в бортовых зонах. В отличие от Обской, многие морфоструктуры центрального типа, не имеющие в своих пределах зон с высоким тепловым потоком (например, Анабарская, Алданская, где сейчас начаты геологоразведочные изыскания), по-видимому, будут малоперспективны для поисков месторождений нефти и газа из-за слабого тепломассопереноса углеводородных флюидов из нижележащих слоев земной коры к поверхностным осадочным слоям аккумуляции залежей газообразных и жидких углеводородов.

Выводы

Построен комплексный геолого-геофизический разрез земной коры, пересекающий Обскую МСЦТ, который подтверждает теоретическое описание глубинного строения морфоструктур центрального типа, образованных мантийными термическими плюм-магматическими структурами (Обский мантийный плюм).

Разработана система прогнозных признаков нефтегазоносности: 1) корреляция крупных морфоструктур центрального типа с ареалом повышенной нефтегазоносности входящих в нее территорий; 2) наличие повышенных значений аномалий гравитационного и магнитного полей и пониженных значений аномалий теплового потока в центральной части (ядре) Обской МСЦТ, которые коррелируют с распо-

ложением очень крупных месторождений углеводородов в этой зоне.

Литература

1. Добрецов Н. Л., Кирдяшкин А. Г., Гладков И. Н. Проблемы глубинной геодинамики и моделирование мантийных плюмов // Геология и геофизика. 1993. Т. 4. № 12. С. 5—24.
2. Валяев Б. М. Нетрадиционные ресурсы и скопления углеводородов: особенности процессов нефтегазоаккумуляции углеводородов // Дегазация Земли и генезис нефтегазовых месторождений (к 100-летию со дня рождения академика П. Н. Кропоткина). М.: ГЕОС, 2011. С. 390—404.
3. Карта морфоструктур центрального типа территории СССР. Масштаб 1:10 000 000 / Под ред. В. В. Соловьева. М.: ГУГК, 1978. 1 лист.
4. Карта теплового потока и глубинных температур территории СССР. Масштаб 1:10 000 000 / Под ред. Я. Б. Смирнова. М.: ГУГК, 1978. 1 лист.
5. Кац Я. Г., Тевелев А. В. и др. Основы космической геологии. М.: Недра, 1988. 200 с.
6. Макаров В. П., Скобелев С. Ф., Трифонов В. Г. и др. Исследование природной среды космическими средствами // Геология и геоморфология. 1974. Т. 2. С. 9—42.
7. Павленкова Н. И., Павленкова Г. А. Строение земной коры и верхней мантии Северной Евразии по данным сейсмического профилирования с ядерными взрывами / Роснедра. ИФЗ РАН, Геокарт. М.: Геокарт-пресс, 2014. 193 с.
8. Порфирьев В. Б. Особенности глубинного строения земной коры и теоретические обоснования неорганического генезиса нефти. Киев: Наукова думка, 1982. 328 с.
9. Схематическая карта аномального магнитного поля (Та) Западно-Сибирской низменности / Под ред. П. А. Кукина. Масштаб 1: 1500000. М.: ГУГК, 1965. 4 л.
10. Харитонов А. Л. Применение элементов корреляционной теории для анализа и интерпретации аномального магнитного поля: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. М.: ИЗМИРАН, 1984. 25 с.
11. Харитонов А. Л. Изучение геолого-геофизического строения некоторых морфоструктур центрального типа, расположенных на территории Восточно-Европейской платформы // Геодинамика, вещество, рудогенез Восточно-Европейской платформы и ее складчатого обрамления: Материалы всероссийской научной конференции с международным участием. Сыктывкар, 2017. С. 229—231.
12. Bouguer gravity anomaly map of Asia. Scale 1: 9 000 000 // Published by the Aeronautical Chart and Information Center US Air Force. 1971. 4 pp.

References

1. Dobretsov N. L., Kiryashkin A. G., Gladkov I. N. *Problemi glubinnoy geodinamiki i modelirovanie mantiynih plumov* (Problems of deep geodynamics and mantle plume modeling). Geology and Geophysics, 1993, V. 4, No. 12, pp. 5—24.
2. Valyaev B. M. *Netraditsionnye resursy i skopleniya uglevodorodov: osobennosti protsessov neftegazonakopleniya uglevodorodov* (Unconventional resources and hydrocarbon accumulations: peculiarities of hydrocarbon oil and gas accumulation processes). In the book. Degassing of the Earth and Genesis of oil and gas deposits (100th Anniversary from the birthday of academician P. N. Kropotkin). Moscow: GEOS, 2011, pp. 390—404.

3. *Karta morfostruktur centralnogo tipa territorii SSSR* (Map of morphological structures of the Central type of the USSR). Scale 1: 10 000 000. Ed. by V.V. Soloviev. Moscow: MDGC, 1978. 1 pp.
4. *Karta teplovogo potoka i glubinnih temperatur* (Map of heat flow and deep temperatures in the USSR). Scale 1: 10000000. Ed. by Ya. B. Smirnov. Moscow: MDGC, 1978, 1 pp.
5. Katz Ya. G., Tevelev A. V., et al. *Osnovy kosmicheskoy geologii*. (Basics of Space Geology). Moscow: Science, 1988, 200 pp.
6. Makarov V. P., Skobelev S. F., Trifonov V. G., et al. *Issledovanie prirodnoy sredy kosmicheskimi sredstvami* (Study the natural environment of space vehicles). Russian Geology and geomorphology, Moscow: Science, 1974, V. 2, pp. 9—42.
7. Pavlenkova N. I., Pavlenkova G. A. *Stroenie kory i verkhney mantii Severnoy Evrazii po dannym seismicheskogo profilirovaniya s yadernymi vzryvami* (The Crust and the Upper Mantle Structure of the Northern Eurasia as Constrained by the Data on Seismic Profiling with Nuclear Explosions), ROSNEDRA, IFZ RAN, GEOKART. Moscow: GEOKART-PRESS, 2014, 105 pp.
8. Porfir'yev V. B. *Osobennosti glubinnogo stroenia zemnoy kory i teoreticheskoe obosnovanie neorganicheskogo genezisa nefiti* (Features of the deep structure of the earth's crust and theoretical justification of the inorganic genesis of oil). Kyiv: Naukova Dumka, 1982, 328 pp.
9. *Skhematicheskaya karta anomal'nogo magnitnogo polya (Ta) Zapadno-Sibirskoy nizmennosti* (Schematic map of the magnetic anomaly field (Ta) of the West Siberian lowland), Ed. by P. A. Kukin, Scale 1: 1 500 000, Moscow: MDGC, 1965, 4 pp.
10. Kharitonov A. L. *Ispolzovanie elementov korrelatsionnoy teorii dlya analiza i interpretatsii anomal'nogo magnitnogo polya* (The use of elements of correlation theory for the analysis and interpretation of magnetic anomaly field). The ref. of the Dissertation on competition of a scientific degree of candidate of phys.-math. sciences. Moscow: IZMIRAN, 1984, 255 pp.
11. Kharitonov A. L. *Izuchenie geologo-geofizicheskogo stroeniya nekotorykh morfostruktur centralnogo tipa, raspolozhennykh na territorii Vostochno-Evropeyskoy platformy* (Study of geological and geophysical structure of some morphological structures of the Central type located in the territory of the East European platform). Proceedings of the all-Russian scientific conference with international participation «Geodynamics, matter, ore genesis of the East European platform and its folded framing». Institute of Geology Komi science centre UB RAS, Syktyvkar, 2017, pp. 229—231.
12. Bouguer Gravity anomaly map of Asia. Scale 1:9000000. Published by the Aeronautical Chart and Information Center US Air Force, 1971, 4 pp.