

HYDROGEOLOGICAL APPROACH TO DISTINGUISHING HYPOGENE SPELEOGENESIS

A.B. Klimchouk

Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine,

E-mail: klim@speleogenesis.info

Doctor of geological sciences, leading scientist, Department of hydrogeological problems.

Defined in the most general way, hypogene speleogenesis is the origin of caves in which the cave-forming agency comes from depth, in contrast to epigene (hypergene) speleogenesis in which the cave-forming agency (meteoric recharge and its inherent or soil-derived aggressiveness) originates at the surface. A more specific definition should rely on attributes of the cave-forming agency which are most suitable and efficient for discrimination between epigene and hypogene origin of caves. Relying on the determination of a source of the aggressiveness in distinguishing hypogene speleogenesis is the legitimate approach (usually referred to as geochemical) but it is not a methodologically sound and practically efficient one. The hydrogeological approach and the reference to upwelling groundwater circulation in the definition of hypogene speleogenesis provide a theoretically and methodologically sound basis not only for its identifying, but also for spatial and temporal prognosis.

Key words: hypogene karst, speleogenesis, karst hydrogeology.

ГІДРОГЕОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО ВИОКРЕМЛЕННЯ ГІПОГЕННОГО СПЕЛЕОГЕНЕЗУ

О.Б. Климчук

Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна,

E-mail: klim@speleogenesis.info

Доктор геологічних наук, провідний науковий співробітник відділу гідрогеологічних проблем.

У найбільш загальному вигляді гіпогенний спелеогенез визначається як формування карстових порожнин під впливом агентів, що походять з глибини, на відміну від епігенного спелеогенезу, в якому порожниноформуючі агенти (метеорне живлення та агресивність вод) походять з поверхні. Більш конкретне визначення повинне ґрунтуватися на ознаках агентів і механізмів порожниноформування, що дозволяють найбільш чітко розрізнити епігенне та гіпогенне походження порожнин. Вказівка на «неповерхневе» походження джерела агресивності в такому розрізненні (геохімічний підхід) є правомірним, але методично і практично неефективним підходом. Гідрогеологічний підхід і застосування критерію висхідного водообміну у визначенні гіпогенного спелеогенезу складають теоретично і методологічно обґрунтовану основу не тільки для його ідентифікації, а й для просторово-часового прогнозування.

Ключові слова: гіпогенний карст, спелеогенез, гідрогеологія карсту.

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ВЫДЕЛЕНИЮ ГИПОГЕННОГО СПЕЛЕОГЕНЕЗА

А.Б. Климчук

*Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина,
E-mail: klim@speleogenesis.info*

Доктор геологических наук, ведущий научный сотрудник отдела гидрогеологических проблем.

В самом общем виде гипогенный спелеогенез определяется как формирование карстовых полостей под воздействием агентов, происходящих из глубины, в отличие от эпигенного спелеогенеза, в котором полостеформирующие агенты (метеорное питание и агрессивность вод) происходят с поверхности. Более конкретное определение должно основываться на признаках агентов и механизмов полостеобразования, позволяющих наиболее четко различать эпигенное и гипогенное происхождение полостей. Указание на «неповерхностное» происхождение источника агрессивности в таком различии (геохимический подход) является правомерным, но методически и практически неэффективным подходом. Гидрогеологический подход и использование критерия восходящего водообмена в определении гипогенного спелеогенеза образуют теоретически и методологически обоснованную основу не только для его идентификации, но и пространственно-временного прогнозирования.

Ключевые слова: гипогенный карст, спелеогенез, гидрогеология карста.

Introduction: Approaches to define hypogene speleogenesis

Advancements in karst and cave science during the past 20-30 years have led to the growing recognition of the possibility, wide occurrence, and practical importance, of conduit porosity development in deep-seated conditions, without direct influence of near-surface factors. Hypogene speleogenesis has become one of the hottest topics in karst and cave science, and the subject draws the increasing attention of other branches of geosciences, as well as of practitioners, particularly in the mineral and hydrocarbon resources exploration and in geological engineering.

However, there are some differences in approaches on how to define hypogene speleogenesis. A.N. Palmer [2000a] defined hypogenic caves as those *formed by water in which the aggressiveness has been produced at depth beneath the surface, independent of surface or soil CO₂ or other near surface acid sources*. This approach emphasizes the source of aggressiveness, and it is termed here “geochemical”.

With the “hydrogeological” approach, hypogene speleogenesis is defined as the *formation of solution-enlarged permeability structures by*

water that recharges the cavernous zone from below, driven by hydrostatic pressure or other sources of energy, independent of recharge from the overlying or immediately adjacent surface [Ford, 2006; Klimchouk, 2007, 2013a]. This definition places an emphasis on the groundwater circulation system (GCS). It directly indicates that hypogene speleogenesis develops by upwelling flow, whereas the geochemical definition does not require this.

Are these approaches contradictory? In my opinion, they are not, although they impose somewhat different perspectives on the subject. Because of this, they determine different sets of speleogenetic environments and different samples of caves to be considered of the hypogene origin. This is a source of confusion and uncertainty that needs to be eliminated.

The aggressiveness of upwelling flow, in most cases, has been produced at depth, independent of near surface processes, and this is what constitutes the large common body of objects, outlined by both definitions. However, in some cases groundwater can keep the original undersaturation (and hence, aggressiveness) from distant recharge areas while moving deep underground along non-soluble aquifers in an artesian system and then ascending in dis-

charge areas through soluble rocks. In such cases, it cannot be said that the aggressiveness has been produced at depth, but the aggressive water does enter the cave-forming zone from below. This situation is especially common of hypogene speleogenesis in evaporites. Moreover, dissolution of evaporates is "*independent of surface or soil CO₂ or other near surface acid sources,*" as well as some other dissolution mechanisms such as dissolution in mixed carbonate/sulfate strata (dedolomitization). In other cases, the aggressiveness can be produced at depth as a result of mixing of two non-aggressive waters of contrasting chemistries along the interface while none of the waters is upwelling. Examples are freshwater lenses over saline water in homogenous eogenetic carbonates in island flank-margin environments, or downward infiltration water mixing with phreatic water at the water table.

Based on the geochemical approach, A.N. Palmer [Palmer, 2007] places the artesian transverse cave development in evaporites into the realm of epigene speleogenesis, whereas cave development due to mixing along hydrochemical interfaces in unconfined aquifers is placed into the hypogene category. Within the hydrogeological approach advocated by the present author, the classifying of speleogenesis in these respective environments is the opposite.

Moving and aggressive groundwater is the principal cave-forming agency. Speleogenesis (karstic) is a coupled mass-transfer / mass transport process, which critically depends on both, the aggressiveness of ground-water and its circulation (movement). This equally applies to epigene and hypogene speleogenesis. Defined in the most general way, hypogene speleogenesis is the origin of caves in which the cave-forming agency comes from depth, in contrast to epigene speleogenesis in which the cave-forming agency (meteoric recharge and its inherent or soil-derived aggressiveness) is originated at the surface.

The question of a more specific definition is not about which of the attributes of groundwater, the aggressiveness or circulation, is more important for speleogenesis. The emphasis on a GCS in the hydrogeological approach does not mean that the importance of the aggressiveness (dissolution) is neglected, as dissolution is inherently implied as the inte-

gral part of the definitions of karst and speleogenesis (karstic). The question is about which of these attributes is most suitable and efficient to discriminate between epigene (hypergene) and hypogene speleogenesis.

It should be remembered that a definition of a natural phenomenon not only classifies a set of respective objects by referring to their most essential common attributes, but it also determines to a large extent methodologies to be implied to identify and study the phenomenon. The latter aspect is particularly important for hypogene speleogenesis, as in most cases we deal with relict caves decoupled from the cave-forming environments. The identification of the cave origin relies on our ability to discern characteristics of the cave-forming environments and processes from studying their indirect indications, preserved after the environments had changed and the original processes ceased, and other processes came to a play. It relies, therefore, on which of the attributes of the cave-forming agency are referred to in a definition as the most essential, and on how they are represented in our study objects.

Aggressiveness

Aggressiveness is an attribute of groundwater that corresponds to a chemical potential for mobilization of a dissolved matter from the rock. It results from disequilibrium in the water-rock system that is created by the groundwater circulation.

It has to be noted that it is the aggressiveness that is an attribute of moving groundwater, but not the opposite. This attribute is the transitional one. It can originate and cease in a given segment of the circulation system, and migrate through the latter with changing intensity and pattern of circulation. Also, the nature of the aggressiveness can change during the evolution of a GCS, and dissolution can proceed through different chemical mechanisms, which are much more varied in hypogene speleogenesis than in the epigene speleogenesis. For a given hypogene cave system, different mechanisms may operate either simultaneously or in a sequence, and it is often difficult to impossible to discern which of them has contributed most to speleogenesis. We normally have limited indications at our disposal to judge about the dissolution

mechanisms that operated in the formation of now relict caves, or about where the aggressiveness has been produced at the time of speleogenesis (although its origin at depth below the cave-forming zone is commonly implied). Mineralogical indications are useful but they rarely tell us about characteristics of principal stages of speleogenesis *per se*. Isotopic and geochemical traces of water-rock interactions in host rocks can be a strong evidence of hypogene speleogenesis [Dublyansky et al., 2014; Spoetl, Dublyansky, 2014], but they are not always present or preserved.

Another fundamental question is whether principal characteristics of caves (their patterns, morphology, functioning, and distribution) are determined by differences in a source of the aggressiveness. In other words, does using a source of the aggressiveness as the main criteria for defining types of speleogenesis give us a useful tool to discern genetically meaningful sets of speleogenetic objects? The answer is yes perhaps only for the epikarstic porosity. It is apparently “no” for karstic porosity that forms in phreatic conditions or in water table settings.

The corollary from the above discussion is that relying on the determination of a source of the aggressiveness in distinguishing hypogene speleogenesis is a legitimate approach, but that it is not a methodologically sound and practically efficient one.

Groundwater circulation

Circulation (movement) is an inherent attribute of groundwater. Both the spatial distribution and efficiency of dissolution are controlled by intensity and a pattern (vector) of the groundwater circulation. The above-mentioned major characteristics of caves (particularly cave patterns and morphology) are determined not only by where the aggressiveness is produced relative to the surface, but also (and primarily) by how dissolution effects are distributed. The latter is dictated largely by the hydrodynamic characteristics of a GCS. Hence, it is the GCS that has to be a primary consideration for discrimination between the types of speleogenesis.

The primacy of the hydrogeological settings of a karst aquifer in determining the cave patterns has been demonstrated well by A.N. Palmer [Palmer, 1991, 2000a]. The loca-

tion and distribution of void-conduit systems and characteristics of their patterns are determined by the overall pattern of GCS, the position of soluble rocks within the GFS framework, and the recharge and discharge conditions. Hence, the differences in origin and the development mechanisms of karstic void-conduit systems (types of speleogenesis) are determined largely by hydrodynamic peculiarities of GCS.

At the broadest scale, two types of GCS are recognized according to hydrodynamics: 1) confined (to a varying degree) stratal and fissure-vein systems, and 2) predominantly unconfined near-surface systems. Accordingly, two fundamental types of speleogenesis can be distinguished: 1) *hypogene speleogenesis* in confined systems, by upwelling circulation across soluble rocks within flow systems driven by external or internal recharge sources, distant or separated by insoluble layers, and 2) *epigene (hypergene) speleogenesis* in hydraulically open settings by downward and lateral circulation from overlying or immediately adjacent recharge surfaces. The differences in hydrodynamics between the respective GCS impose major distinctions in the mechanisms of these types of speleogenesis [Klimchouk, 2013; Климчук, 2013].

Hydrodynamic control on speleogenesis

In unconfined near-surface settings, discharge through conduits is controlled by two conditions [Palmer, 1991]: 1) the hydraulic capacity of conduits (hydraulic control) or, 2) the amount of available recharge from the surface (catchment control). During the early stages of speleogenesis, the positive feedback between discharge and the growth of initial conduits causes their highly competitive and selective development. With the accelerated growth of conduits after breakthrough, they quickly reach dimensions at which the fixed head condition at the recharge boundary cannot be supported any longer so that the initial hydraulic control switches to the catchment control. Further development of conduits is characterized by their competition for the surface recharge, which determines the further increasing selectiveness in the process and close genetic relationship between epigene speleogenesis and karst geomorphogenesis. Hence, in epigene speleogenesis the positive feedback between discharge

and the growth of conduits strongly operates not only during the early speleogenetic stages [Palmer, 1991; Dreybrodt et al., 2005], but also during the mature stage.

In confined and semi-confined settings, where flow is directed transversely across layers and formations, both recharge and discharge of conduits occurs through adjacent insoluble beds (or segments in fissure-vein systems) with a relatively conservative permeability. Discharge in the whole GCS is controlled by the least permeable elements in the cross-section. Before the onset of speleogenesis, such elements are commonly represented by beds of soluble rocks, and discharge through early conduits in them is controlled by their hydraulic capacity. When transverse conduits reach the breakthrough condition, their further growth does not accelerate dramatically, as it occurs in epigene speleogenesis, because the control over discharge switches to the permeability of adjacent or more distant insoluble beds. The switch to the external conservative control over discharge in hypogene speleogenesis subdues the positive feedback loop and the speleogenetic competitiveness. This difference in speleogenetic mechanisms (epigene and hypogene) is one of the fundamental causes of distinctions in structure and morphology between the respective void-conduit systems. Another fundamental cause is the difference in the vector of groundwater circulation, which is explored below.

Upwelling circulation

The hydrogeological definition of hypogene speleogenesis directly relates it with the upwelling groundwater circulation. Even in relict systems, the past presence of the upwelling circulation can be recognized in most cases from the morphogenetic analysis of caves and paleohydrogeological analysis. The locations, in which upward flow is (or was) dominating, are 1) mappable from hydrogeological data, at least in basinal settings, and 2) predictable from regional hydrogeological analysis (for actual GCS) and paleohydrogeological/paleogeodynamic analysis (for past GCS). Hence, the reference to this attribute in the definition provides a methodologically feasible basis not only for identifying the type of speleogenesis, but also for spatial and temporal prognosis of hypogene speleogenesis.

The immanent link of hypogene speleogenesis with upwelling flow is suggested by vast empirical evidence and justified theoretically. The upward circulation dominates in the lower stories of the geohydrosphere because of the presence of internal recharge sources, the ultimate openness of circulation systems at the upper hydraulic boundary, and overall decrease of pressure toward the surface. During the geostatic and endogenous stages of the basin development the upwelling circulation may encompass the most of the sedimentary cover. The upward branch is also an important component of the circulation in the upper part of the geohydrosphere, in the domain of the hydrostatic (meteoric) regime, where the overall circulation is determined by the balance between the downward and upward branches.

Modern hydrogeology acknowledges an immense importance of the vertical hydraulic communication (leakage) across low-permeability layers separating aquifers in meteoric GCS [Шестопалов, 1981; Mjatiev, 1947; Hantush, Jacob, 1955; Toth, 1995]. Such communication in the meteoric regime is directed downward beneath highlands and upward below topographic depressions. The upward flow below topographic depressions is traced up to depths of 1-1.5 km, and it is generally more intense and localized than the downward flow beneath highlands at compatible depths [Шестопалов, 1981].

The most fundamental reason why hypogene speleogenesis is linked with upward circulation, but not with the downward circulation, lays in the speleogenetic mechanism. As noted above, the overall vertical permeability of the heterogeneous successions is determined by the least permeable intervals. In the areas of upward circulation, initial speleogenesis in soluble beds increases their permeability. This, in turn, steepens the hydraulic gradient across the upper insoluble confining unit and hence, the overall discharge in the system (Fig. 1). This re-activates the positive feedback loop and stimulates further development of transverse conduit. The gradient and discharge further increase with continued erosional entrenchment into to the upper confining unit. In contrast, in the areas of more diffuse downward circulation, hydraulic resistance to flow increases with depth. Moreover, possibilities for

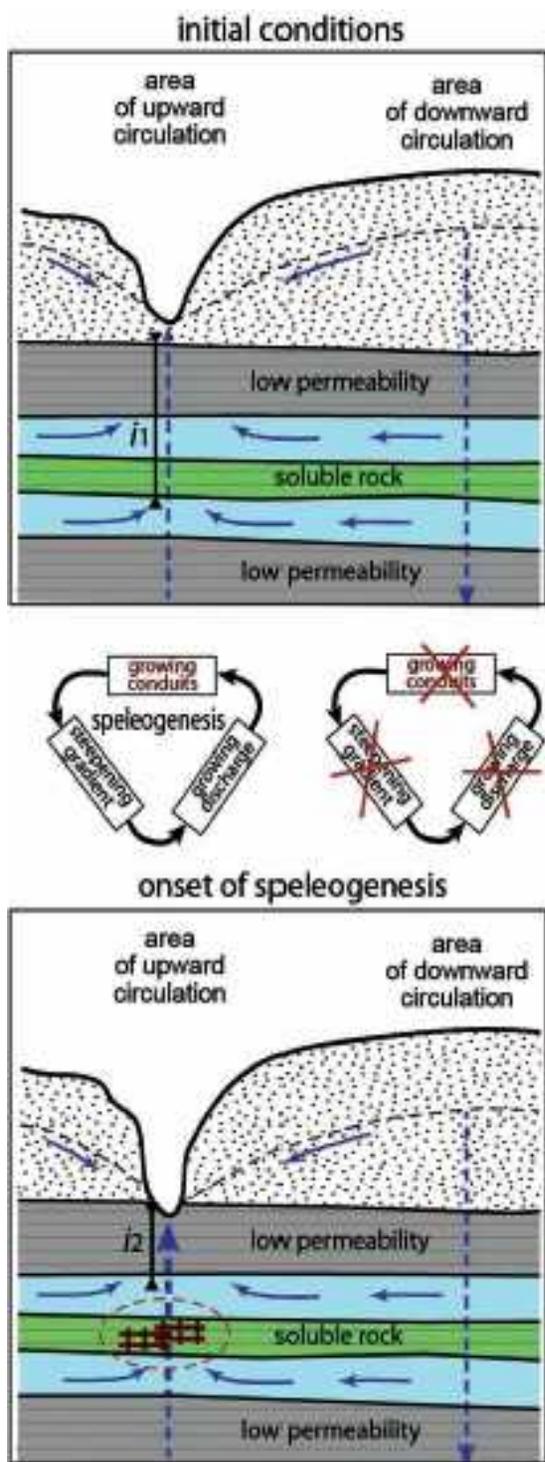


Fig. 1. A conceptual illustration of speleogenetic potentials in the areas of upward and downward circulation in a layered aquifer system:

i_1 – vertical hydraulic gradient for the lower confined aquifer; i_2 – vertical hydraulic gradient (much steeper) for the integrated aquifer system after onset of speleogenesis in the separating bed

internal discharge are limited. This prevents an increase in the circulation intensity and inhibits the mechanism of speleogenesis (Fig. 1). Similar arguments can be used for vertical flow in a cross-formational fracture-vein structure that crosses rocks of variable lithologies including soluble ones.

Another important peculiarity of confined (semi-confined) hydrogeological environments is their slow fluid dynamics as compared to unconfined settings, which favors to the natural convection circulation at the conduit (void) scale. Effects of the buoyancy circulation are commonly well expressed in cave morphology [Klimchouk, 2007, 2009]. Dissolution effects of the buoyancy circulation are linked, again, with the upwelling limbs of convection cells but not with the plunging ones.

Groundwater regimes

The overall circulation regime of a groundwater system is determined by the nature and magnitude of fluid pressure and by the degree of hydrodynamic confinement of the GCS. Different types of circulation regimes are distinguished in the literature.

In subsiding basins the dominant flow drive in progressively buried strata is compaction due to the increasing load, which causes expulsion of the pore waters from the sediments. This is the geostatic regime, also termed expulsion regime (in the Western literature), or elision or exfiltration regime (in the East European literature). Flow in such systems is directed upward, and on the regional scale – from areas of greatest subsidence to the margins of basins. The expulsion GCS are unlikely to play a role in hypogene speleogenesis.

With still deeper burial and further rise of temperature and lithostatic load, the thermobaric regime develops in which the fluid pressures are caused by the thermal expansion of water or by the release of water by mineral dehydration in a low-permeability environment. The compression regime can be generated by a tectonic strain in the vicinity of collision and uplift areas. In the East European literature these two regimes are commonly combined into the endogenous regime, which also includes localized intrusions of fluids into the sedimentary cover from the lower crust and the upper mantle. The upward migration of en-

ogenous fluids is considered to be the main cause for hydrogeochemical inversions and a phenomenon of the column-like desalinization observed in the lower parts of the sedimentary cover in many basins [Ежов, 1978; Лукин, 2004]. The upward flow overwhelmingly dominates in the endogenous regime. The endogenous GCS, characterized by high temperatures and pressures, are believed to be very potent to support hypogene speleogenesis in a variety of rocks [Dublyansky, 2000; Andreychouk et al., 2009; Klimchouk, 2012].

The free convection regime may develop in some settings, especially in the vicinity of hydrothermal anomalies and in strata comprising evaporites, driven by density differences. The upwelling limbs of convection GCS are capable of supporting hypogene speleogenesis, especially in evaporites.

Following uplift and continental exposure, the hydrostatic regime evolves, driven by topography differences. It is also termed the meteoric regime (in the Western literature) and the infiltration regime (in the East European literature). With the continuing exposure and geomorphic development, meteoric waters increasingly flush out the formation waters from basins so that the hydrostatic regime substitutes the geostatic regime in the upper part of the crust, although the latter may still predominate in deep environments.

Interaction between groundwater systems of different regimes

The meteoric regime is perched on ubiquitously upwelling waters of the geostatic and endogenous regime, commonly over pressured (the fluid pressure exceeds the normal hydrostatic one). Zones of interaction between GCS of different regimes, either crosscutting or lateral, are particularly favorable for hypogene speleogenesis in carbonate rocks because mixing of waters differing in CO₂ or H₂S content or salinity generates aggressiveness. Hypogene speleogenesis is commonly a part of mixed flow systems, where topography-driven flow interacts with the deeper compaction- or density-driven regimes or rising flows of endogenous waters. The nature and the geometry of the transition between the different regimes are controlled by respective fluid potentials and geological heterogeneities, especially sedimentary windows and conductive

faults. The vertical boundaries may be blurred, but they are more distinct when they coincide with low-permeability strata of a regional extent. With the onset of uplift and denudation in the course of geological evolution, the deeper strata may migrate upward relative to these boundaries, and the nature and geometry of the transition adjusts to the structure of uplifting strata and changing potentials of the interacting regimes.

Hypogene speleogenesis from the perspectives of regional hydrogeological analysis

As noted above, the association with the upwelling circulation suggests the possibility of discerning regularities of development and distribution of hypogene speleogenesis from the perspectives of the regional hydrogeological analysis.

In basinal settings, the pattern of the meteoric circulation is controlled by a basin's geometry and relief, by geological inhomogeneities that determine permeability distribution, and by interaction with deeper GCS of the geostatic and endogenous regimes, which may pierce through the domain of the hydrostatic regime. In mature artesian basins of the cratonic type, settings favorable for the upward flow and hypogene speleogenesis, are as follows [Климчук, 2013]:

- 1) marginal areas of discharge of groundwaters of the 2nd hydrogeological story (HG-story);
- 2) zones of topography-controlled upward circulation within the internal basin area (at the 1st and, in places, at the 2nd HG-stories);
- 3) crests of anticlinal folds or uplifted tectonic blocs within the internal basin area where the upper regional aquitard is thinned or partially breached;
- 4) linear-local zones of deep-rooted cross-formational faults conducting upward flow from internal deep sources across the upper HG-stories.

Hydrodynamics in the 3rd and 4th HG-stories in the cratonic basins is dominated by the upward circulation (geostatic or endogenous regimes) strongly controlled by (localized along) cross-formational tectonic structures.

Specific circulation patterns develop in large Cenozoic carbonate platforms (the Florida-type), side-open to the ocean, where

upward flow across stratified sequences in the coastal parts, driven by both topography-induced head gradients and density gradients, involves mixing with seawater. At deeper levels, the seawater can be drawn into a platform along permeable horizons and rise in the platform interior due to geothermal heating (the Kohout's scheme), interacting with upper freshwater aquifers.

In young basins where the geostatic regime dominates, hypogene speleogenesis is favored at the marginal discharge areas where circulation systems of different origins and regimes may interact, for instance meteoric systems circulating from the adjacent uplifted massifs, basal fluids expelled from the basin's interiors, and endogenous fluids rising along deep-rooted faults.

The predictability of the distribution of areas of the upwelling flow in tectonically deformed mountainous regions is significantly lower than in cratonic basins because of the complexity and variability of geological and structural conditions, relief, and a geodynamic history in such regions [Климчук, 2013]. Massifs in the folded regions are characterized by dominance of fracture-vein groundwater systems, although sequences of the upper structural story often host stratal aquifer systems. Upward flow and hypogene speleogenesis in massifs are tightly controlled by faults, especially by those at junctions between large tectonic structures and structural stories, and by the geodynamic evolution. Specific and very favorable settings for hypogene speleogenesis are found in regions of young volcanism and hydrothermal activity.

Hypogene speleogenesis may also occur in deep oceanic settings, especially in regions associated with plate boundaries and hot spots. An outstanding example is represented by extensive fields of large-scale depressions in the Mio-Pliocene carbonate blanket at depth of 1500-2600 m in the volcanic Carnegie Ridge, located within the Galapagos hotspot in the Pacific Ocean, recently documented by high-resolution multibeam bathymetry [Michaud et al., 2005], although interpreted there differently. The host carbonates do not contain shallow facies and have never been subaerially exposed, which excludes any epigenetic karstification.

The role of confinement

In discussing the origin of maze caves, many of which are believed to form under artesian conditions, A.N. Palmer [Palmer, 1991, 2000b] argued that slow groundwater flow near chemical equilibrium, typical of truly confined aquifers, is least likely to produce maze caves. He further stressed that "*True confinement by itself does not produce maze caves, and any association between confined groundwater flow and maze development is coincidental*" [Palmer, 2000b, p. 79]. The problem of the origin of maze caves is beyond the scope of this paper; it is considered in details by A.N. Palmer [Palmer, 1975, 1991, 2000a, 2000b, 2007, 2011] and A.B. Klimchouk [Klimchouk, 2000, 2007, 2009]. Here it is appropriate to clarify some misconceptions about confinement, with regard to hypogene speleogenesis.

J.E. Mylroie and J.R. Mylroie [Mylroie, Mylroie, 2009] provide a lengthy discussion on whether confined flow is necessary to produce hypogene caves. They argue that the morphological features believed to be characteristic of hypogenic caves in the hydrogeological connotation of this term [Klimchouk, 2007, 2009] are not solely the result of confined hypogenic conditions, but also occur in eogenetic karst aquifers, in environments that have never been confined, and have never undergone burial or been moved out of the influence of meteoric diagenesis.

The present author agrees that true confinement by itself does not produce maze caves. It has to be noted that the term 'confined aquifer' is not used in modern hydrogeology in a sense of a true hydraulic isolation, so that "true confinement" simply does not exist. Although a certain degree of leakage was long accepted to occur even through aquicludes, it was during the last 40-50 years that the great role of transverse hydraulic communication across separating beds in basins has been fully acknowledged. The "classical" artesian paradigm, with its notions of confined flow through largely isolated aquifers, was replaced with the basin hydraulics paradigm, with its notions of a multiple aquifer system and significant cross-formational (across aquitards) communication between aquifers. The adoption of this paradigm to karst studies has eliminated the ground for the above-mentioned concern and opened a new perspective to the problem of

speleogenesis in artesian settings [Klimchouk, 2000, 2007]. The above cited works show that the association between confined groundwater flow and hypogene cave development is not coincidental, and that artesian transverse speleogenesis is one of the most common variants of hypogene speleogenesis.

The question whether confinement by itself is a necessary condition for hypogene speleogenesis is somewhat misleading. The term "confined" refers to a hydrodynamic condition wherein groundwater is under pressure in a bed or stratum confined above and below by units of distinctly lower permeability. The potentiometric surface in such aquifers lies above the bottom of the overlying confining unit, and this allows water to move up through available preferential paths. Hence, at least a certain degree of hydrogeological confinement is a necessary condition for the forced ascending groundwater circulation to occur. It is the upwelling circulation, but not confinement by itself, which is considered in the hydrogeological approach to be the main condition for hypogene speleogenesis, although confinement is certainly the common characteristic of flow in saturated heterogeneous media.

Another misconception [Mylroie, Mylroie, 2009] is that confinement always implies that a carbonate sequence must be once buried and moved to the mesogenetic realm. In fact, confinement does not necessarily imply considerable burial, but it does imply the layered heterogeneity. Confined (pressurized) flow may occur in sequences of eogenetic limestones, as they commonly demonstrate distinct layered heterogeneity formed due to variations in depositional and post depositional processes. For instance, D.A. Budd and H.L. Vacher [Budd, Vacher 2004] show that matrix permeability of young carbonates in the Upper Floridan Aquifer range over three orders of magnitude between different lithofacies. K.J. Cunningham et al. [Cunningham et al., 2006] developed a high-resolution cyclostratigraphic model for the Plio-Pleistocene carbonate Biscayne Aquifer, Florida, and demonstrated pronounced regular variations in porosity structure and permeability between lithofacies, arranged in cyclic successions of three types. Permeability of the aquifer is heterogeneous, with values differing up to two orders of magnitude between the lithofacies.

It is known [Girinsky, 1947] that where a vertical head gradient exists between aquifers in a layered sequence, and if hydraulic conductivities in adjacent beds differs by at least two orders of magnitude, flow in high conductivity beds is predominantly lateral, but flow in the separating beds is predominantly vertical. The above data on heterogeneity of eogenetic carbonate sequences suggest that they may host confined (leaky) aquifer systems with a characteristic pattern of interaction that may include rising transverse flow components.

Although hypogene speleogenesis develops mainly in confined conditions, it is not limited to them. When hypogenic caves are shifted to the shallower, unconfined situation due to uplift and denudation but their further development continues to be driven by upwelling flow from deeper systems, this is still hypogene speleogenesis, although now partly unconfined. Unconfined hypogene development can be regarded as an extinction phase of hypogene speleogenesis in most cases. However, the cave development fed by the upwelling recharge to the bottom of an unconfined aquifer in eogenetic carbonates can also be considered to be hypogenic.

Hypogene speleogenesis in eogenetic carbonates in islands

Cave development in eogenetic carbonates in coastal/island settings is described by the flank margin model [Mylroie, Carew, 1995]. Caves form as the result of mixing of freshwater and seawater at the bottom and especially at the distal margins of a floating freshwater lens. Because the aggressiveness is produced at depth within the bedrock mass, these caves are considered to be hypogenic within the geochemical approach [Mylroie, Carew, 1995; Palmer, 2007]. As the standard model considers a floating Dupuit-Ghyben-Herzberg freshwater lens and cave development in unconfined phreatic conditions, the flank-margin caves were not regarded as hypogenic according to the hydrogeological approach.

J.E. Mylroie and J.R. Mylroie [Mylroie, Mylroie, 2009] provided a number of illustrations showing a great deal of similarity between flank-margin caves and confined hypogenic caves formed by upwelling flow. They argue that the characteristic morphological features of flank-margin caves form due to slow flow

conditions in the mixing zone that allow natural convection to extensively operate, and that the upwelling limbs of natural convection cells play a pronounced role in shaping the passage morphology. This is indeed a feasible explanation for the above-mentioned similarity. Flow in confined aquifers is also commonly slow, and the great role of natural convection circulation in shaping hypogene caves has been demonstrated and underscored [Klimchouk, 2000, 2007, 2009]. It has to be noted that the upwelling flow is a part of the buoyancy circulation in any case.

A question remains for the of flank-margin caves, however, as to whether their morphogenesis is solely due to the natural convection circulation, self-developed along the freshwater/marine water interface in a homogenous rock, or whether it originates by the upward leakage (recharge) of a freshwater aquifer from a layer of high hydraulic conductivity (a confined aquifer) below, across a separating layer of relatively low conductivity (an aquitard)? In such case, the caves would be classified to be properly hypogenic according to the hydrogeological approach. One could expect the presence not only of certain characteristic wall and ceiling bedrock features in such caves, but also the entire “*morphological suite of rising flow*” [Klimchouk, 2007, 2009], including feeders. This suite, but not separate features, was considered to be truly diagnostic for hypogene caves, as it unambiguously indicates upwelling

circulation of the cave-forming fluid across the soluble rock unit; the main criteria referred to by the hydrogeological definition.

The above question reveals a weakness in the standard flank-margin speleogenetic model, which is based on an assumption that the rock sequence is homogenous (Fig. 2, A). The references cited in the previous section show that this assumption is not always valid. Moreover, there is a large body of publications that demonstrate significant inhomogeneities, both layered and discordant, and hence the presence of leaky aquifer systems in coastal regions. A simple conceptual setting is presented in Fig. 2, B, where an aquifer system is depicted consisting of an upper unconfined aquifer and the underlying confined aquifer, while the aquifers are separated by an aquitard that allows leakage. An aquitard can be heterogeneous in its lateral extent, allowing more significant leakage in certain areas where the vertical conductivity is enhanced due to the presence of fractures or other discontinuities. The obvious result of this circulation pattern would be the formation of truly hypogene caves driven by the leakage of freshwater from the lower aquifer. The aggressiveness would be produced due to mixing of the leaking freshwater with the marine water at the base of the unconfined aquifer, and natural convection effects would be very pronounced due to spatially fixed, steady and efficient supply of freshwater from below.

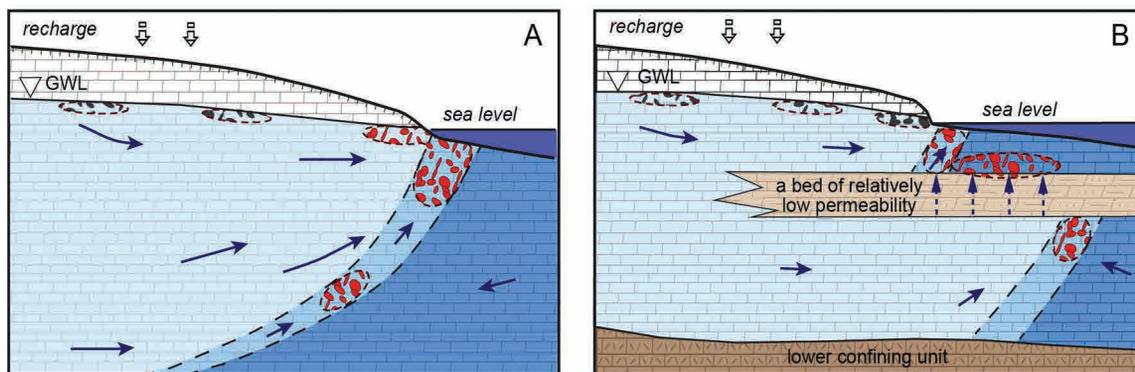


Fig. 2. Speleogenesis in coastal areas:

A – the standard flank-margin model for homogenous rocks (redrawn after J.E. Mylroie, J.L. Carew [Mylroie, Carew, 1995]); B – an expanded model with elements of layered heterogeneity (the hydrogeological setting is borrowed from P.M. Barlow [Barlow, 2003]). Legend: 1 – groundwaters: a – fresh, b – brackish, c – saline (marine); 2 – flow directions; 3 – ascending leakage across the aquitard; 4 – epikarst; 5 – fractures or other conductive discontinuities across the aquitard; 6 – speleogenesis by mixing of vadose and phreatic freshwaters along the water table; 7 – speleogenesis by mixing of freshwater and marine water. Note that the speleogenesis by mixing of freshwater and marine water in cartoon B would be hypogenicspeleogenesis according to the hydrogeological definition

It is therefore suggested that the flank-margin model should be expanded to account for a multiple aquifer settings. From the perspective of the hydrogeological approach, both epigene speleogenesis and hypogene speleogenesis may develop in coastal carbonates depending on a degree of the layered heterogeneity.

Conclusion

Defined in the most general way, hypogene speleogenesis is the origin of caves in which the cave-forming agency comes from depth, in contrast to epigene speleogenesis in which the cave-forming agency (meteoric recharge and its inherent or soil-derived aggressiveness) originates at the surface. A more specific definition should rely on attributes of the cave-forming agency that are most suitable and efficient for discrimination between epigene and hypogene origins of caves.

Relying on the determination of a source of the aggressiveness in classifying hypogene speleogenesis is the legitimate approach but it is not a methodologically sound and practically efficient one. The hydrogeological approach and the reference to upwelling groundwater circulation in the definition of hypogene speleogenesis provide a theoretically and methodologically sound basis not only for identifying the type of speleogenesis, but also for spatial and temporal prognosis of hypogene speleogenesis.

Hypogene speleogenesis develops where upwelling groundwater circulation and disequilibrium conditions causing dissolution are supported during a sufficiently long time. It is localized predominantly in discharge zones and/or zones of interaction of groundwater

circulation systems of different nature, depth and scales, and it is controlled by peculiarities of the hydrogeological structure, geodynamic evolution and geomorphic development of regions.

In basinal settings, the localization of areas of the upwelling circulation across soluble rocks, and hence of hypogene speleogenesis, is determined by the influence on hydrodynamics of the basins topography and configuration, tectonic disruptions, internal uplifts, and lithofacial windows, as well as of endogenous (geodynamic) factors. The role of tectonic faults as cross-formational fluid-conducting structures strongly increases in the lower stories of cratonic artesian basins and in massifs of orogenic regions. The development of hypogenic void-conduit systems is commonly multiphase, determined by major phases of the geodynamic history of the regions.

The patterns and morphology of hypogene caves are determined by the structure of initial porosity, pressurized mode and the upwelling vector of groundwater circulation, specific features of the speleogenetic mechanisms in the conditions of the external conservative control over discharge, as well as by peculiarities of the evolution of a given groundwater circulation system. When hypogenic caves are shifted to the shallow subsurface, their morphology may experience considerable modification by dissolution at the water table and by subaerial mechanisms.

Acknowledgements

This work was partially supported by the Ukrainian Ministry of Education and Science Grant 0110U002248.

References

1. Гиринский Н.К. Некоторые вопросы динамики подземных вод. В кн.: *Гидрогеология и инженерная геология*. № 9. Москва: Госгеолтехиздат, 1947. С. 3-100.
2. Girinsky N.K., 1947. Some questions of groundwater dynamics. In: *Gidrogeologiya i inzhenernaya geologiya*, № 9. Moscow: Gosgeolizdat, p. 3-100 (in Russian).
3. Ежов Ю.А. О химической инверсии в подземной гидросфере. *Сов. геология*. 1978. № 312. С. 132-136.
4. Ezhov Yu.A., 1978. On chemical inversion in the underground hydrosphere. *Sovetskaya Geologiya*, № 312, p. 132-136 (in Russian).
5. Климчук А.В. Гипогенный спелеогенез, его гидрогеологическое значение и роль в эволюции карста. Симферополь: ДИАИПИ, 2013, 180 с.
6. Klimchouk A.B., 2013c. Hypogene speleogenesis, its hydrogeological significance and the role in evolution of karst. Simferopol: DIAIPI, p. 180 (in Russian).

4. Лукин А.Е. Глубинная гидрогеологическая инверсия как глобальное синергетическое явление: теоретические и прикладные аспекты. Ст. 1. Феноменология и природа глубинной гидрогеологической инверсии. *Геол. журн.* 2004. № 4 (310). С. 53-70.

Lukin A.E., 2004. Deep hydrogeological inversion as a global synergetic phenomenon: theoretical and applied aspects. Communication 1. Phenomenology and the nature of the deep hydrogeological inversion. *Geologicheskii Zhurnal*, 4 (310), p. 53-70 (in Russian).

5. Мятлев А.Н. Напорный комплекс подземных вод и скважин. *Изв. АН СССР. Отд. техн. наук.* 1947. № 9. С. 33-47.

Mjatiev A.N., 1947. Confined complex of underground waters and wells. *Izvestija AN SSSR. Otd. tekhnich. nauk*, № 9, p. 33-47 (in Russian).

6. Шестопалов В.М. Естественные ресурсы подземных вод платформенных артезианских бассейнов Украины. Киев: Наукова думка, 1981. 196 с.

Shestopalov V.M., 1981. Natural resources of groundwaters in platform artesian basins of Ukraine. Kiev: Naukova Dumka, 196 p. (in Russian).

7. Barlow P.M. Ground Water in Freshwater-Saltwater Environments of the Atlantic Coast. US Geological Survey, Reston, Virginia, 2003. 113 p.

Barlow P.M., 2003. Ground Water in Freshwater-Saltwater Environments of the Atlantic Coast. US Geological Survey, Reston, Virginia, 113 p. (in English).

8. Budd D.A., Vacher H.L. Matrix permeability of the confined Floridan Aquifer, Florida, USA. *Hydrogeology Journal*. 2004. № 12. P. 531-549.

Budd D.A., Vacher H.L., 2004. Matrix permeability of the confined Floridan Aquifer, Florida, USA. *Hydrogeology Journal*, № 12, p. 531-549 (in English).

9. Cunningham K.J., Renken R.A., Wacker M.A., Zygnerski M.R., Robinson E., Shapiro A.M., Wingard G.L. Application of carbonate cyclostratigraphy and borehole geophysics to delineate porosity and preferential flow in the karst limestone of the Biscayne Aquifer, SE Florida. In: R.S. Harmon and C.W. Wicks (Eds.). *Perspectives on Karst Geomorphology, Hydrology and Geochemistry*, GSA Special Paper 404, Boulder, Colorado, 2006. P. 191-208.

Cunningham K.J., Renken R.A., Wacker M.A., Zygnerski M.R., Robinson E., Shapiro A.M., Wingard G.L., 2006. Application of carbonate cyclostratigraphy and borehole geophysics to delineate porosity and preferential flow in the karst limestone of the Biscayne Aquifer, SE Florida. In: R.S. Harmon and C.W. Wicks (Eds.). *Perspectives on Karst Geomorphology,*

Hydrology and Geochemistry, GSA Special Paper 404, Boulder, Colorado, p. 191-208 (in English).

10. Dreybrodt W., Gabrovsek F., Romanov D. Processes of Speleogenesis: A Modeling Approach. ZRC Publishing, Ljubljana, 2005. 376 p.

Dreybrodt W., Gabrovsek F., Romanov D., 2005. Processes of Speleogenesis: A Modeling Approach. ZRC Publishing, Ljubljana, 376 p. (in English).

11. Dublyansky Y.V. Hydrothermal speleogenesis—Its settings and peculiar features. In: A. Klimchouk, D. Ford, A. Palmer, W. Dreybrodt (Eds.). *Speleogenesis: Evolution of Karst Aquifers*. National Speleological Society, Huntsville, 2000. P. 293-297.

Dublyansky Y.V., 2000. Hydrothermal speleogenesis—Its settings and peculiar features. In: A. Klimchouk, D. Ford, A. Palmer, W. Dreybrodt (Eds.). *Speleogenesis: Evolution of Karst Aquifers*. National Speleological Society, Huntsville, p. 293-297 (in English).

12. Dublyansky Y.V., Klimchouk A.B., Sprytl C., Timokhina E.I., Amelichev G.N. Isotope wallrock alteration associated with hypogene karst of the Crimean Piedmont, Ukraine. *Chemical Geology*. 2014. Vol. 377. P. 31-44.

Dublyansky Y.V., Klimchouk A.B., Sprytl C., Timokhina E.I., Amelichev G.N., 2014. Isotope wallrock alteration associated with hypogene karst of the Crimean Piedmont, Ukraine. *Chemical Geology*, vol. 377, p. 31-44 (in English).

13. Andreychouk, V., Dublyansky, Y., Ezhov, Y., Lisenin, G. Karst in the Earth's Crust: Its Distribution and Principal Types. University of Silezia – Ukrainian Institute of Speleology and Karstology, Sosnovec-Simferopol, 2009. 72 p.

Andreychouk, V., Dublyansky, Y., Ezhov, Y., Lisenin, G., 2009. Karst in the Earth's Crust: Its Distribution and Principal Types. University of Silezia – Ukrainian Institute of Speleology and Karstology, Sosnovec-Simferopol, 72 p. (in English).

14. Ford D.C. Karst geomorphology, caves and cave deposits: A review of North American contributions during the past half century. In: R.S. Harmon and C.W. Wicks (Eds.). *Perspectives on Karst Geomorphology, Hydrology and Geochemistry*, GSA Special Paper 404, Boulder, Colorado, 2006. P. 1-14.

Ford D.C., 2006. Karst geomorphology, caves and cave deposits: A review of North American contributions during the past half century. In: R.S. Harmon and C.W. Wicks (Eds.). *Perspectives on Karst Geomorphology, Hydrology and Geochemistry*, GSA Special Paper 404, Boulder, Colorado, p. 1-14 (in English).

15. Hantush M.S., Jacob C.E., Nonsteady radial flow in an infinite leaky aquifer. *Transactions, Amer. Geoph. Union* 36, 1955. P. 95-100.

Hantush M.S., Jacob C.E., 1955. Nonsteady radial flow in an infinite leaky aquifer. *Transactions, Amer. Geoph. Union* 36, p. 95-100 (in English).

16. Klimchouk A.B. Hypogene Speleogenesis: Hydrogeological and Morphogenetic Perspective. National Cave and Karst Research Institute, Special Paper № 1, Carlsbad, New Mexico. 2007. 106 p.

Klimchouk A.B., 2007. Hypogene Speleogenesis: Hydrogeological and Morphogenetic Perspective. National Cave and Karst Research Institute, Special Paper № 1, Carlsbad, New Mexico, 106 p. (in English).

17. Klimchouk A.B. Morphogenesis of hypogenic caves. *Geomorphology*. 2009. Vol. 106. P. 100-117.

Klimchouk A.B., 2009. Morphogenesis of hypogenic caves. *Geomorphology*, vol. 106, p. 100-117 (in English).

18. Klimchouk A. Speleogenesis, Hypogenic. In: D.C. Culver and B.W. White (Eds.). *Encyclopedia of Caves*, 2nd edition. Elsevier, Chennai, 2012. P. 748-765.

Klimchouk A., 2012. Speleogenesis, Hypogenic. In: D.C. Culver and B.W. White (Eds.). *Encyclopedia of Caves*, 2nd edition. Elsevier, Chennai, p. 748-765 (in English).

19. Klimchouk A.B. Hypogene speleogenesis. In: A. Frumkin, (Ed.). *Treatise on Geomorphology*, vol. 6 Karst Geomorphology. Academic Press, San Diego, California, 2013a. P. 220-240.

Klimchouk A.B., 2013a. Hypogene speleogenesis. In: A. Frumkin, (Ed.). *Treatise on Geomorphology*, vol. 6 Karst Geomorphology. Academic Press, San Diego, California, p. 220-240 (in English).

20. Klimchouk A.B. Hydrogeological approach to distinguishing hypogene speleogenesis settings. In Intern. Symp. on Hierarchical Flow Systems in Karst Regions, Symposium Program and Abstracts, Budapest, 2013b. P. 95.

Klimchouk A.B., 2013b. Hydrogeological approach to distinguishing hypogene speleogenesis settings. In Intern. Symp. on Hierarchical Flow Systems in Karst Regions, Symposium Program and Abstracts, Budapest, p. 95 (in English).

21. Michaud F., Chabert A., Collot J-Y., Sallar Ts V., Flueh E.R., Charvis Ph., Graindorge D., Gustcher M.-A., Bialas J. Fields of multi-kilometer scale sub-circular depressions in the Carnegie Ridge sedimentary blanket: Effect of underwater carbonate dissolution? *Marine Geology*. 2005. Vol. 216, № 4. P. 205-219.

Michaud F., Chabert A., Collot J-Y., Sallar Ts V., Flueh E.R., Charvis Ph., Graindorge D., Gustcher M.-A., Bialas J., 2005. Fields of multi-kilometer scale sub-circular depressions in the Carnegie Ridge sedimentary blanket: Effect of underwater carbonate dissolution? *Marine Geology*, vol. 216, № 4, p. 205-219 (in English).

22. Mylroie J.E., Carew J.L. Karst development on carbonate islands. In: D.A. Budd, P.M. Harris and A. Saller (Eds.). *Unconformities and Porosity in Carbonate Strata*. American Association of Petroleum Geologists, 1995. P. 55-76.

Mylroie J.E., Carew J.L., 1995. Karst development on carbonate islands. In: D.A. Budd, P.M. Harris and A. Saller (Eds.). *Unconformities and Porosity in Carbonate Strata*. American Association of Petroleum Geologists, p. 55-76 (in English).

23. Mylroie J.E., Mylroie J.R. Diagnostic features of hypogenic karst: is confined flow necessary? In: K.W. Stafford, L. Land and G. Veni (Eds.). *NCKRI Symposium 1 Advances in Hypogene Karst Studies*. National Cave and Karst Research Institute, Carlsbad, New Mexico, 2009. P. 12-26.

Mylroie J.E., Mylroie J.R., 2009. Diagnostic features of hypogenic karst: is confined flow necessary? In: K.W. Stafford, L. Land and G. Veni (Eds.). *NCKRI Symposium 1 Advances in Hypogene Karst Studies*. National Cave and Karst Research Institute, Carlsbad, New Mexico, p. 12-26 (in English).

24. Palmer A.N. The origin of maze caves. *NSS Bulletin*. 1975. Vol. 37, № 3. P. 56-76.

Palmer A.N., 1975. The origin of maze caves. *NSS Bulletin*, vol. 37, № 3, p. 56-76 (in English).

25. Palmer A.N. Origin and morphology of limestone caves. *Geological Society of America Bulletin*. 1991. Vol. 103, № 1. P. 1-21.

Palmer A.N., 1991. Origin and morphology of limestone caves. *Geological Society of America Bulletin*, vol. 103, № 1, p. 1-21 (in English).

26. Palmer A.N. Hydrogeologic control of cave patterns. In: A Klimchouk, D Ford, A Palmer, W Dreybrodt (Eds.). *Speleogenesis: Evolution of Karst Aquifers*. National Speleological Society, Huntsville, 2000a. P. 77-90.

Palmer A.N., 2000a. Hydrogeologic control of cave patterns. In: A Klimchouk, D Ford, A Palmer, W Dreybrodt (Eds.). *Speleogenesis: Evolution of Karst Aquifers*. National Speleological Society, Huntsville, p. 77-90 (in English).

27. Palmer A.N. Maze origin by diffuse recharge through overlying formations In: A. Klimchouk, D. Ford, A. Palmer, W. Dreybrodt (Eds.). *Speleogenesis: Evolution of Karst Aquifers*. National Speleological Society, Huntsville, 2000b. P. 387-390.

Palmer A.N., 2000b. Maze origin by diffuse recharge through overlying formations In: A. Klimchouk, D. Ford, A. Palmer, W. Dreybrodt (Eds.). *Speleogenesis: Evolution of Karst Aquifers*. National Speleological Society, Huntsville, p. 387-390 (in English).

28. Palmer A.N. Distinction between epigenic and hypogenic maze caves. *Geomorphology*. 2011. Vol. 134, № 1. P. 9-22.

Palmer A.N., 2011. Distinction between epigenic and hypogenic maze caves. *Geomorphology*, vol. 134, № 1, p. 9-22 (in English).

29. Palmer A.N. *Cave Geology*. Cave Books, Dayton, Ohio, 2007. 454 p.

Palmer A.N., 2007. *Cave Geology*. Cave Books, Dayton, Ohio, 454 p. (in English).

30. Spoetl C., Dublyansky Y.V. Fingerprinting water-rock interaction in hypogene speleogenesis: potential and limitations of isotopic depth-profiling. In: A. Klimchouk, I. Sasowsky, J. Mylroie, S.A. Engel, A.S. Engel (Eds.). *Hypogene Cave Morphologies*. Selected papers and abstracts of the symposium held February 2 through 7, 2014, San Salvador Is-

land, Bahamas. Karst Waters Institute Special Publication 18, Karst Waters Institute, Leesburg, Virginia, 2014. P. 103.

Spoetl C., Dublyansky Y.V., 2014. Fingerprinting water-rock interaction in hypogene speleogenesis: potential and limitations of isotopic depth-profiling. In: A. Klimchouk, I. Sasowsky, J. Mylroie, S.A. Engel, A.S. Engel (Eds.). *Hypogene Cave Morphologies*. Selected papers and abstracts of the symposium held February 2 through 7, 2014, San Salvador Island, Bahamas. Karst Waters Institute Special Publication 18, Karst Waters Institute, Leesburg, Virginia, p. 103 (in English).

31. T—th J. Groundwater as a geologic agent: An overview of the cases, processes and manifestations. *Hydrogeology Journal*. 1999. № 7. P. 1-14.

T—th J., 1999. Groundwater as a geologic agent: An overview of the cases, processes and manifestations. *Hydrogeology Journal*, № 7, p. 1-14 (in English).

Received
April 2, 2015

ACCUMULATION OF A LIGHT PETROLEUM PRODUCT LAYER ABOVE A WATER TABLE

N.S. Ognianik¹, N.K. Paramonova², E.N. Shpak³, I.N. Zapolskiy⁴

¹ *Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine, E-mail: gwp_ign@gwp.org.ua
Doctor of geological sciences, the head of groundwater protection department.*

² *Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine, E-mail: gwp_ign@gwp.org.ua
Candidate of geological sciences, senior research worker.*

³ *Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine, E-mail: shpak_lena@yahoo.com
Candidate of geological sciences, research worker.*

⁴ *Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine, E-mail: gwp_ign@gwp.org.ua
Junior research worker.*

A physical experiment on the accumulation of a light petroleum product (LPP) layer in the capillary zone with following formation of a floating lens on the water table (WT) was carried out. The procedure was developed and justified experimentally to calculate the thickness and the location of a LPP layer in the capillary zone and on WT, the distribution and the volume of LPP from the measurements of LPP levels in the observation well. The thickness and the location of a LPP layer on WT, contents of water and LPP were calculated based on Lenhard and Parker (1987, 1988) and van Genuchten (1980).

Key words: light petroleum product layer, water table, capillary zone, physical experiment, calculations.

НАКОПИЧЕННЯ ШАРУ ЛЕГКИХ НАФТОПРОДУКТІВ НАД РІВНЕМ ҐРУНТОВИХ ВОД

М.С. Огняник¹, Н.К. Парамонова², О.М. Шпак³, І.М. Запольський⁴

¹ *Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна, E-mail: gwp_ign@gwp.org.ua
Доктор геологічних наук, завідувач відділу охорони підземних вод.*

² *Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна, E-mail: gwp_ign@gwp.org.ua
Кандидат геологічних наук, старший науковий співробітник.*

³ *Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна, E-mail: shpak_lena@yahoo.com
Кандидат геологічних наук, науковий співробітник.*

⁴ *Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна, E-mail: gwp_ign@gwp.org.ua
Молодший науковий співробітник.*

Виконаний фізичний експеримент з дослідження накопичення шару легких нафтопродуктів (ЛНП) у капілярній зоні з подальшим формуванням плаваючої лінзи на рівні ґрунтових вод (РГВ). Розроблена та експериментально підтверджена методика розрахунку потужності та локалізації шару ЛНП у капілярній зоні та на РГВ, розподілу та об'єму ЛНП за даними вимірів у спостережних свердловинах. Потужність та локалізація шару ЛНП на РГВ, вміст води та ЛНП розраховані на підставі робіт Lenhard and Parker (1987, 1988) та van Genuchten (1980).

Ключові слова: шар легких нафтопродуктів, РГВ, капілярна зона, фізичний експеримент, розрахунки.

© N.S. Ognianik, N.K. Paramonova, E.N. Shpak, I.N. Zapolskiy, 2015

НАКОПЛЕНИЯ СЛОЯ ЛЕГКИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ НАД УРОВНЕМ ГРУНТОВЫХ ВОД

Н.С. Огняник¹, Н.К. Парамонова², Е.Н. Шпак³, И.Н. Запольский⁴

¹ *Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: gwp_ign@gwp.org.ua
Доктор геологических наук, заведующий отделом охраны подземных вод.*

² *Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: gwp_ign@gwp.org.ua
Кандидат геологических наук, старший научный сотрудник.*

³ *Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: shpak_lena@yahoo.com
Кандидат геологических наук, научный сотрудник.*

⁴ *Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: gwp_ign@gwp.org.ua
Младший научный сотрудник.*

Выполнен физический эксперимент по изучению накопления слоя легких нефтепродуктов (ЛНП) в капиллярной зоне с последующим формированием плавающей линзы на уровне грунтовых вод (УГВ). Разработана и экспериментально подтверждена методика расчета мощности и положения слоя ЛНП в капиллярной зоне и на УГВ, распределения и объема ЛНП по данным замеров в наблюдательных скважинах. Мощность и положение слоя ЛНП на УГВ, содержание воды и ЛНП рассчитаны на основании работ Lenhard and Parker (1987, 1988) и van Genuchten (1980).

Ключевые слова: слой легких нефтепродуктов, УГВ, капиллярная зона, физический эксперимент, расчеты.

Introduction

LPPs released to the subsurface environment move down through the unsaturated zone, accumulate in the capillary zone and descend on WT forming a floating lens. Both LPP levels and the thickness of a mobile LPP layer observed in wells do not correspond to the true levels and thickness within the surrounding porous medium. A number of papers [Blake, Hall, 1984; CONCAVE..., 1979; Hall et al., 1984] studied a LPP layer on WT to found correcting coefficients to determine a true LPP layer thickness in soil (T) using an apparent thickness in an observation well (T^w). Laboratory experiments [Hampton and Miller, 1990] showed that in fact there is no calculating coefficient between LPP thickness in sand and in the well. T.P. Ballesterro [Ballesterro et al., 1994] obtained the relationship between T and T^w for the capillary zone when the weight of a single LPP column $\rho_o g T < 2\sigma_{ao} \cos\phi / r_{max}$ (ρ_o is LPP density, g is gravitational acceleration, σ_{ao} is surface tension at an air-LPP (a-o) boundary, ϕ is a wetting angle, and r_{max} is a maximum pore radius):

$$T = (1 - \gamma_o) T^w - h_a, \quad (1)$$

where $\gamma_o = \rho_o / \rho_w$ is specific gravity; ρ_w is water density; h_a is a distance between the bottom of

a LPP layer and WT corresponding to an active capillary height (it is not indicated there how to receive it).

This equation has two unknown variables, therefore only the sum ($T + h_a$) can be determined. Moreover, it is not known how to determine the location of a mobile LPP layer (either in the capillary zone or on WT) using the values of T^w .

A.M. Farr [Farr et al., 1990] and R.J. Lenhard and J.C. Parker [Lenhard, Parker, 1990] described the distribution of LPP in the formation during the accumulation of LPP above the water-saturated zone using oil-air and oil-water interfaces in the monitoring well under the equilibrium state. However, it was not mentioned about a zone from which LPP can flow into a well, i.e. a zone called "true thickness" by previous researchers. It is necessary to determine the size of "true thickness" and the quantity of contained LPP to plan the methods of pumping and the volume of mobile LPP that can be withdrawn.

The purpose of this research was to carry out an experiment on simulation of the formation of a kerosene layer above WT. The results of this experiment were used to justify the procedures for calculations of LPP thickness, distribution and volume at different stages of the accumulation of a kerosene lens.

Experimental materials

In order to study the formation of a LPP lens above WT and represent this process by a well, we carried out the experiment in a plexiglass column (Fig. 1) installed in a pan and filled with sand. A diameter of grains was less than 0.5 mm and porosity was 0.376.

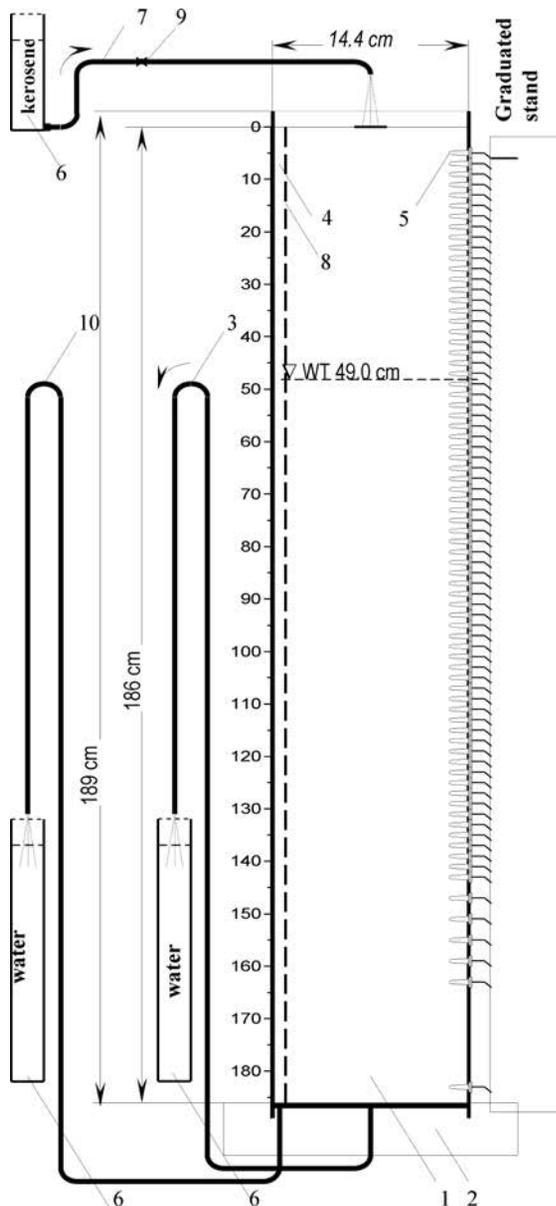


Fig. 1. The equipment for studying of kerosene layer accumulation in sand and its representation by the observation well

1 – a plexiglass column filled with sand; 2 – a plexiglass pan; 3 – a branch line for keep of a column water level; 4 – an observation well; 5 – piezometers; 6 – measuring vessels; 7 – a tube for kerosene input; 8 – a filter; 9 – a tap; 10 – a branch line to specify a boundary condition in the well

Movement of mobile kerosene levels, i.e. H_{ao} (air–LPP) and H_{ow} (LPP–water) in sand along the column was registered by kerosene appearance in piezometers (5) installed into the wall of the column in every two centimeters in the range of level move. An aluminium perforated gauze corner stuck to the wall of the column represented an observation well (4). Location of levels in the well (H_{ao}^w , H_{ow}^w) was determined visually through the transparent wall of the column by a measuring bar stuck nearby. The initial water level in the column was specified at a 49-cm depth that was considered to be WT. At this level the return tubes imitating boundary conditions were installed from the column (3) and the well (10). It was considered the measured water volume flowing out from the tube during kerosene input on a sand surface represented a relationship between water in the column and the aquifer.

Infiltrating through the unsaturated zone, kerosene wetted pores in which the a–w interface was replaced with the o–w interface with a much less surface tension. This resulted in decrease of the capillary water height in pores wetted with kerosene and the water output from the column was observed.

The accumulation of kerosene started at the elevation $h_a^{max} = h_a^{ow}$ above WT [Brooks and Corey, 1964], which corresponded to the head of water displacement into kerosene until interfacial tension (σ_{o-w}) held the weight of the kerosene column, T_c . The level H_{ao} rose in the capillary zone filling free pores while the bottom of the mobile kerosene layer (H_T) descended displacing water from capillaries with a radius $r > \frac{2\sigma_{ao}}{T_c g \rho_o}$ until it reached WT, then $T_c = T_c^{max}$.

After this, we observed the accumulation of the kerosene layer under WT for ten days. Fig. 2 demonstrates changes of water and kerosene levels in the well and in the column (a) during the input of kerosene volume, V_o and the output of water volume, V_w (b).

A difference between kerosene thickness in the column (T) and in the well (T^w) was maximal when the kerosene layer accumulated in the capillary zone. As the kerosene layer reached WT, the difference decreased. Below WT the difference $(T^w - T)_{av}$ fluctuated about 50.9 cm due to atmosphere pressure changes with the value of correlation coefficient 0.84 and the displacement on one day (Fig. 2, c).

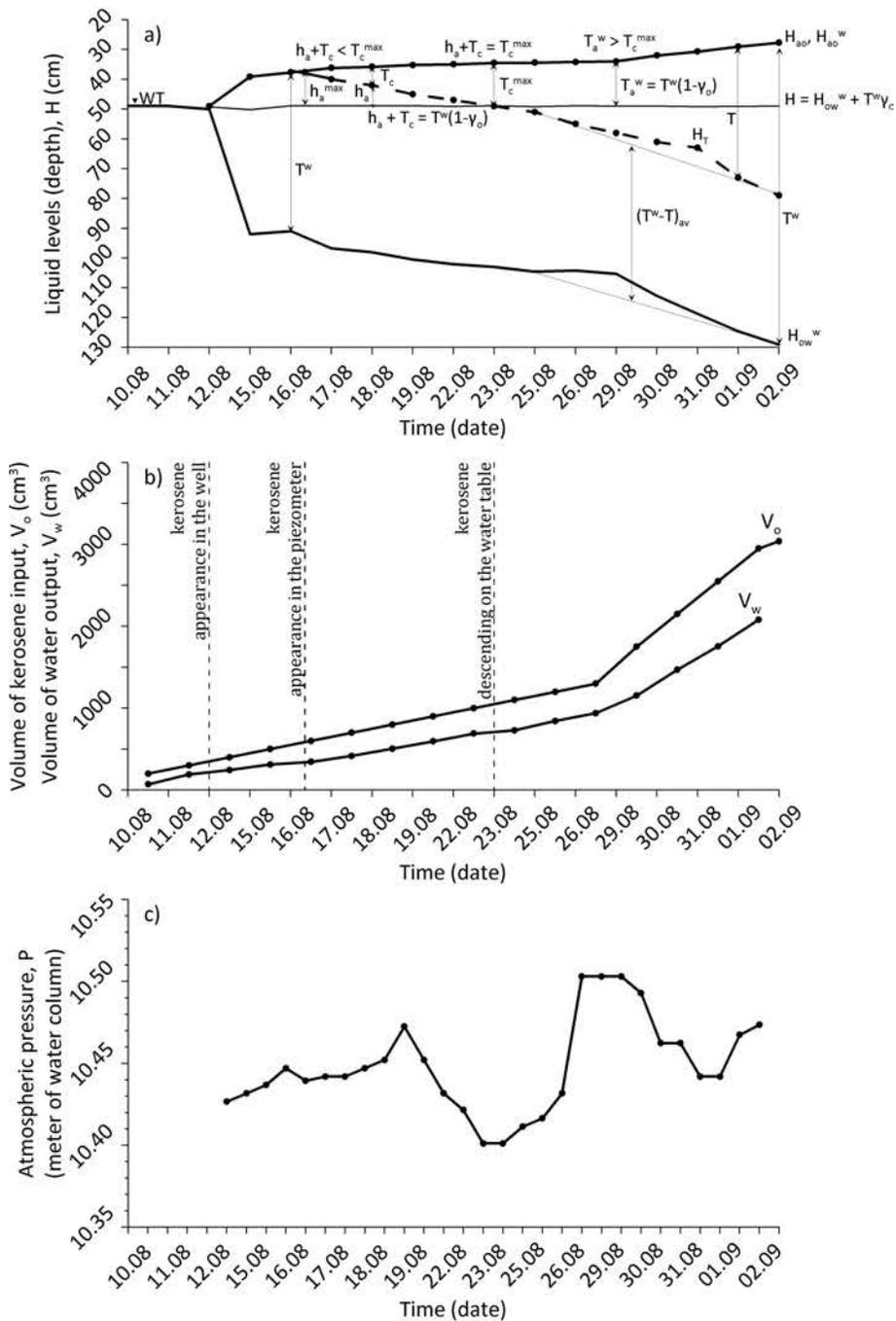


Fig. 2. Changes of water and kerosene levels in the well and in the column filled with sand (a) during kerosene input and water output (b) in correlation to atmospheric pressure (c)

In the field, if the accumulation of a mobile LPP layer discontinues in the capillary zone due to a small leakage, LPP levels and thickness in a well do not provide correct information about the location of a LPP layer and LPP levels. Therefore, calculations of distribution of LPP contents in the formation under such conditions by A.M. Farr [Farr et al., 1990] and R.J.

Lenhard and J.C. Parker [Lenhard, Parker, 1990] seem to be noncompletely correct.

For correct interpretation of monitoring data, it is necessary to determine the location and thickness of the mobile LPP layer in the capillary zone or on WT, which will be described in the next section. Proposed calculations are verified with experimental data.

Calculations of LPP layer location, thickness, and LPP content

As we can see in Fig. 2, the location of the LPP layer is in the capillary zone for $T_c + h_a < T_c^{max}$. In case of $T_c + h_a = T_c^{max}$, the LPP layer reaches WT. If the o-w interface locates below WT, the following condition takes place: $T_a^w > T_c^{max}$, where T_a^w is a part of LPP layer thickness in the well above a piezometric surface (H).

Based on (1) and J.P. Hughes [Hughes et al., 1998], we have the following:

$$T_c + h_a = T_a^w = T^w(1 - \gamma_o). \quad (2)$$

T_c^{max} stipulates on LPP thickness, which makes a pressure h_d^{ow} i.e.:

$$T_c^{max} = \frac{h_a^{max}}{\gamma_o} = \frac{h_d^{ow}}{\gamma_o}. \quad (3)$$

In this experiment $h_a^{max} = h_d^{ow} = 11.4$ cm. Then, according to (3) when $\gamma_o = 0.790$ and $h_a^{max} = 11.4$ cm, $T_c^{max} = 11.4$ cm, which corresponds to the measured value.

In the process of kerosene movement through the capillary zone the magnitude $(T_c + h_a)$ changes from $h_a^{max} = h_d^{ow}$ at $T_c = 0$ up to $T_c^{max} = \frac{h_d^{ow}}{\gamma_o}$ at $h_a = 0$. Therefore, the magnitude $(T_c + h_a)$ changes in direct proportion to:

$$T_c + h_a = \frac{h_a^{max} - h_a}{\gamma_o} + h_a, \quad (4)$$

$$T_c + h_a = \frac{h_d^{ow}}{\gamma_o} - \frac{h_a}{\gamma_o} + h_a = \frac{h_d^{ow}}{\gamma_o} - h_a \frac{(1 - \gamma_o)}{\gamma_o} \quad (5)$$

or

$$\gamma_o(T_c + h_a) = h_d^{ow} - h_a(1 - \gamma_o).$$

Based on (5), the value h_a could be determined as:

$$h_a = \frac{h_d^{ow} - \gamma_o(T_c + h_a)}{1 - \gamma_o}. \quad (6)$$

The magnitude $(T_c + h_a)$ is determined by (2), and

$$T_c = (T_c + h_a) - h_a. \quad (7)$$

The calculated values of T_c differed from the values measured experimentally for 0.35-0.75 cm. We consider that it is sufficient accuracy in case of installation of piezometers in every two cm within the column.

In the process of kerosene movement through the water capillary zone the following zones are formed (Fig. 3): (1) air – water (a-w) unsaturated zone with residual LPP; (2) air – LPP – water (a-o-w) unsaturated zone; (3) saturated zone with a mobile LPP (o-w); (4) water (w) capillary zone.

In the upper zone (1) LPP locates as individual drops and films remained after LPP infiltration. A LPP content ($\theta_{o,r}$) determined by laboratory measurements at the “Mikran” devise was 0.016.

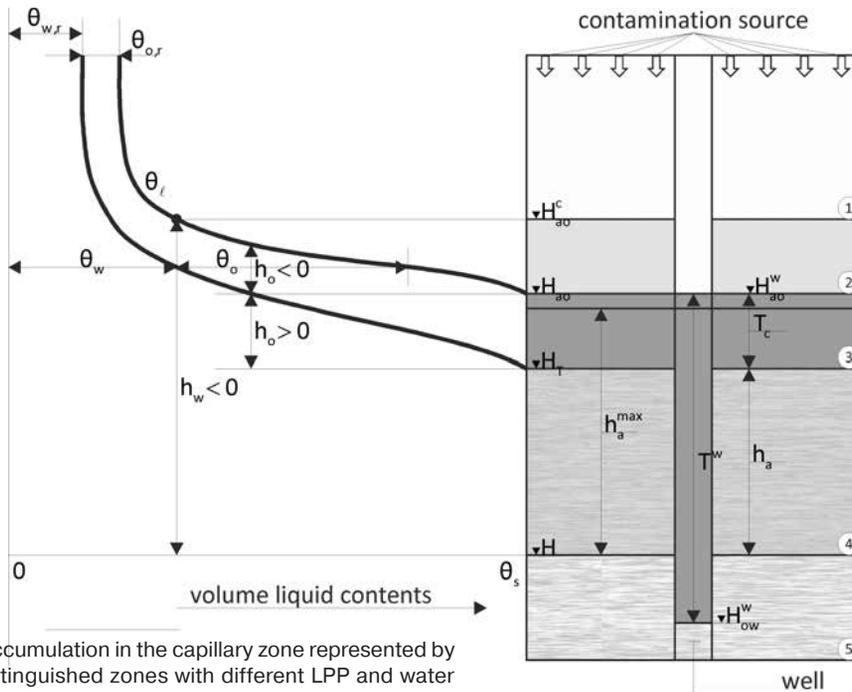


Fig. 3. LPP accumulation in the capillary zone represented by a well and distinguished zones with different LPP and water contents and pressure

The unsaturated zone (2) is formed above the level H_{ao} . The height of this zone reaches a level where capillary pressures h_{aw} and h_{ow} coincide. The capillary pressures are calculated as a difference of the heads of water (h_w), LPP (h_o) and air (h_a) in the point z .

$$h_a = 0; h_o = \frac{(z - H_{ao})\rho_o}{\rho_w}; h_w = z - H; \quad (8)$$

$$H = H_{ow}^w + \gamma_o T_w,$$

$$h_{aw} = h_a - h_w; h_{ao} = h_a - h_o; h_{ow} = h_o - h_w. \quad (9)$$

Water (θ_w) and LPP (θ_o) contents were determined using van Genuchten function (VG) according to [Lenhard, Parker, 1987; Lenhard, Parker, 1988]:

$$\theta_l = \theta_{w+o} = \theta_o^{ao}(h_{ao}) = [1 + (\alpha_{ao} h_{ao})^e]^{-m} (\theta_s - \theta_{r,w}) + \theta_{r,w}, \quad (10)$$

$$\theta_w = \theta_w^{ow}(h_{ow}) = [1 + (\alpha_{ow} h_{ow})^e]^{-m} (\theta_s - \theta_{r,w}) + \theta_{r,w}, \quad (11)$$

$$\theta_o = \theta_{w+o} - \theta_w, \quad (12)$$

where θ_s is total actual saturation, $\theta_{r,w}$ is irreducible saturation, a and e are affecting factors of pore-size distribution, $m = 1 - \frac{1}{e}$.

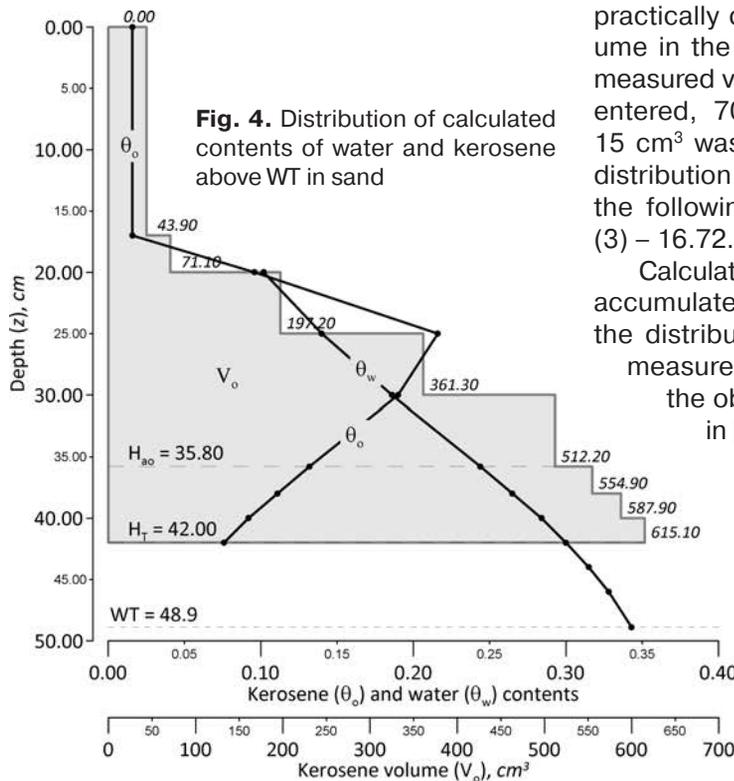


Fig. 4. Distribution of calculated contents of water and kerosene above WT in sand

In order to estimate the parameters of VG function, α and ε , we fitted the experimentally measured magnitude $\theta_w - h_{aw}$ to VG function in the main drainage path for experimental sand. We obtained the following values: $\alpha_{aw} = 0.0287$ 1/cm and $\varepsilon = 7.4552$. The values, α_{ow} and α_{aw} required for calculations were found from the relation: $\alpha_{aw} \sigma_{aw} = \alpha_{ow} \sigma_{ow} = \alpha_{ao} \sigma_{ao}$ [Lenhard, Parker, 1987]. The values, $\alpha_{ow} = 0.072$ 1/cm and $\alpha_{ao} = 0.0812$ 1/cm were obtained at $\sigma_{aw} = 69.5$ din/cm, $\sigma_{ao} = 24.55$ din/cm and $\sigma_{ow} = 27.7$ din/cm.

In the saturated zone (3) $\theta_{w+o} = \theta_s$, so

$$\theta_o = \theta_s - \theta_w. \quad (13)$$

LPP and water volumes were calculated for every interval $\Delta z = z_{i+1} - z_i$:

$$V_{o,\Delta z} = \frac{\theta_{o,i} + \theta_{o,i+1}}{2} \Delta z F; V_{w,\Delta z} = \frac{\theta_{w,i} + \theta_{w,i+1}}{2} \Delta z F, \quad (14)$$

where F is the area of the column.

The distribution of calculated kerosene and water contents and volumes in sand during the accumulation of a mobile kerosene layer in the capillary zone in the interval $H_{ao} = 35.8$ cm – $H_T = 42.0$ cm is shown in Fig. 4.

The total LPP volume within separate zones and in the column in whole was determined by summing $V_{o,\Delta z}$ and was 615.1 cm³, which practically corresponds to the kerosene volume in the sandy column calculated by the measured volumes (700 cm³ of kerosene was entered, 70 cm³ was drained in the well and 15 cm³ was drained with piezometers). The distribution of kerosene within the zones was the following (%): (1) – 7.14; (2) – 76.14; (3) – 16.72.

Calculations of the thickness of mobile LPP accumulated on WT in the sandy column and the distribution of kerosene content by the measurements of LPP and water levels in the observation well justified the theory in [Огняник и др., 2006] and [Парамонова, 2003] based on [Hughes et al., 1988; Lenhard, Parker, 1987; Lenhard, Parker, 1988; Van Genuchten, 1988]. Calculations were carried out in 10 day after kerosene descending on WT by the equation:

$$T = T^w - \frac{h_d^{ao}}{1 - \gamma_o}, \quad (15)$$

where $\gamma_o = \rho_o/\rho_w = 0.79$, $h_d^{ao} = 10.5$ cm is the head of kerosene displacement into air. At the value measured experimentally, $T^w = 101.3$ cm (Fig. 2), $T = 51.3$ cm, which corresponds to the experimental value. Distribution and volumes of LPP and water contents were calculated using equations (10-14). A difference between the calculated kerosene volume in the column and the true kerosene volume is 8.7%. Kerosene distributed along the column in the following way (%): (1) – 0.7; (2) – 26.2; (3) – 71.8; (4) – 1.3.

Conclusions

The accumulation of LPP above WT including the capillary zone was studied experimentally. Based on the results of the physical experiment, we proposed the procedure for calculations of the location, thickness of a mobile LPP layer, and volume and distribution of LPP and water in depth by the measurements of LPP levels in the observation well.

1. H_{ao}^w and H_{ow}^w are measured in the well; $T^w = H_{ao}^w - H_{ow}^w$ and $H = H_{ow}^w + \gamma_o T^w$ are calculated.

2. T_c^{max} is determined by the equation (3).

3. $T_c + h_a$ is determined by the equation (2).

If $T_c + h_a < T_c^{max}$, a LPP layer is above WT in the capillary zone.

4. The value of h_a is calculated by the equation (6).

5. The value of T_c is calculated by the equation (7).

References

1. Огняник Н.С., Парамонова Н.К., Брикс А.Л., Пашковский И.С., Коннов Д.В. Основы изучения загрязнения геологической среды легкими нефтепродуктами. Киев: А.П.Н., 2006. 278 с.

Ognianik N.S., Paramonova N.K., Bricks A.L., Pashkovskiy I.S., Konnov D.V., 2006. The principles of studying of subsurface contamination with light petroleum products. Kiev: A.P.N., 278 p. (in Russian).

2. Парамонова Н.К. Расчет распределения мобильных и удержанных легких нефтепродуктов в линзе, сформировавшейся на уровне грунтовых вод. Геол. журн. 2003. № 2 (304). С. 69–76.

Paramonova N.K., 2003. Calculation of distribution of mobile and retained light petroleum products in a lens accumulated on a groundwater table. *Geologichnyy zhurnal*, no 2 (304), p. 69–76 (in Russian).

6. $H_T = H + h_a$, $H_{ao} = H_T + T_c$.

7. Capillary heads are calculated by the equations (8) and (9); water and LPP contents are calculated by the equations (10-12), water and LPP volumes are calculated by the equation (14).

If $T_c + h_a = T_c^{max}$, a LPP layer reaches WT: $h_a = 0$, $T_c = T_c^{max}$, $H_{ao} = H + T_c^{max}$.

If $T_c + h_a > T_c^{max}$, a LPP layer lies on WT: $T^w = H_{ao}^w - H_{ow}^w$, T is determined by the equation (15). $H_{ao}^w = H_{ow}^w$, $H_{ow} = H_{ao} - T$, capillary heads, water and LPP contents and volumes are calculated according to the 7 item. It is

necessary for calculations: $\gamma_o = \frac{\rho_o}{\rho_w}$, α_{aw} , α_{ao} , α_{ow} , h_d^{ow} , according to [Lenhard, Parker, 1988], ε_{aw} , ε_{ao} , ε_{ow} , or α_{aw} , ε_{aw} and σ_{aw} , σ_{ao} , σ_{ow} .

The calculated LPP volume was revised by means of the total kerosene volume in the column determined as the balance of kerosene input and output. It would be more effective to measure distribution of kerosene along the column but it was rather difficult due to the deficiency of the equipment to measure the LPP content without disturbance of porous media.

We appreciate Earth Science Department of the National Academy of Sciences of Ukraine for the financial support to carry out this research in the frame of the budget theme “Mechanism of light petroleum product movement through the unsaturated zone and in groundwater within airbases”.

3. Ballestero T.P., Fiedler F.R., Kinner N.E. An investigation of the relationship between actual and apparent gasoline thickness in a uniform sand aquifer. *Ground Water*. 1994. Vol. 32, no. 5. P. 708–718.

Ballestero T.P., Fiedler F.R., Kinner N.E., 1994. An investigation of the relationship between actual and apparent gasoline thickness in a uniform sand aquifer. *Ground Water*, vol. 32, no. 5, p. 708–718 (in English).

4. Blake S.B., Hall R.A. Monitoring petroleum spills with wells: some problems and solutions. In: *Proceedings of the 4th National Symposium on Aquifer Restoration and Ground Water Monitoring*. Columbus, OH, NWWA, 1984. P. 305–310.

Blake S.B., Hall R.A., 1984. Monitoring petroleum spills with wells: some problems and solutions. In: *Proceedings of the 4th National Symposium on Aquifer Restoration and Ground Water Monitoring*. Columbus, OH, NWWA, p. 305–310 (in English).

5. Brooks and Corey. Hydraulic properties of porous media. *Hydrology Paper*. 1964, no. 3. Fort Collins, Colorado State University. 27 p.
- Brooks and Corey, 1964. Hydraulic properties of porous media. *Hydrology Paper*, no. 3. Fort Collins, Colorado State University, 27 p. (in English).
6. CONCAWE. Protection of ground water from oil pollution. CONCAWE Report. Den Haag — Water pollution special task force. 1979. no. 1. 61 p.
- CONCAWE, 1979. Protection of ground water from oil pollution. CONCAWE Report. Den Haag — Water pollution special task force, no. 1, 61 p. (in English).
7. Corey A.T. Mechanics of immiscible fluids in porous media. — Highlands Reach, Colorado: *Water Resources Publications*, 1994. 252 p.
- Corey A.T., 1994. Mechanics of immiscible fluids in porous media. — Highlands Reach, Colorado: *Water Resources Publications*, 252 p. (in English).
8. Farr A.M., Houghtalen R.J., McWhorter D.B. Volume estimation of light nonaqueous phase liquids in porous media. *Ground Water*. 1990. Vol. 28, no.1. P. 48–56.
- Farr A.M., Houghtalen R.J., McWhorter D.B., 1990. Volume estimation of light nonaqueous phase liquids in porous media. *Ground Water*, vol. 28, no. 1, p. 48–56 (in English).
9. Hall R.A., Blake S.B., Champlin S.C. Determination of hydrocarbon thickness in sediments using borehole data. In: *Proceedings of the 4th National Symposium on Aquifer restoration and Groundwater Monitoring*. Worthington, OH, NWWA, 1984. P. 300–304.
- Hall R.A., Blake S.B., Champlin S.C., 1984. Determination of hydrocarbon thickness in sediments using borehole data. In: *Proceedings of the 4th National Symposium on Aquifer restoration and Groundwater Monitoring*. Worthington, OH, NWWA, p. 300–304 (in English).
10. Hampton and Miller. Laboratory investigation of the relationship between actual and apparent product thickness in sands. In: *Proceedings of 4th National Outdoor Action Conference on Aquifer Restoration, Ground Water Monitoring and Geophysical Methods*. Las Vegas, NV, 1990. P. 127–142.
- Hampton and Miller, 1990. Laboratory investigation of the relationship between actual and apparent product thickness in sands. In: *Proceedings of 4th National Outdoor Action Conference on Aquifer Restoration, Ground Water Monitoring and Geophysical Methods*. Las Vegas, NV, p. 127–142 (in English).
11. Hughes J.P., Sullivan C.R., Zinner R.E. Two techniques for determining the true hydrocarbon thickness in an unconfined sandy aquifer for estimating the thickness of petroleum. In: *Proceedings of Conference on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemical in Ground Water: Prevention, Detection and Restoration*. Dublin, OH, NGWA, 1988. P. 291–314.
- Hughes J.P., Sullivan C.R., Zinner R.E., 1988. Two techniques for determining the true hydrocarbon thickness in an unconfined sandy aquifer for estimating the thickness of petroleum. In: *Proceedings of Conference on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemical in Ground Water: Prevention, Detection and Restoration*. Dublin, OH, NGWA, p. 291–314 (in English).
12. Lenhard R.J., Parker J.C. A model for hysteretic constitutive relations governing multiphase flow. *Water Resources Research*. 1987. Vol. 23, no. 12. P. 2197–2206.
- Lenhard R.J., Parker J.C., 1987. A model for hysteretic constitutive relations governing multiphase flow. *Water Resources Research*, vol. 23, no. 12, p. 2197–2206 (in English).
13. Lenhard R.J., Parker J.C. Experimental validation of the theory of extending two-phase saturation-pressure relations to three-fluid phase systems for monotonic drainage paths. *Water Resources Research*. 1988. Vol. 24, no. 3. P. 373–380.
- Lenhard R.J., Parker J.C., 1988. Experimental validation of the theory of extending two-phase saturation-pressure relations to three-fluid phase systems for monotonic drainage paths. *Water Resources Research*, vol. 24, no. 3, p. 373–380 (in English).
14. Lenhard R.J., Parker J.C. Estimation of free hydrocarbon volume from fluid levels in monitoring wells. *Ground Water*. 1990. Vol. 28, no. 1. P. 57–67.
- Lenhard R.J., Parker J.C., 1990. Estimation of free hydrocarbon volume from fluid levels in monitoring wells. *Ground Water*, vol. 28, no. 1, p. 57–67 (in English).
15. Van Genuchten M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*. 1980. Vol. 44, no. 5. P. 892–898.
- Van Genuchten M.T., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, vol. 44, no. 5, p. 892–898 (in English).

Received
February 18, 2015

У НАЦІОНАЛЬНОМУ СТРАТИГРАФІЧНОМУ КОМІТЕТІ УКРАЇНИ

П.Ф. Гожик, Н.В. Маслун

14 січня 2015 р. відбулося засідання бюро НСК України, на якому були розглянуті оновлені стратиграфічні схеми нижнього і верхнього венду та палеозою України. Повідомлення з цього питання зробили голова рифей-вендської комісії В.Я. Великанов та голова палеозойської комісії В.І. Полетаєв.

На засіданні були присутні П.Ф. Гожик, В.Я. Великанов, В.І. Полетаєв, Н.В. Маслун, М.М. Іванік, В.Ю. Зосимович та В.М. Шовкопляс.

В.Я. Великанов доповів присутнім, що в основу оновлених схем венду покладено нове палеотектонічне і палеогеографічне районування, яке, на відміну від районування, застосованого в діючих до останнього часу попередніх офіційних схемах (1993 р.), базується на використанні єдиного історико-геологічного підходу, враховує уявлення про різний тектонічний режим ранньо- і пізньовендських структур, особливості еволюції басейнів осадконакопичення, розподіл літо- і вулканофацій. В схеми також включені структурно-фаціальні зони (СФЗ), які в попередніх схемах були відсутні (зони Передгаліційського прогину, Галіційсько-Таврійського складчастого поясу, Овруцького палеорифту). Основні нові положення, зафіксовані в схемах, полягають у такому:

1) скасовані регіональні стратиграфічні підрозділи, що використовувались впродовж десятиліть, але стратотипи яких були розташовані далеко за межами України і не відображали специфіку її розрізів та створювали труднощі при кореляційних побудовах;

2) виділені та обґрунтовані нові стратони замість лапландського, редкінського, котлінського горизонтів, їх границі, показані співвідношення цих границь з серійними літостратиграфічними границями;

3) вилучені як невалідні стратони, що не мають стратотипів і не відносяться до території України, проведена ідентифікація їх з українськими аналогами;

4) виділено та обґрунтовано нові світи в нижньому венді Волині і Поділля, обґрунтовано розчленування деяких з них на верстви;

5) виділено нові світи в могилів-подільській і калинівській серіях верхнього венду Волині (Верхньопріп'ятська, Стирська і Горинська СФЗ) південно-західного схилу Українського щита (Котовсько-Одеська СФЗ);

6) визначено офіційний статус місцевих стратонів, відомих з літературних джерел;

7) наведено нові дані про викопні Metazoa і біогліфи з нових місцезнаходжень вендо-едіакарської фауни Подільського Придністров'я;

8) показано, що розріз венду України є гіпостратотипом вендської системи.

Удосконалення схем здійснювалось на основі нових матеріалів з геологічного довивчення масштабу 1:200 000 і виданих комплектів Держгеолкарти-200. Крім того, використані результати пошукових робіт на мідь, палеогеографічні реконструкції, матеріали робіт з підготовки геофізичної основи під ГДП-200.

Укладачами схеми є В.Я. Великанов, В.Г. Мельничук, К.В. Іванченко, Л.І. Константиненко, Т.П. Міхницька, Г.В. Мельничук. Для палеонтологічного обґрунтування схеми використані результати досліджень М.О. Федонкіна, М.Б. Гніловської, Є.О. Асеевої, Ю.О. Гуреева, А.А. Іщенко, В.М. Палія, В.П. Гриценка та ін.

В розчленуванні місцевих розрізів, крім матеріалів авторів схем, враховані звітні і

опубліковані дані Л.В. Коренчук, а також виконавців геологійомочних робіт, проведених упродовж останніх 10-15 років (В.Л. Приходько, В.Г. Зелінський, Ф.О. Гречко, П.П. Крещук, Ю.Д. Харчишин, П.Ф. Брацлавський, В.В. Лукаш, Г.Г. Виноградов, Б.І. Власов, І.І. Гарбуз, В.Я. Іванченко, В.Ф. Судовцев та ін.).

Оновлені стратиграфічні схеми венду України опубліковані і детально охарактеризовані в монографії «Стратиграфія верхнього протерозою і фанерозою України» (т. 1, 2013 р.) та «Геологічному журналі» № 4 (349), 2014 р. Внесені також уточнення в схему рифейських утворень. Вони стосуються районування і виділення СФЗ, віку збраньківської світи і поліської серії. Автор цих уточнень – Т.П. Міхницька.

Доповідь В.І. Полетаєва про оновлені стратиграфічні схеми палеозою України базувалася на результатах розгляду членами палеозойської комісії модернізованих схем усіх систем палеозою, оприлюднених окремою статтею у «Геологічному журналі» № 4 (349), 2014 р. Констатовано, що оновлені стратиграфічні схеми палеозою також опубліковані і детально охарактеризовані в

монографії «Стратиграфія верхнього протерозою і фанерозою України» (т. 1, 2013 р.).

В обговоренні повідомлень взяли участь всі присутні. Бюро НСК України ухвалило:

1. Затвердити модернізовані схеми стратиграфії вендських та палеозойських утворень України.

2. Вважати за необхідне внести відповідні зміни в легенди геологічних карт, що складаються в процесі геологійомочних робіт із створення Держгеолкарти-200.

Окремим пунктом виробничим підприємствам і науково-дослідним установам, що ведуть дослідження по вивченню верхньокембрійських утворень України, рекомендовано:

– зосередити увагу на поглибленому вивченні вендських утворень як гіпостратотипу системи;

– зробити ревізію матеріалів глибокого буріння на нафту і газ (опубліковані джерела, kern свердловин) з метою їх додаткової переінтерпретації і лабораторних досліджень.

Ін-т геол. наук
НАН України,
Київ

Стаття надійшла
03.03.2015

УДК(553.98:550.812):551.439](477)

ОБОСНОВАНИЕ НОВОЙ ПОИСКОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ И ЕЕ АДАПТАЦИЯ НА ТРАДИЦИОННЫХ И НЕТРАДИЦИОННЫХ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ОБЪЕКТАХ ИМПАКТНЫХ СТРУКТУР УКРАИНЫ

И.Д. Багрий

(Рекомендовано акад. НАН Украины П.Ф. Гожиком)

Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: bagrid@ukr.net

Доктор геологических наук, заведующий отделом.

Рассмотрена возможность повышения эффективности геологоразведочных работ на нефть и газ в результате внедрения научно-обоснованных теоретических представлений и новых технологий изучения нетрадиционных нефтегазоносных объектов – импактных структур. Приведен краткий обзор научных исследований и производственных работ по оценке перспектив нефтегазоносности импактных структур кристаллического фундамента как за рубежом, так и на территории Украины. На основе многократного анализа имеющихся данных сделан вывод о диффузионной природе прямопоисковых газогеохимических аномалий над нефтяными и газовыми месторождениями. Это позволило эффективно использовать при оценке нетрадиционных объектов, в том числе импактных структур, комплекс геолого-структурно-термо-атмогеохимических исследований (СТАГИ). В качестве примера приведены картографические результаты изучения этим методом Оболонской импактной структуры. Выполнен также анализ аэрокосмических съемок по Сильянской импактной структуре и предложены некоторые рекомендации по дальнейшему изучению ее нефтегазоносности. Внедрение методических подготовок и технологий автора может привести не только к открытию новых промышленных залежей нефти и газа, но и к проведению целенаправленных поисков потенциально нефтегазоносных импактных структур на Украинском щите, в Днепровско-Донецкой впадине и других регионах.

Ключевые слова: импактные структуры, кристаллический фундамент, прямопоисковые газогеохимические методы, нефтегазовые объекты.

JUSTIFICATION OF THE NEW EXPLORATORY TECHNOLOGY AND ITS ADAPTATION TO THE CONVENTIONAL AND UNCONVENTIONAL OIL AND GAS FACILITIES OF IMPACT STRUCTURES OF UKRAINE

I.D. Bagriy

(Recommended by academician NAS of Ukraine P.F. Gozhik)

Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine, E-mail: bagrid@ukr.net

Doctor of geological sciences, chief department.

The possibility of increasing the efficiency of exploration for oil and gas as a result of the implementation of evidence-based theoretical concepts and new technologies of studying unconventional oil and gas facilities - impact structures is analyzed. There is a brief review of the research and production activities to assess oil and gas potential of impact structures of the crystalline basement abroad and in Ukraine. On the basis of repeated analysis of available data it is concluded

that the direct exploratory geochemical anomalies above oil and gas deposits have the diffusion nature. This effectively allowed using in the assessment of unconventional sites, including the impact structures, the geological-structural-thermal-atmogeochemical research (STAGR). As an example, there are the mapping results of the study of Obolonskaya impact structure by this method. The satellite survey analysis of Silyanskaya impact structure is also performed and some recommendations for further study of its oil and gas potential are offered. Implementation of author methodical preparations and technologies can not only lead to the discovery of new industrial oil and gas deposits, but also to conduct targeted searches of oil and gas bearing impact structures on the Ukrainian shield, in the Dnieper-Donets Basin and other regions.

Key words: impact structures, the crystalline basement, direct exploratory gas-geochemical methods, oil and gas facilities.

ОБГРУНТУВАННЯ НОВОЇ ПОШУКОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЇЇ АДАПТАЦІЯ НА ТРАДИЦІЙНИХ І НЕТРАДИЦІЙНИХ НАФТОГАЗОНОСНИХ ОБ'ЄКТАХ ІМПАКТНИХ СТРУКТУР УКРАЇНИ

І.Д. Багрій

(Рекомендовано акад. НАН України П.Ф. Гожиком)

Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна, E-mail: bagrid@ukr.net

Доктор геологічних наук, завідувач відділом.

Розглянуто можливість підвищення ефективності геологорозвідувальних робіт на нафту і газ в результаті впровадження науково-обгрунтованих теоретичних уявлень і нових технологій вивчення нетрадиційних нафтогазоносних об'єктів – імпактних структур. Наведено короткий огляд наукових досліджень і виробничих робіт з оцінки перспектив нафтогазоносності імпактних структур кристалічного фундаменту як за кордоном, так і на території України. На основі багаторазового аналізу наявних даних зроблено висновок про дифузійну природу прямопошукових газогеохімічних аномалій над нафтовими і газовими родовищами. Це дозволило ефективно використовувати при оцінці нетрадиційних об'єктів, у тому числі імпактних структур, комплекс геолого-структурно-термо-атмогеохімічних досліджень (СТАГД). Як приклад наведено картографічні результати вивчення цим методом Оболонської імпактної структури. Виконано також аналіз аерокосмічних зйомок по Сильянській імпактній структурі і запропоновано деякі рекомендації щодо подальшого вивчення її нафтогазоносності. Впровадження методичних підготовок і технологій автора може привести не тільки до відкриття нових промислових покладів нафти і газу, але і до проведення цілеспрямованих пошуків потенційно нафтогазоносних імпактних структур на Українському щиті, в Дніпровсько-Донецькій западині та інших регіонах.

Ключові слова: імпактні структури, кристалічний фундамент, прямопошукові газогеохімічні методи, нафтогазові об'єкти.

В последнее время состояние сырьевой базы в известных районах нефтяной и газовой промышленности характеризуется многолетним стабильным снижением добычи как вследствие многолетнего истощения заледействованных в промышленную разработку месторождений нефти и газа, так и практически 100%-ным введением в эксплуатацию новых месторождений, обоснованных только осадочно-миграционной теорией происхождения углеводородов (УВ).

Решить эту проблему за счет концентрации сил и средств при освоении традиционных нефтегазоносных объектов, к сожалению, в Украине невозможно из-за их сложного строения, небольших размеров и значительных глубин.

Учитывая изложенное, выход из такого кризисного состояния можно искать на основе новых технологических приемов технически доступными и экономически обоснованными подходами, модифициро-

ванными методиками промышленного освоения нетрадиционных поисковых объектов, в данном случае – импактных структур.

Начиная с 60-х годов XX ст. перспективами поисков нефти и газа в кристаллических породах и импактных структурах Украины по инициативе В.Б. Порфирьева, В.А. Краюшкина, В.П. Ключко, А.Е. Лукина предпринимаются первые попытки исследования на основе их природы и особенностей строения нефтегазоносности астроблем и возможных условий аккумуляции нефти и газа в над- и подкратерных трещинных зонах импактных структур.

Опыт Академии наук Америки в освоении нефтегазоносности астроблем свидетельствует о том, что только с 1980 г. правительство США выделило на научные исследования 10 млн долларов, в частности на разработку перспектив в кристаллических породах, а также 4 млн долларов на бурение скважин глубиной до 5 км, что привело к значительным открытиям промышленной нефтегазоносности астроблем [Гожик и др., 2010].

Анализируя результаты открытия промышленных месторождений нефти и газа в импактных структурах бассейна Уиллистон, где проведен большой объем бурения, приходим к выводу, что коэффициент успешности приближается к 1. Все введенные на нефть и газ импактные структуры оказались промышленными месторождениями (Вьюфилд, Чел Батт, Ньюпорт и Ред Уинг Крик).

Статистика поисковой успешности на нефть и газ в зонах развития импактных структур свидетельствует не о 100%-ных результатах на всех пробуренных скважинах, а о самом главном выводе – все импактные структуры оказались нефтегазопродуктивными. Следовательно, создание новой прямопоисковой технологии поможет значительно увеличить коэффициент успешности.

Согласно проведенному нами предварительному анализу результатов исследований нефтегазоносности импактных структур Украины, можно утверждать, что если непосредственно в рамках каждой рассматриваемой структуры достичь коэффициента успешности 0,25 или даже 0,1, то и тогда предусмотренные нефтегазовые

ресурсы Украины превысят начальные разведочные суммарные запасы осадочной толщи Украины (В.А. Краюшкин, 1994).

Поэтому сегодня, как никогда, актуальными являются вопросы повышения эффективности поисково-разведочных работ на нефть и газ, так как настоящее плачевное состояние эффективности традиционных поисковых работ, особенно на нетрадиционные УВ, выражается в катастрофически малой эффективности поискового бурения.

Значительное удорожание работ практически без научно-теоретического обоснования на подготовку запасов нефти и газа, а также отсутствие прямопоисковых революционных технических и технологических решений в этой области привело к свертыванию и стагнации поисково-разведочных работ в большинстве нефтегазоносных регионов Украины, а тем более новых площадей нетрадиционных УВ.

Научно-методические разработки технологии являются всего лишь инструментом в руках геолога, и такой старательский подход привел многих ученых и производственников к выводу: «прямых» теоретических и технических методов поисков залежей нефти и газа в настоящее время не существует. Низкий коэффициент подтверждает результаты поисковых работ на сегодняшний день свидетельствует о недостаточном уровне развития эффективного методико-технического решения проблемы и необходимости подхода к прогнозированию нефтегазоносности недр на новой генетической основе. В настоящее время сейсморазведка как основной метод подготовки объектов для поисково-разведочного бурения, даже в трехмерном исполнении и с максимально высоким разрешением, не позволяет выявлять залежи нефти. Она лишь с большей степенью достоверности и детальности картирует структуры, которые при определенных благоприятных условиях могут содержать залежи УВ, а могут их и не содержать. Снять эту неопределенность может только «долото». Вопрос лишь, какой ценой [Тимурзиев, 1989].

Успешность поисков как была в пределах 10-30% в «низкотехнологическом» прошлом и «высокотехнологическом» сегодня США, так и держится в этих пределах и будет держаться до тех пор, пока нефтяникам не

предложат новые обоснованные поисковые технологии. Смысл повышения эффективности этих исследований в предлагаемой нами прямопоисковой технологии состоит в обосновании достаточного комплекса отраженных сигналов, а также универсальных причинно-следственных связей, на единой генетической основе модельного отражения комплекса пространственно-стратиграфической локализации залежей нефти и газа в недрах земной коры. Знание этих связей, а также физико-химических, геолого-структурных условий, термодинамических процессов формирования залежей и их отраженных сигналов нефтегазоносности дает возможность выполнить прогнозное картирование на дневной поверхности. Критериями нефтегазоносности, основанными на закономерностях локализации (объемной концентрации) выявленных запасов УВ, обусловлен набор научно-обоснованного комплекса соответствующих признаков отраженных косвенных и прямопоисковых сигналов.

Прямые показатели отличаются от косвенных не по степени их надежности, а по характеру связи с месторождением (залежью). Под прямыми следует понимать поиски месторождений, которые ведутся на основе фиксируемых на земной поверхности (а также в приповерхностных отложениях, почвах и неглубокозалегающих водоносных горизонтах) только геохимических аномалий по УВ, обусловленных залежью, а не ловушкой.

Случаи полного соответствия в практике геологоразведочных работ на нефть и газ достаточно редки и отмечены лишь для некоторых сравнительно неглубокозалегающих в специфических геологических условиях месторождений.

Невысокую информативность прямопоисковых углеводородно-геохимических методов из-за отсутствия положительных прогнозов объясняли техническим несовершенством той или иной методики, пробоотборников и низкой чувствительностью газоанализаторов. По-видимому, это было связано с другими более глубокими причинами и прежде всего с недостаточной изученностью и обоснованностью трактовки закономерностей формирования нефтяных и газовых залежей и их отраженных на по-

верхности ореолов рассеянных УВ как единственного прямопоискового показателя. В частности, до сих пор при теоретическом обосновании диффузионного механизма формирования ореолов рассеянных УВ над месторождениями не учитываются такие основополагающие факторы, как соотношение масштабов латеральной и вертикальной миграции УВ при образовании залежей и их отраженных сигналов на поверхности. Как показывает наш многолетний опыт картирования прогнозных участков нефтегазоносных комплексов, а также закономерностей отражения нефтяных и газовых залежей в виде «гало» или «шапки» (В.А. Соколов, 1971), реальные месторождения, в зависимости от их возраста и конкретных геолого-структурных условий залегания, могут коренным образом отличаться друг от друга отраженными сигналами по масштабам ореолов УВ и их проявления в приповерхностных отложениях.

Кроме того, в процессе исследования и картирования разломных зон различной проницаемости у исследователей возникают вопросы их роли в процессе миграции и накопления УВ, наличии многовекторности разрозненных методических подходов и отсутствии единой обоснованной технологии.

Все это и является главной причиной низкой эффективности углеводородно-геохимических прямопоисковых методов, равно как и различных косвенных показателей, используемых при картировании прогнозных площадей нефтяных и газовых месторождений. Последнее относится не только к геохимическим, но и к геолого-структурным, гидролого-гидрогеологическим, термодинамическим условиям, а также к вопросам миграции, фильтрации, литостратиграфии, гидрогеохимии.

Все изложенное свидетельствует о единстве комплекса процессов формирования углеводородной залежи и ее диффузионных и геотемпературных условий. Установленные закономерности на основе многократного анализа диффузионной природы прямопоисковых углеводородно-геохимических аномалий над нефтяными и газовыми месторождениями, согласно разработанной и применяемой нами технологии (структурно-термо-атмогеохимические исследо-

вания – СТАГИ) [Патент..., 2010; Свідoctво..., 2009], позволяют существенно детализировать и уточнить прогнозно-перспективные контуры искоемых продуктивных объектов на единой основе обработки математико-статистической методики данных технологической схемы опробования и структурно-геологической информации.

Согласно предлагаемой прямопоисковой технологии СТАГИ, задача сводится к формализации комплексных критериев нефтегазоносности недр, сопоставлению и описанию закономерностей нефтегазоносности изучаемой территории количественными параметрами этих критериев, выявлению их корреляционных зависимостей и поиску новых залежей с использованием математических статистических методов. Резонный вопрос: если решения так просты, почему они до сих пор не стали достоянием геологической общественности и не используются в практике поисковых работ? Ответ простой и одновременно жесткий. Без «освобождения» нефтегазовой геологии от устаревших догм отрицания той или иной (биогенной, абиогенной) гипотезы происхождения месторождений УВ, в соответствии со здравым смыслом, геологическими условиями залегания УВ в земной коре и физическими законами, интерпретации массива данных отраженных сигналов на фундаменте геолого-структурных результатов исследований, принятие правильных решений в этой сфере невозможно.

На одном из совещаний выдающийся украинский геолог В.Б. Порфирьев отметил: «Мы, геологи, можем делать прогнозы перспектив только в очень широком плане, только в масштабе целых регионов. Направлять поиски и разведку в конкретных районах на основе теоретических представлений об условиях образования нефти и принципов ее миграции еще не можем. Попытки же отдельных товарищей утверждать, что промышленная нефтеносность того или иного региона была открыта на основе указаний той или иной теории происхождения, или наивны, или недобросовестны.

Нет, мы не сомневаемся в принципах, на которых построена наша абиогенная геохимическая схема высокотемпературного образования нефти из гомогенных и высокообводненных скоплений органического

вещества и нам совершенно ясно, что если где-нибудь и когда-нибудь создаются требуемые этой схемой условия, то ничего другого, кроме нефти, из этого скопления органического вещества не получится.

Поэтому представленной нами совокупности фактов не были противопоставлены факты противоположного значения» [Проблема..., 1959, с. 20].

Усилия же энтузиастов, как показал многолетний опыт, не в состоянии решить проблему в ее системно-прикладном аспекте. Таким образом, несмотря на большое количество разрозненных теоретических и опытно-методических разработок, эффективная технология прямых поисков нефти и газа, особенно нетрадиционных месторождений в кристаллических породах, отсутствовала. Связано это, в частности, с тем, что решением данной проблемы занимались преимущественно химики и микробиологи, геохимики и геофизики. Их основные усилия были сосредоточены на решении задачи прямых поисков на основе той или иной парадигмы происхождения УВ, разработки различных методов геохимических и геофизических исследований, принципов их интерпретации, на конструировании различного рода приборов и устройств, концентрируясь в определенных направлениях геохимии, сейсмологии, электроразведки, геотермии и т.п. При этом каждый из этих исследователей был ярым «патриотом» не только своего метода, но и концепции происхождения УВ и на этой основе ее модификации. Между представителями биогенной и абиогенной гипотезы, геохимиками и геофизиками, даже в рамках одного направления (газовая и микробиологическая съемка, сейсморазведка, геотермия и т.п.), нередко возникали непримиримые противоречия [Лукин, 2004].

В процессе наших исследований, как было указано ранее, при создании прямопоисковой технологии мы опирались на фундаментальные основы двух парадигм происхождения УВ на основе комплексного подхода широкого спектра поисковых критериев.

Однако путь повышения эффективности прямых поисков нефти и газа, как показал наш опыт разработки и внедрения результатов СТАГИ, связан с новой предлагаемой

технологией на основе системного подхода к интерпретации ее результатов. Поэтому в основу комплексной методики СТАГИ положены научно-методические авторские разработки существующих достижений в области прямопоисковых и косвенных методик, а также авторские усовершенствования и внедрения в практику геологоразведочных работ прогнозирования и поисков залежей УВ по комплексу экспресс-методов исследований (структурно-тектонического, газогеохимического, термометрического, атмогеохимического, аэрокосмического, формационного, сейсмометрического) (рис. 1) [Патент..., 2010; Свідoctво..., 2002].

В отличие от большинства ранее проведенных на территории Украины исследований нефтегазоносности астроблем, которые выполнены в основном в профильном варианте или с определением только отдельных показателей разного значения, генезиса и информативности, исследования СТАГИ осуществлены в площадном варианте, с достаточной степенью детальности на обоснованных поисково-прогнозных объектах, по четко определенной сети пунктов исследований, которые имели точную географическую привязку. Комплекс термометрических, эманационных и газогеохимических исследований выполнялся в

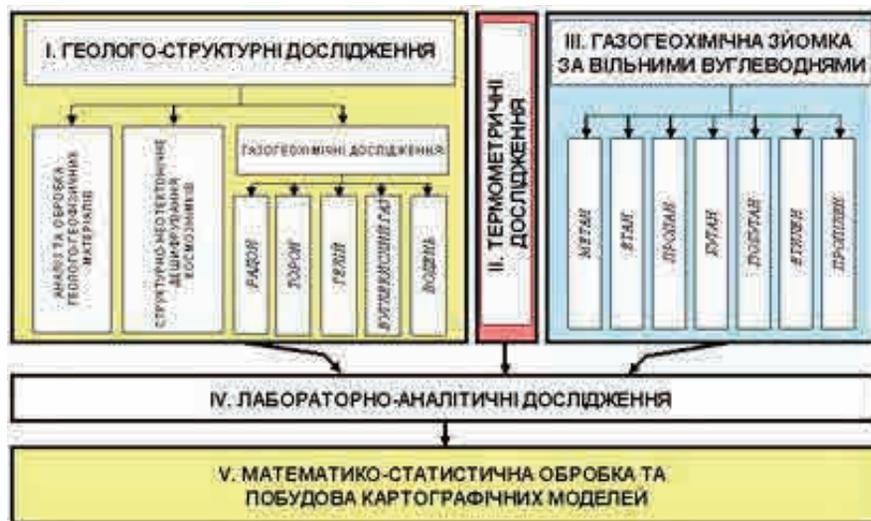


Рис. 1. Принципіальна схема геолого-структурно-термо-атмогеохімічних досліджень (СТАГИ)

Fig. 1. Schematic diagram of the geological-structural-thermal-atmochemochemical research (STAGR)

Положительные результаты использования предложенной технологии, полученные на многих объектах Украины, включая кристаллические породы, были достигнуты на основании внедрения фундаментальных исследований И.М. Губкина, В.А. Соколова, П.Н. Кропоткина, В.Б. Порфирьева, А.Е. Лукина. Созданная прямопоисковая технология была испытана и адаптирована при промышленном освоении как традиционных, так и нетрадиционных нефтегазоносных объектов, в том числе таких, как импактные структуры, или астроблемы.

Кроме того, нами при проведении приповерхностных термометрических и атмогеохимических исследований были разработаны и внедрены специальные аппаратные комплексы [Патент..., 2004; Патент..., 2009] необходимой чувствительности и экспрессности.

одном и том же пункте наблюдений. Такие особенности методики проведения СТАГИ обеспечивали необходимую комплексную, максимально полную информативность данных и результатов исследований, обоснованное прогнозное районирование территории работ и, соответственно, выделение локальных участков разной перспективности на поиски УВ, уточнение контуров продуктивных структур для постановки поисковых работ.

Разработанная технология СТАГИ позволяет более аргументированно определять позицию и прогнозную значимость блоков и структур, благоприятных для формирования ловушек УВ и приуроченных к ним нефтегазовых залежей. Результаты проведенных исследований приводим на примере изучения Оболонской импактной структуры (рис. 2-4).

Первый этап – сбор, систематизация и интерпретация материалов для построения геологической модели полигона. Включает следующее: подробную стратификацию, особенности структурно-тектонического строения и нефтегазоносности полигона или отдельных участков исследований, создание компьютерных фактографических и картографических баз данных, дешифрирование материалов космических съемок,

уточнение геодинамики, местных и региональных стратиграфических схем, построение соответствующих карт – структурных, разломно-блоковой тектоники, разномасштабных сейсмопрофилей и т.п. (рис. 2-4).

Эти материалы являются геолого-структурной основой для определения дальнейших направлений исследований, сети пунктов термо-атмогеохимического опробования и объемов работы.

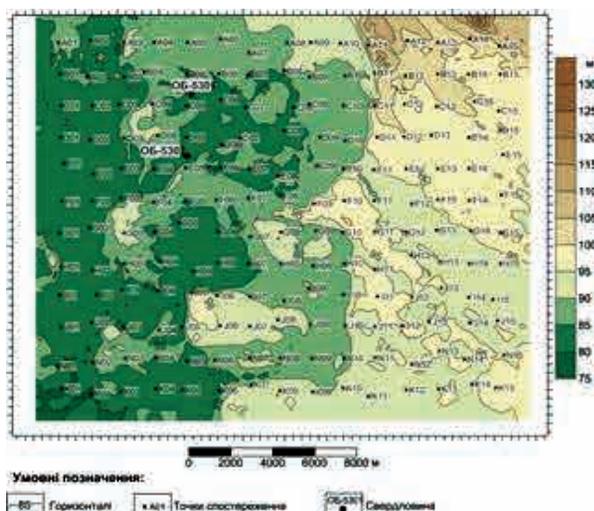


Рис. 2. Схема размещения пунктов СТАГИ в пределах Оболонской импактной структуры

Fig. 2. Scheme of points of STAGR within Obolonskaya impact structure

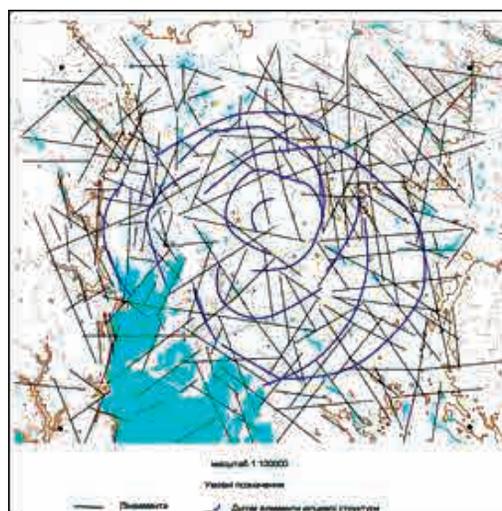


Рис. 3. Детальная схема дешифрирования космоснимков Оболонской структуры

Fig. 3. The detailed scheme of satellite images deciphering of Obolonskaya structure

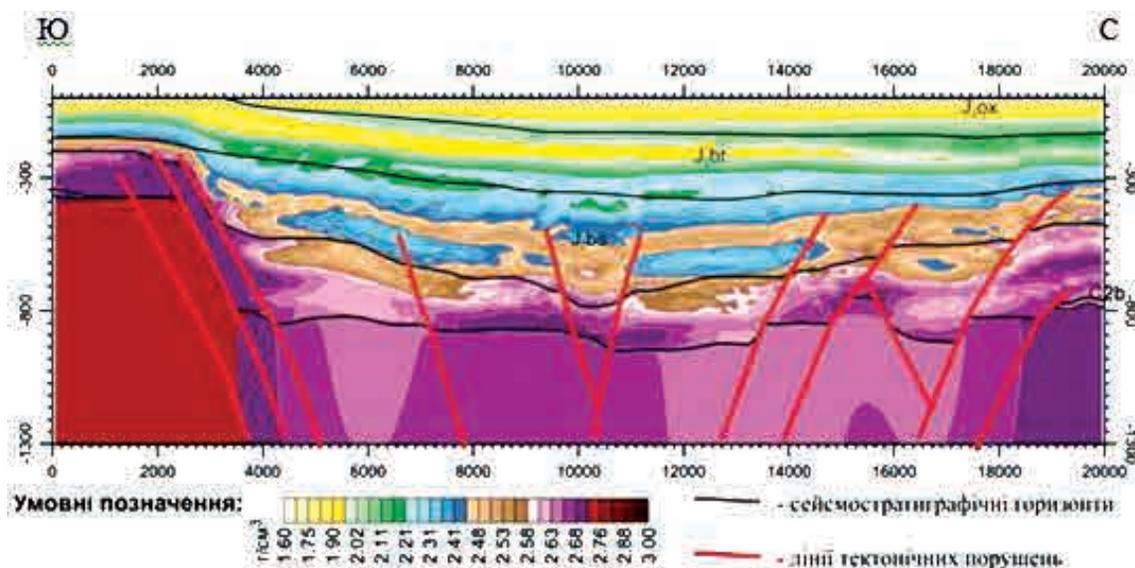


Рис. 4. Геоплотностной разрез вдоль кросслайна 285 до глубины 1300 м

Fig. 4. Geodensity structure along the crossline 285 to a depth of 1300 m

Второй этап – экспедиционные полигонные или профильные исследования:

– Эманиационная съемка (определение активности радона и торона) (рис. 5). Определяются разломные зоны различной проницаемости, приразломные территории.

– Отбор проб для определения содержания в подпочвенном слое гелия, водорода, углекислого газа, отражающие зоны миграции, а также зоны трещенатости и зоны растяжения и накопления как пути миграции и приуроченные к ним участки скопления УВ (рис. 5).

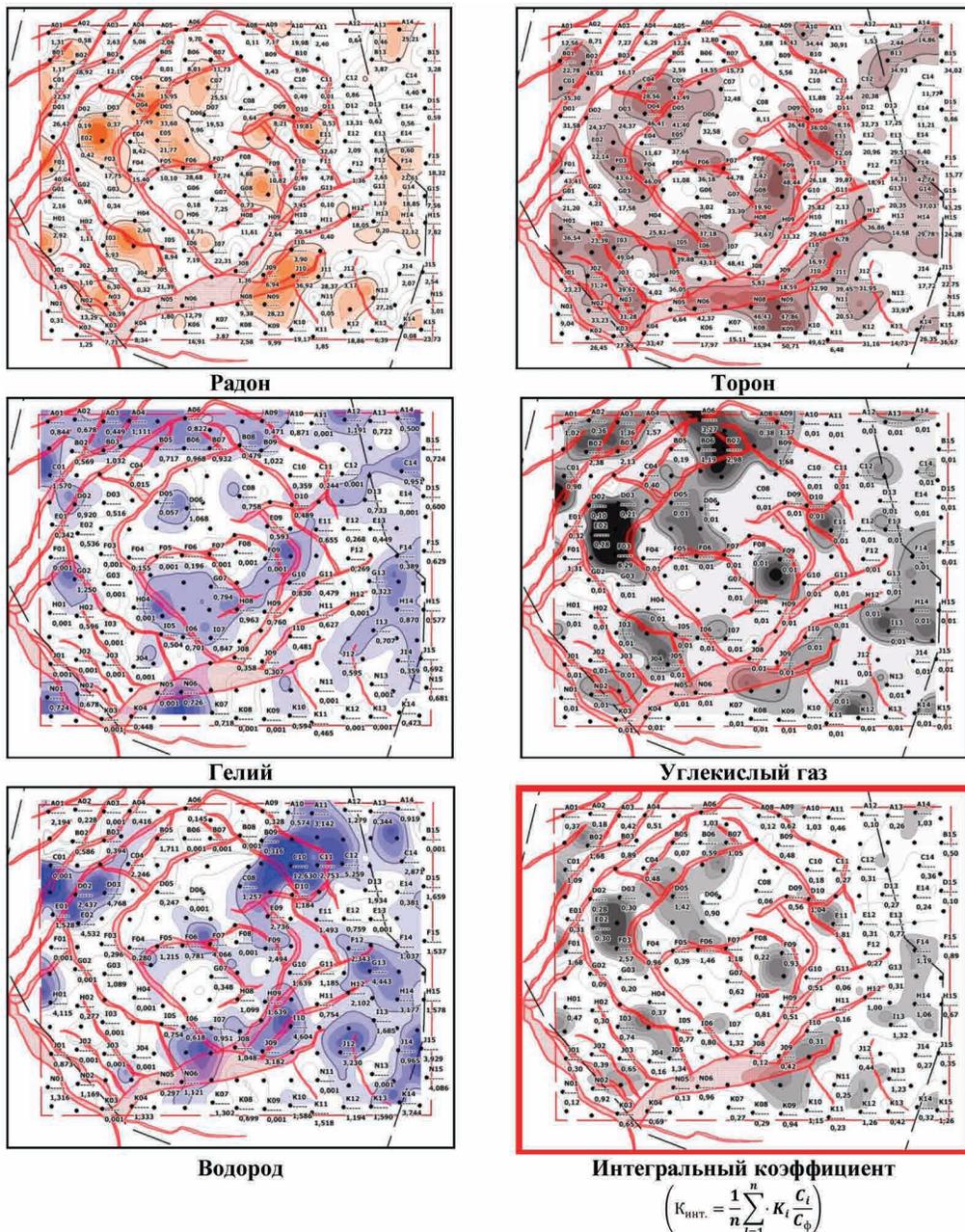


Рис. 5. Схемы распределения содержания радона, торона, гелия, углекислого газа, водорода в подпочвенном воздухе и значений интегрального коэффициента на территории Оболонской импактной структуры (на основе структурной карты кристаллического фундамента по результатам 3D)

Fig. 5. The distribution schemes of radon, thoron, helium, carbon dioxide, hydrogen content in the subsoil air and integral coefficient in the territory of Obolonskaya impact structure (based on the structure map of the crystalline basement according to the 3D results)

– Термометрические исследования подпочвенного слоя пород. Многие исследователи указывают, что в разных нефтегазоносных провинциях мира установлена связь локальных геотермических аномалий с залежами нефти и газа, отраженными в осадочном чехле (Е.Б. Чекалюк, 1974).

Локальные геотермические аномалии, согласно законам термодинамики, имеют направленность тепловой энергии в соот-

ветствии с обобщающей тенденцией к выравниванию энергетических потенциалов системы и спонтанно эволюционируют в вертикальном направлении энергетического равновесия, при котором тепло может переходить от нагретого тела к холодному, а не наоборот. В данном случае – от залежи в сторону поверхности, где и формируются тепловые аномалии, что указывает на залежи УВ (рис. 6).

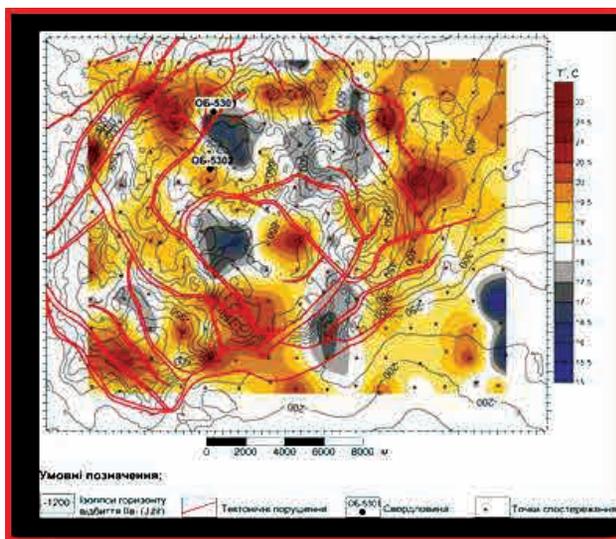
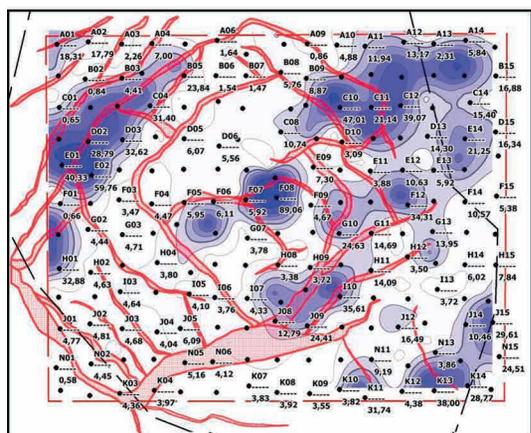


Рис. 6. Схема распределения температурных показателей (Т, °С) подпочвенного слоя Оболонской структуры (на основе структурной карты кристаллического фундамента по результатам 3D)

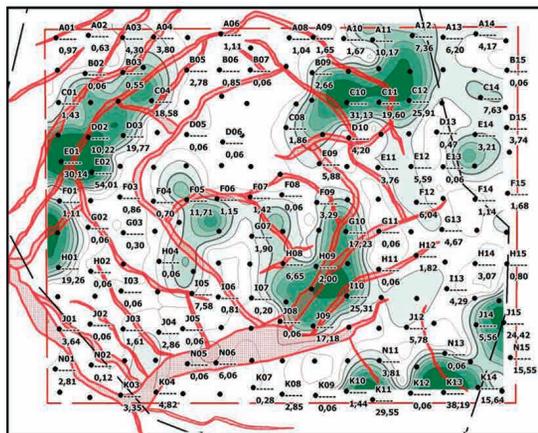
Fig. 6. The distribution scheme of temperature indicators (T, °C) of subsoil layer of Obolonskaya structure (based on the structural map of the crystalline basement according to the 3D results)

Третий этап – лабораторно-аналитические исследования газовых проб (определение объемного содержания углекислого

газа, гелия, водорода, метана, этана, пропана, бутана, изобутана, пентана, изо-пентана, гексана, этилена, пропилена) (рис. 7).



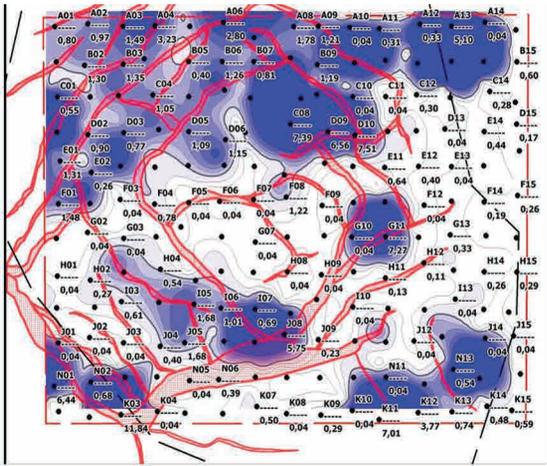
Метан



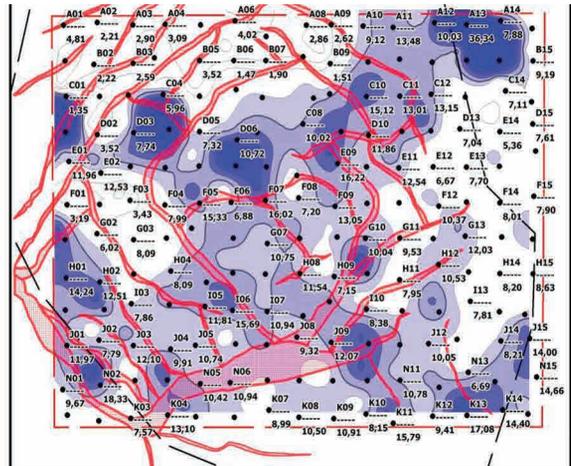
Этилен

Рис. 7 (начало). Схемы распределения показателей содержания УВ и их суммы в подпочвенном воздухе Оболонской структуры (на основе структурной карты кристаллического фундамента по результатам 3D). Продолжение и окончание см. на с. 114, 115

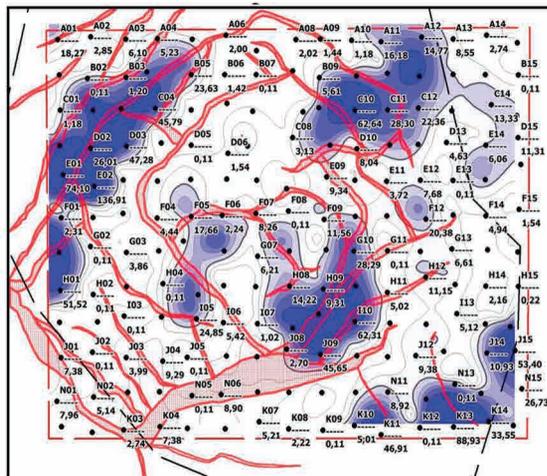
Fig. 7 (beginning). Schemes of hydrocarbon content indicators and the amount in the subsoil air of Obolonskaya structure (based on the structural map of the crystalline basement according to the 3D results). Continuing and ending see p. 114, 115



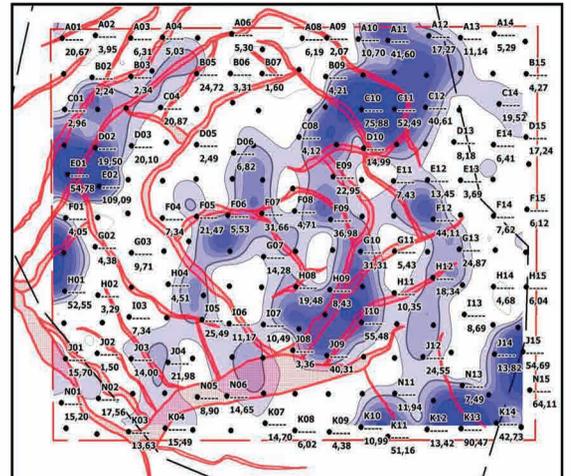
Изобутан



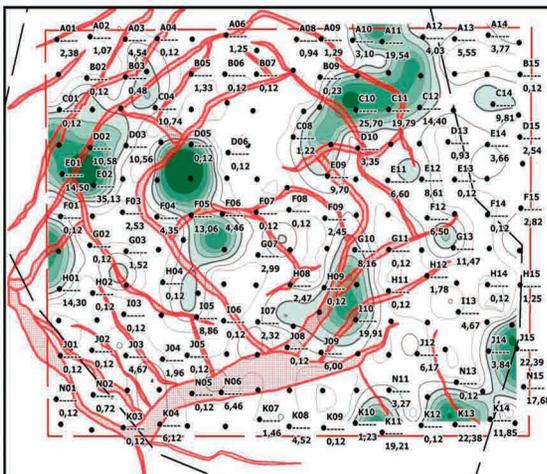
Этан



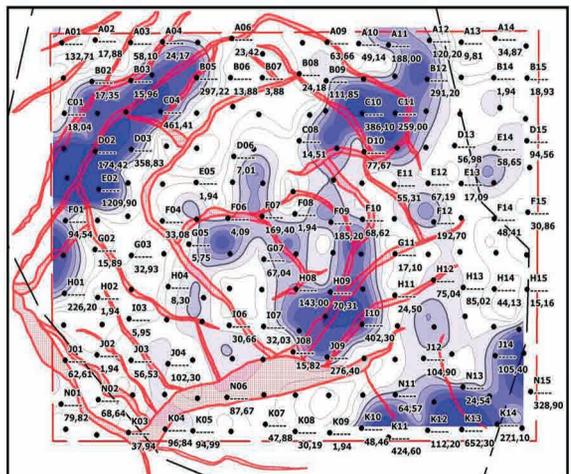
Бутан



Пропан



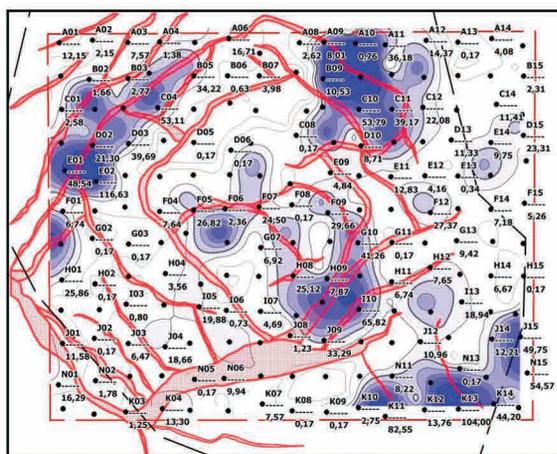
Пропилен



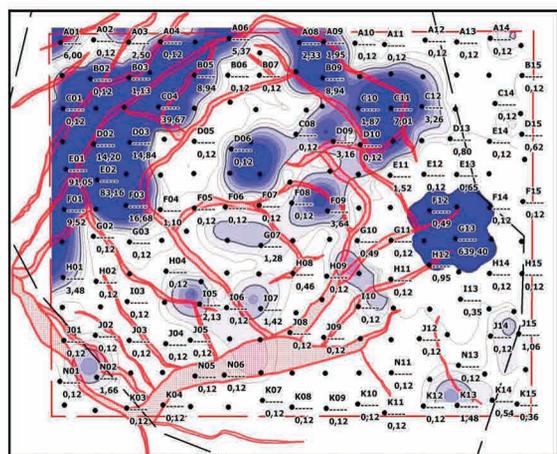
Изопентан

Рис. 7. Продолжение

Fig. 7. Continuing



Пентан



Гексан

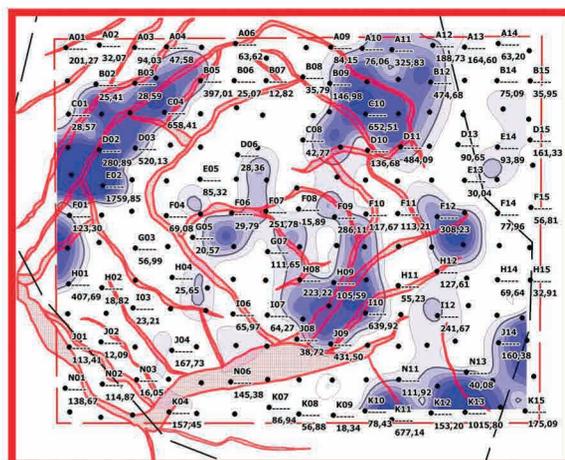
Рис. 7. Окончание
Fig. 7. Ending

Четвертый этап – математико-статистическая обработка и анализ полученных данных (с учетом информации, собранной и систематизированной на первом этапе), построение компьютерных картографических моделей (как специализированных, по отдельным показателям, так и обобщенных, прогностических) с применением ГИС-технологий.

Пятый этап – комплексная интерпретация полученных геохимических, геотермических, геологических данных. Определяются атмогеохимические аномалии, приуроченность повышенных концентраций углеводородных газов; прогнозируется нефтегазоперспективность изученных объектов; готовятся соответствующие рекомендации относительно дальнейших исследований (рис. 8).

На заключительном этапе картирования нефтегазоносных площадей для увеличения точности прогнозных решений очень важным является применение комплексных подходов, когда нефтегазоперспективный объект рассматривается как результат сложного взаимодействия различных факторов образования и изменений, как многомерная модель, которую теоретически и практически исследуют всеми возможными методами.

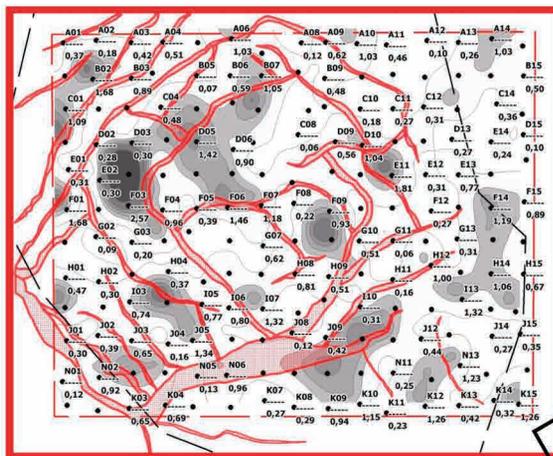
Большие массивы данных, полученных результатов необходимо корректно интер-



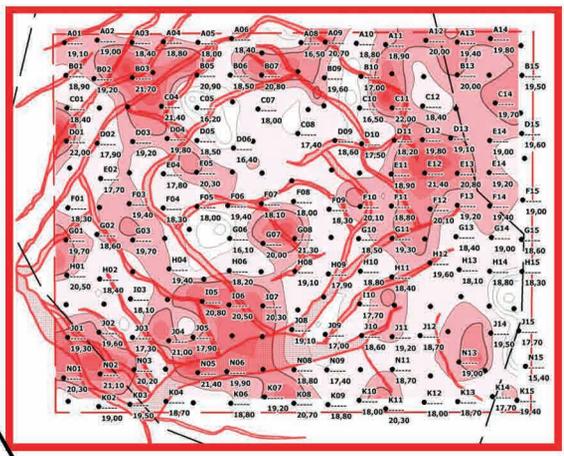
Сумма гомологов метана

претировать и оценивать степень их информативности, что возможно только с привлечением математико-статистических методов расчета. Объединение таких методов в систему значительно упрощает процесс анализа данных и делает его логически и математически верным, чем существенно совершенствует поисковую методiku. В то же время система математико-статистических методов должна максимально точно описывать реальные геологические условия, не внося ненужных обобщений, или, наоборот, не исключать необходимые данные.

Технологические и аналитические инновации при поиске месторождений УВ должны быть объединены с возрастающим технологическим потенциалом при их добыче. В таком случае поиск, освоение и разработка месторождений УВ выйдут на качественно новый уровень.



Интегральная карта (схема) геолого-структурных исследований



Карта (схема) распределения геотермических аномалий

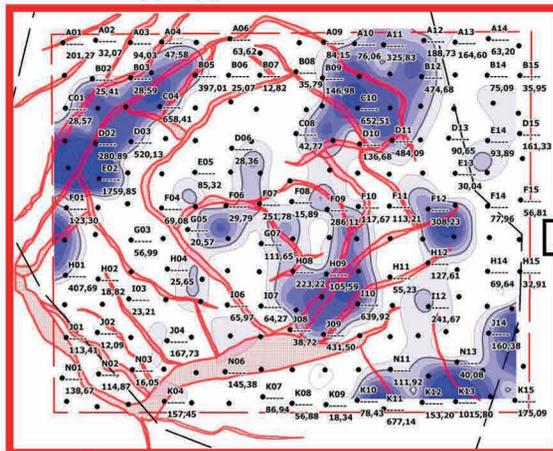
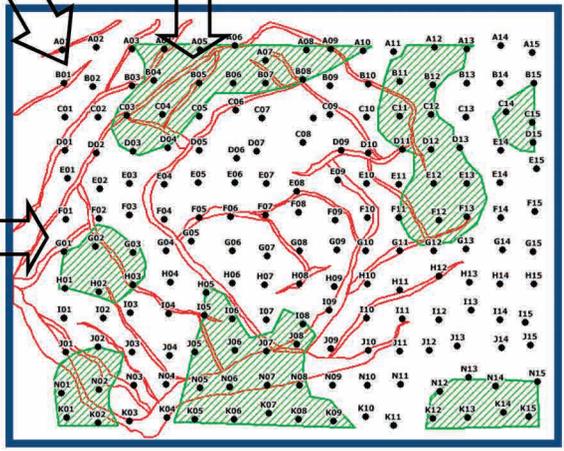


Схема распределения показателей содержания суммы гомологов метана



Карта (схема) перспективных участков на поиски УВ в пределах Оболонской импактной структуры

Рис. 8. Построение карт (схем) с выделением участков, перспективных на поиски УВ
Fig. 8. Mapping (schemes) with the highlighting of potentially hydrocarbons bearing sites

Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения точности прогнозных решений, которые бы опирались на систему математически-статистических расчетов при реализации технологии СТАГИ.

Мы разработали и опробировали методику математически-статистического анализа результатов СТАГИ и установили оптимальную схему ее реализации. Использование методики позволило уточнить прогнозируемые контуры в пределах изучаемых площадей как на суше, так и в морских акваториях.

Полученные нами результаты газохимической съемки по методике СТАГИ в большинстве случаев являются аналогичными

таковым на известных месторождениях с минимальными значениями на своде и максимальными на крыльях. Такое отображение залежи соответствует контуру непроницаемой ловушки (рис. 9). Минимальные газохимические показатели содержания УВ почти всегда совпадают с минимальными значениями радон-тороновых показателей, характеризующих проницаемые, а при фоновых и ниже значениях – непроницаемые зоны (зоны формирования ловушки).

Геометризация и прогнозирование трещинных зон и зон растяжения и их пространственное размещение – комплексная задача, решение которой невозможно без понимания совместного деформационного

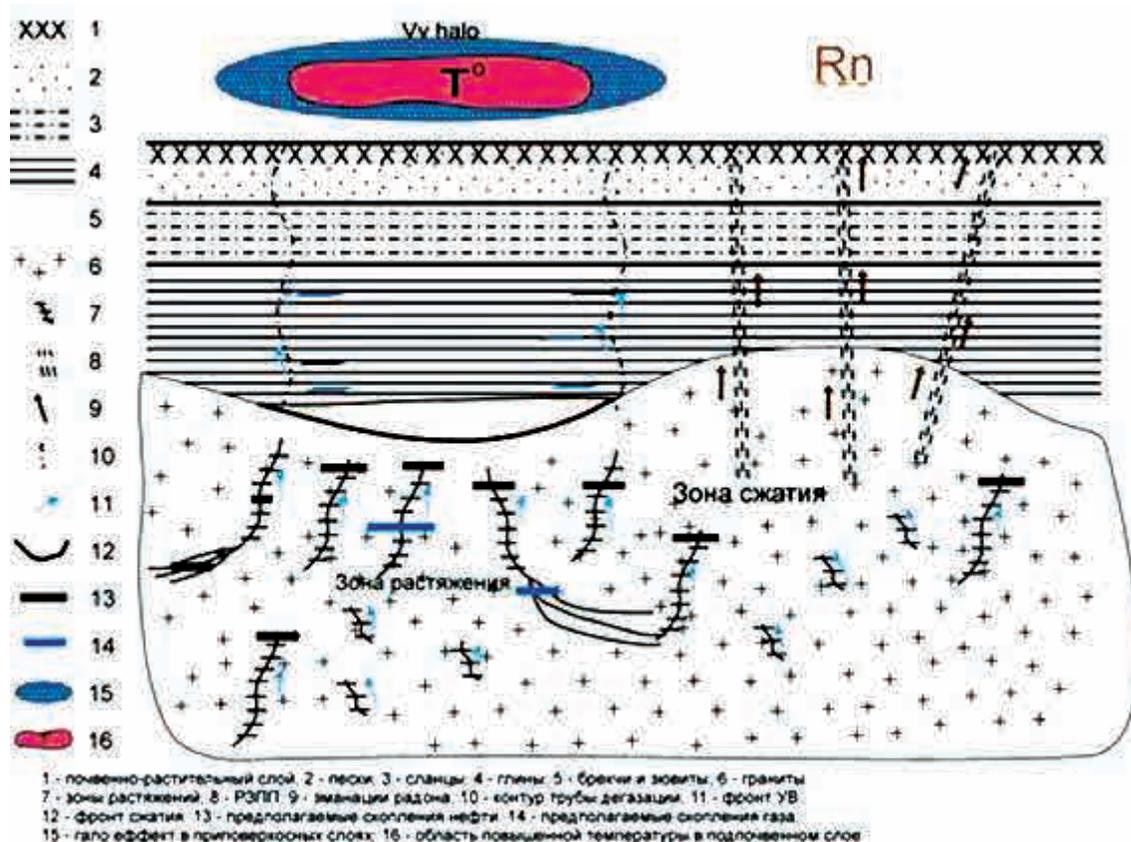


Рис. 9. Прогностическая схема нефтегазоносности импактных структур с применением СТАГИ
Fig. 9. The predictive scheme of oil and gas potential of impact structures using STAGR

и флюидодинамического механизма формирования коллекторов трещинных зон (зон растяжения). Решение этой задачи позволило вплотную подойти к реализации задач картирования перспективных зон развития коллекторов осадочного чехла и кристаллического фундамента (и связанных с ними залежей нефти и газа). Практическая значимость использования комплекса методов согласно предлагаемой технологии СТАГИ на единой генетической основе неогенима, поскольку, за редким исключением, бурение скважин в описанных толщах – это прямой риск потери резервуаров на поисково-разведочном этапе работ из-за неопределенности точной геометрии. Невозможность сплошного опробования толщ однородных карбонатных или гранитных пород, при неоднозначной интерпретации материалов ГИС, приводит на практике к повсеместному пропуску продуктивных площадей. И это лишь часть проблем, с ко-

торыми постоянно приходится сталкиваться нефтяникам в низкопроницаемых толщах с трещинными коллекторами.

Принятие двух парадигм онтогенеза нефти, а также полученный значительный положительный опыт применения СТАГИ при изучении на более чем 80 структурах привело автора к системной организации комплексной обработки данных. При освоении нижних горизонтов осадочных толщ и верхних горизонтов кристаллического фундамента с преобладанием вторичных порово-трещинных и кавернозно-трещинных коллекторов, резервуаров и связанных с ними залежей УВ большое значение имеет изучение импактных структур.

В настоящее время выявлены два вида импактных кратеров – простые и сложные. Первые характеризуются чашеобразной депрессией и приподнятым над ней опрокинутым и перевернутым краевым кольцевым валом. Сложные же кратеры имеют

еще и центральное поднятие; если диаметр такого кратера больше 30 км, то оно может замещаться или сопровождаться несколькими концентрическими валами и желобами, придающими импактной структуре многокольцевую форму.

Важно знать, что и сам удар может одновременно с упомянутыми эффектами мгновенно превратить неколлекторскую породу в пористую и проницаемую и изменить структурные условия залегания горных пород мишени вне зависимости от региональной геологии. При ударах большой магнитуды все эти изменения имеют очень значительное распространение.

Внутреннее строение импактных структур характеризуется наличием таких структурно-литологических комплексов, как цокольный, коптогенный, заполняющий, перекрывающий и инъекционный. Последний слагает глубинные магматические породы, внедренные в породы цокольного и коптогенного комплексов, которые, в свою очередь, представлены соответственно осадочными, изверженными и метаморфическими кристаллическими породами мишени (места удара), где находится кратер, и аллогенной брекчией и импактатами, заполняющими после взрыва кратера, а также образующими насыпной вал и покровы взрывных выбросов. Заполняющий комплекс – это озерного или морского генезиса осадки, отложившиеся на коптогенном комплексе, тогда как перекрывающий комплекс – это вышележащая толща осадочных пород, одновременно залегающая на цокольном, коптогенном и заполняющем комплексах (рис. 9).

Возможности применения методико-технологической поисковой структуры СТАГИ при оценке перспективности импактных структур на УВ необходимо рассматривать в свете нефтегазоносности осадочного чехла и кристаллического фундамента (исходя из анализа строения и нефтегазоносности известных импактных структур – Авак, Еймс и др.).

Все эти нефтегазоносные признаки наблюдаются в толще цокольного и коптогенного комплексов по разрезу и по площади закономерно, т.е. чем больше расстояние на мишени от центра удара-взрыва, тем слабее ударный метаморфизм, а в породах

заполняющего комплекса – в зависимости от наличия и места стимуляции продуктов размыва или перемыва коптогенного и цокольного комплексов.

Большинство исследователей приходят к выводу, что трещины служат основными путями миграции УВ, которая происходит как в горизонтальном, так и вертикальном направлениях. Трещиноватость кристаллических пород и седиментационных отложений обуславливает возможность образования природных резервуаров нефти и газа в плотных беспористых породах фундамента, а также в породах, отличающихся повышенной сорбционной способностью. В последнее время накоплен большой фактический материал, позволяющий считать, что именно благодаря образованию интенсивной трещиноватости различного генезиса в породах образуются дополнительные полости и значительно повышаются фильтрационные свойства толщ, происходит связь между генерирующими и коллекторскими пластами, а это способствует формированию залежей в «нетипичных» условиях.

Образование трещин в осадочных толщах и кристаллических породах происходит в условиях всестороннего сжатия и растяжений напряженных состояний массива (рис. 9).

Согласно генетической классификации разрывных нарушений В.В. Белоусова (1964, 1975), нетектонические разрывы относятся к мгновенному процессу (взрывы, удары, падения метеоритов – астроблемы) и включают растяжение, сжатие, сдвиг, трещины, разрывные смещения, отрыв, скальвания.

Разнонаправленность и неоднозначность влияния указанных процессов обуславливает большое разнообразие трещин различного генезиса и их размерности, а также изменения их залегания, что, конечно, требует классификации разрывных нарушений и специальных приемов их картирования.

Предлагаемые нами технологические приемы СТАГИ дают возможность картировать разрывные нарушения и трещиноватость пород различной проницаемости, хотя есть немало примеров наличия повышенной плотности трещин в приразломных зонах и несомненна роль последних в процессах миграции и образования скоплений УВ. Наличие гидродинамически изолированных залежей нефти и газа в пределах одной

складки, осложненной нарушением, доказывает непроницаемость разломов. Часто, выступая в роли изолирующих экранов, они обуславливают образование тектонически экранированных залежей. Следовательно, можно говорить о двойном разнонаправленном влиянии разрывных нарушений в формировании коллекторов трещинного типа. С одной стороны, вблизи разломов наблюдаются зоны повышенной трещиноватости, которые способствуют улучшению фильтрационных характеристик пород, а с другой – при приближении к разрывам значительно интенсивнее происходит процесс вторичного минералообразования, благодаря чему трещины залечиваются и создаются непроницаемые зоны и приуроченные к ним скопления УВ (ловушки).

Одним из важных направлений наших исследований при картировании разломных зон повышенной проницаемости (РЗПП) было изучение и картирование интенсивности развития трещин, их проницаемости и география расположения в породах, находящихся в разных структурно-тектонических условиях.

Проведенные исследования показали, что структура зон трещиноватости влияет на распределение трещин отрыва (поднятие – центр контактной зоны, опускание – кольцевые прогибы). На круглом поднятии образуются радиальные трещины, на овальном в сводовой части – продольные трещины, ориентированные параллельно длинной оси поднятия, и соединяются между собой – поперечными. Удаленная часть купола или кратера (зона выброса) осложнена рядом радиальных трещин. Нередко в условиях поднятия и растяжения слоев образуются кольцевые трещины. Трещины отрыва не пересекаются, а только смыкаются между собой, кулисоподобно продолжая друг друга.

Анализ результатов структурных построений отраженных сигналов по данным аэрокосмических исследований и эманиционной съемки позволяет сделать вывод о различном характере расположения и развития трещин. Особенность поля напряжений при поперечном изгибании способствует большему развитию трещин у выпуклых поверхностей слоев. В процессе формирования структур в своде образуются зоны растяжения, происходит разуплотнение пород,

создаются условия дегазации, сопровождающиеся радоновыми аномалиями. Для продольного прогибания отмечалось обратное соотношение – отсутствие трещинных зон на прогибах, что способствует формированию зон растяжения на крыльях складки, причем их поверхности становятся более пологими с приближением к верхней поверхности моделей (рис. 9).

В Украине известны семь импактных структур разного возраста и размера, но к нефтегазопроисковому бурению Институтом геологических наук НАН Украины совместно с НАК «Нафтогаз Украины» подготовлена пока только одна из них – Оболонская. Кроме того, нами с помощью СТАГИ изучены три структуры (табл. 1).

Практические результаты СТАГИ показали достаточно надежные характеристики в сопоставлении с полным комплексом 3D-съемки.

Исходя из приведенного материала, все импактные структуры Украины (табл. 1) представляют собой принципиально новые по своему газонефтяному потенциалу геологические объекты. С этой точки зрения целесообразно в качестве первоочередного, не терпящего отлагательств мероприятия реализовать бурение поисковой скважины на Оболонской астроблеме и вот почему.

Этот импактный кратер по геоструктурным данным имеет диаметр 15-18 км, а по данным аэрокосмических и геохимических исследований – более 30 км. Расположен на водоразделе рек Сула и Хорол в Полтавской области. Оболонская структура ближе всех других украинских импактных структур находится от нефтегазоносных и нефтегазодобывающих провинций Украины, обладающих мощной промышленной базой и большим многолетним опытом успешных работ по бурению и освоению многочисленных скважин. Оболонская структура находится, кроме того, в той части южного борта Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ), которая достаточно изучена геофизикой и бурением.

Размещение кратера в приграничном районе с нефтегазоносной областью и наличие здесь мощной толщи платформенных отложений позволяют рассматривать его как возможную нефтегазоносную структуру. Сравнительное изучение Оболонской структуры и некоторых нефтегазоносных кратеров

Таблица 1. **Импактные структуры Украины**Table 1. **Impact structures of Ukraine**

№ п/п	Астроблема	Местонахождение	Координаты, в градусах		Диаметр, км	Возраст, млн лет
			северная широта	восточная долгота		
1	Болтышская*	УЩ, Кировоградская область	48,8	32,2	>50	65±5
2	Зеленогайская*	То же	48,7	32,9	3	120±20
3	Ильинецкая*	УЩ, Винницкая область	49,1	29,2	3-7	445
4	Оболонская*	Южный борт ДДВ, Полтавская область	49,5	32,9	>30	160±30
5	Ротмистровская*	УЩ, Черкасская область	49,0	32,0	4	140±20
6	Терновская	УЩ, Кировоградская область	48,1	33,6	3,5	260±10
7	Западная	УЩ, Винницкая область	49,44	29,0	4,0	115±10

* Отработаны СТАГИ.

Северной Америки, а также данные СТАГИ показывают близость их строения и свидетельствуют о вероятности обнаружения в ней залежей УВ.

Изучение нефтегазоносности импактных структур интересовало автора как с точки зрения картировочных признаков осадочного чехла и кристаллического фундамента, расположения разломно-блоковой тектоники, трещинных зон, зон растяжения, так и в конечном счете относительно геохимических, геодинамических, термодинамических особенностей и сигналов приуроченности к ним прогнозных нефте- и газоносных участков.

Основными объектами поисков в импактных структурах, как было описано выше, являются над- и подкратерные трещинные палеозоны, которые возникли во время метеоритного удара, образуя сложную и запутанную сеть миграционных каналов и аккумулирующие емкости для УВ.

Для получения дополнительной информации об оценке перспектив Оболонской структуры, уточнения сети неотектонических активных разрывных нарушений и их флюидодинамических характеристик нами в 2011–2013 гг. дважды были выполнены комплексные приповерхностные исследования

и картирование РЗПП [Багрий, 2002]. Исследованиями подтверждены прогнозирование нефтегазоносности, места активизации современных геодинамических процессов и разуплотнения (трещиноватости) горных пород, определяющие места миграции в земной поверхности различных по составу флюидов, включая прямые индикаторы залежей УВ.

По результатам этих исследований автором проведен сравнительный анализ корреляционных расчетов и построений и составлены карты распределения температурных, газогеохимических и углеводородно-газовых аномалий. Это позволило максимально оконтурить площади с наиболее благоприятными условиями для локализации потенциальных залежей УВ и по этим признакам выделить перспективные участки для поиска залежей УВ. В пространственном размещении выделенные перспективные участки тяготеют к локальным блокам в пределах внешнего предполагаемого коренного вала. Менее уверенно выделяются перспективные участки в центральной части астроблемы.

С целью изучения особенностей глубинного строения и прогнозирования распространения зон развития коллекторов

различного типа на территории Оболонской площади совместно с НАК «Нафтогаз Украины» был проведен комплекс высокоточных детальных плоскостных грави- и магнитометрических исследований и в конечном счете выполнена комплексная интерпретация геолого-геофизических данных. Основными задачами исследования были:

- анализ, обобщение и переинтерпретация существующих геолого-геофизических материалов в пределах Оболонской площади;

- выполнение полевых высокоточных грави- и магнитометрических исследований масштаба 1:10 000;

- проведение полевых газгеохимических исследований масштаба 1:200 000 с использованием современных методов полевых и лабораторных геохимических исследований;

- определение первоочередных направлений дальнейших геологоразведочных работ на нефть и газ, в том числе местоположение первоочередных скважин.

При проведении комплексного анализа геолого-геофизических и геохимических критериев, типичных для продуктивных объектов и, таким образом, характеризующих нефтегазоперспективность площадей, были использованы критерии нефтегазонасыщенности, приведенные в табл. 2.

По результатам совместных выполненных исследований были закартированы перспективные площади (рис. 8).

В целом, сейчас промышленной нефтегазонасыщенностью в мировой практике характеризуются уже 14 астроблем, которые находятся в восьми осадочных бассейнах – Анадаркском, Алпалачском, Бофортоморском, Мичиганском, Паудер-Риверском,

Таблица 2. Критерии определения наиболее перспективных нефтегазонасыщенных участков
Table 2. Criteria for the identification of the most promising oil and gas areas

№ п/п	Параметр (характеристика), который анализируется	Показатели информативного параметра, которые принимались как положительный признак повышенной вероятности наличия залежей УВ	Поисковые геологические, геофизические, геохимические признаки
1	Плотность	Минимальные (для легких УВ)	Понижение значений плотности на участках, улучшение коллекторских свойств разреза и его нефтегазонасыщенности
2	Температура	Минимальные значения	Повышение температурных показателей над залежами УВ и тектонически стабильными зонами
3	Сумма свободных УВ	(Халло-эффект)	Приуроченность максимальных значений параметра к тектонически активным зонам и участкам разрушения залежей УВ
4	Коэффициент корреляции алканов и алкенов	Отсутствие аномалий (минимальные значения)	Приуроченность участков корреляции аномальных зон к участкам термического разрушения УВ и их миграции
5	Интегральный коэффициент содержания радона и углекислого газа	Минимальные значения	Приуроченность максимальных значений параметра к тектонически активным зонам
6	Содержание гелия	Наличие аномалии в пределах нефтеперспективной зоны	Наличие кольцевых аномалий гелия вокруг залежей
7	Локальные градиентные максимумы магнитного поля	Наличие максимумов соответствующей формы и интенсивности, которые характерны для интрузий основного и ультраосновного состава	Наличие интрузивных тел, к краевым частям которых могут быть приурочены пути глубинной миграции флюидов

Пермском, Ратонском и Уиллистонском, т.е. в недрах таких штатов США, как Аляска, Кентукки, Колорадо, Мичиган, Нью-Мексико, Оклахома, Северная Дакота, Техас и Уайоминг, а также таких провинций Канады, как Альберта, Онтарио и Саскачеван.

К этому перечню «сухопутных» астроблем следует, по-видимому, добавить и подводно-морскую импактную структуру Монтанье, поскольку нефтегазопроисхождение бурение проводилось и на ней.

Правда, ни нефти, ни газа в результате бурения здесь и опробования вскрытого разреза не найдено, так что астроблема Монтанье – это первый в мире подводно-морской импактный кратер, ставший объектом нефтегазовой разведки и давший отрицательный результат. Но, быть может, все дело в том, что нельзя решать судьбу принципиально нового направления и крупного геологического объекта практически без достаточного научного обоснования бурением только одной скважины, а также без исследования по специальной технологии и специальных аппаратурных комплексов.

В штате Дакота, США, сразу же к югу от границы с Канадой и примерно в 24 км западнее г. Шервуда, в 1977 г. была установлена промышленная нефтегазоносность импактного кратера Ньюпорт (другое название – Де-Ляк). Пока это единственная в мире астроблема, где промышленные притоки нефти и газа получены из кристаллического фундамента (КФ) и его коры выветривания (КВФ) и где нет центрального поднятия, а скважины расположены в зоне прогиба, т.е. в зонах подкоровых растяжений, что и подтверждает нашу поисково-принципиальную схему (рис. 9). Эта астроблема имеет вид депрессии диаметром 3,2 км с концентрически окаймляющим ее кольцевым валом, сложенным кристаллическими сланцами докембрия, на которых развита КВФ («песчаник» Дедвуд кембро-ордовика).

Внимание многих ученых и производителей еще и сейчас обращено к Сильянскому Кольцу, к первым в мире сверхглубоким поисковым скважинам на нефть и газ в гранитах Сильянской палеозойской астроблемы. Согласно технологии СТАГИ мы предприняли попытку анализа аэрокосмических съемок на предмет возможных ошибок при заложении этих скважин. Первая скважина находится на Балтийском

щите в центральной Швеции, в 240 км северо-западнее Стокгольма. Астроблема имеет диаметр 42-52 км, состоит из центрального ядра и кольцевого желоба, частично занятого цепью озер, среди которых самым крупным является оз. Сильян, имеющее глубину 125 м. Центральное поднятие, или ядро Сильянской астроблемы, сложенное грубозернистыми гранитами докембрийского возраста, эродировано; удален не только коптогенный комплекс, но срезана эрозией и верхняя часть центрального поднятия, имевшая ранее диаметр 12-15 км. В этих гранитах выявлены конусы разрушения высотой до 0,5 м.

По-видимому, разработке научного обоснования для поиска нефти и газа в гранитах подкратерной трещинной зоны Сильянской астроблемы способствовало в известной мере и то, что здесь, на горе Осмунд у оз. Сильян, в заполненном нижнепалеозойскими породами кольцевом желобе-грабене, расположенном среди огромного поля изверженных и метаморфических кристаллических пород архея, в первой половине XVIII в. из многочисленных колодцев добывалась тяжелая нефть. Эта ее небольшая залежь в отложениях ордовика ограничивалась разломами, состояла из нефтяных битумов и озокерита. В нескольких местах на берегу оз. Сильян дегтеобразная нефть высачивается из трещин гранитов, которые слагают частично обнаженный цоколь горы Осмунд. Возле этих выходов нефти из гранита обнаружены аномально высокие концентрации радона, что уже на предварительном этапе должно было служить отрицательными признаками возможных ловушек.

В семи неглубоких поисковых скважинах на Сильянском Кольце уже выявлены очень слабые проявления метана и водорода, а в одной из них, пробуренной через осадочную толщу мощностью 133 м, метан в гранитах обнаружен на глубине более 458 м и в гораздо больших количествах, чем в любой из других, менее глубоких скважин. Метан в этой скважине находится в 275 м ниже кровли гранитов, т.е. в 275 м ниже любой гипотетически ближайшей газоматеринской осадочной породы. Многие исследователи такие проявления рассматривали в качестве весьма серьезного аргумента, что природный газ, содержащий радон, еще и сейчас продолжает мигрировать из глубинных гранитных

недр. Здесь проведены грави- и сейсмо-разведки, указывающие на наличие в подкратерной зоне «прослоев» со значительной пористостью в раздробленных, размельченных гранитах и «слоев», которые могут играть роль пород-покрышек также в гранитах.

Таких два критериальных признака согласно предлагаемой технологии и являются в данном случае отрицательными показателями с точки зрения положительных прогнозных характеристик, необходимых для заложения поисковых скважин. Зоны сжатия и приуроченные к ним коровые трещины, отраженные радоновыми аномалиями, не могут служить ловушками, а также покрышками, так как они находятся в проницаемых трещинах на выпуклых проекциях и в зонах сжатия центрального поднятия (рис. 9).

Поисковая скважина в северо-восточной части Сильянской структуры попала в выявленное специфическое «гало», создаваемое УВ. Упомянутое «гало» свидетельствует, что весь комплекс УВ выделялся здесь по контуру трубы дегазации в течение очень долгого времени и что где-то под Сильянским кратером должна быть залежь нефти или газа. Заложение скважины в северо-восточной части структуры в пределах «гало», согласно нашим научно-методическим и теоретическим разработкам, а также технологии СТАГИ, практически в большинстве случаев и приводит к отрицательному результату, так как повышенные значения отраженных углеводородных сигналов свидетельствуют о дегазационных процессах на контурах ловушек и могут служить замечательным поисковым фактором при площадных съемках (рис. 9).

Как видим, уже на самом начальном этапе обоснования прогнозных площадей были допущены две существенные ошибки, которые привели впоследствии к экономически катастрофическим отрицательным результатам как в материально-финансовом, так и в морально-научном плане.

Перед началом бурения скв. 1-Гравберг фирма «Ваттенфалл» организовала группу из пяти экспертов. Эксперты выезжали на Сильянскую импактную структуру (астроблему), изучили там геологию, выходы нефти и газа и представили отчет, в котором, подтвердив астроблемную природу Сильянского Кольца, единодушно возражали против бурения здесь на газ. Эксперты указывали, что в пробу-

ренных ранее шести неглубоких скважинах горная порода недостаточно пориста для коллектора газа и недостаточно непроницаема для породы-покрышки, а интерпретация элементов глубинного строения, выявленных площадными геофизическими исследованиями в качестве, вероятно, запечатанных резервуаров, является умозрительной, а также слабым утешением объективных прогнозных процессов.

Отрицательный или положительный прогноз без аргументированных научных подходов выглядит достаточно неуверенно по результатам неглубоких скважин, расположенных только в зонах выклинивания УВ.

В условиях аномальных значений центрального коптогенного комплекса с максимальными значениями Rn-аномалий, опираясь на наш огромный опыт картирования разломных зон повышенной проницаемости, все зарегистрированные углеводородные газовые аномалии в виде кольцевого «гало» в процессе бурения были слабым утешением на прогнозно-фантастические скопления УВ, так как к таким зонам приурочены разломные проницаемые зоны, трассирующиеся от фундамента к дневной поверхности.

И как слабое утешение, исходя из нашего большого опыта, такие зоны газоэманационных дегазаций являются перспективными на трещинные воды с различными дебитами. Такие поисковые работы были проведены нами в условиях Украинского щита (УЩ) для нужд водоснабжения небольших городских агломераций, а также частного водоснабжения. Коэффициент успешности применяемой методики практически составил 1.

Когда скважина прошла по кристаллическим породам докембрия 6,6 км, в ней были выявлены и количественно охарактеризованы геохимическими исследованиями углеводороды C₁-C₅, H₂, CO₂, O₂, He, радон и азот, что и являлось подтверждением отрицательных прогнозных результатов. Выполнен и изотопный анализ УВ, гелия и водорода. Все эти полученные результаты в виде аномалий He, H₂ и Rn в комплексе также больше характеризуют проницаемые зоны, чем скопления УВ.

В результате проведенных буровых работ мнения многих исследователей разделились: Сильянское Кольцо – одно из наихудших в мире мест для поиска абиогенных УВ,

а в другом варианте – одно из наилучших. По нашему мнению, без достаточного обоснования по всему комплексу предлагаемых исследований правомочность таких утверждений не соответствует действительности.

По данным промышленной нефтегазонаосности импактных кратеров Канады и США, все крупные астроблемы вообще следует рассматривать не только как «трубы дегазации» верхней мантии Земли, но и как места потенциального промышленного нефтегазонакопления, возможные масштабы которого заслуживают изучения предлагаемой нами технологией не меньше, чем Сильянокое Кольцо. Можно полагать, что богатый опыт нефтегазонаосной истории северной части Западной Сибири и Татарского свода также внесли свою лепту отрицательные прогнозы при сверхглубоком бурении.

Нами в процессе предварительного исследования на нефтегазоперспективность в пределах структуры Сильянок (Швеция) было проведено детальное **структурно-неотектоническое дешифрирование космоснимков**.

По результатам дистанционных исследований закартировано ее сложное строение. Большое количество линеаментных зон свидетельствует о значительной современной неотектонической активности всей территории. Зоны линеаментов часто совпадают с фрагментами региональных тектонических нарушений [Спутниковые..., 2012].

Для составления детальной схемы дешифрирования были использованы космические снимки Landsat ETM+. Прежде всего это 8-й канал высокого разрешения, увеличенный до масштаба 1:50 000 (рис. 10).



Рис. 10. Отображение структуры Сильянок на космоснимке Landsat ETM+

Fig. 10. Outline of Siljan structure on satellite image Landsat ETM+

Линеаменты и дуговые элементы кольцевой структуры наложены на современный рельеф и гидросеть. Основными структурными элементами, которые дешифрируются в пределах участка, являются локальные линеаменты и кольцевые структуры (рис. 11).



Умовні позначення
 Кільцева структура — Линеаменти

Рис. 11. Подробная схема дешифрирования космоснимков структуры Сильянок

Fig. 11. The detailed deciphering scheme of satellite images of Siljan structure Landsat ETM+

По созданной детальной схеме дешифрирования был выполнен статистический анализ поля линеаментов с помощью программы «WinLessa». На основании анализа были построены роза линеаментов структуры Сильянок (рис. 12) и карта плотности линеаментов (рис. 13).

Согласно розе линеаментов, в пределах структуры Сильянок наиболее распространены линеаменты север–северо-западного (330°-340°) и широтного (270°) простираний, линеаменты меридионального направления выражены слабее.

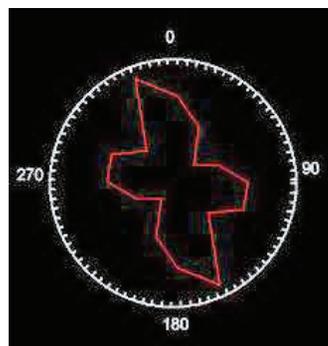


Рис. 12. Роза линеаментов в пределах структуры Сильянок

Fig. 12. Lineaments within the Siljan structure

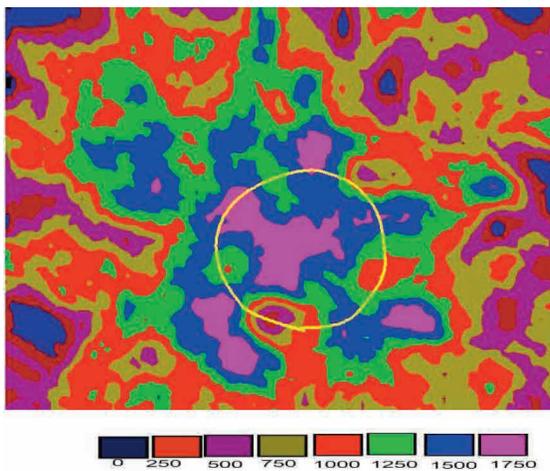


Рис. 13. Карта плотности линеаментов структуры Сильян (пикс/см²)

Fig. 13. Lineament density map of Siljan structure (pixels/cm²)

На карте плотности линеаментов четко выделяется вся структура, характеризующаяся максимальными (1250-1750 пикс/см²) и высокими значениями плотности линеаментов (1000-1700 пикс/см²). В то же время периферийная часть структуры характеризуется сменой высоких и средних значений плотности линеаментов. Такое распределение является отраженной фазой линеаментов в пределах структуры.

Геоморфологический анализ структуры Сильян, выполненный на карте с 3D рельефом, показал, что структура выражена в современном рельефе как округлая депрессия (рис. 14).

В пределах структуры Сильян уже на предварительном этапе применения технологии СТАГИ можно выделить наиболее прогнозно перспективные площади, совпадающие с зонами прогибов, отражающихся на схеме средними и нижними значениями плотности линеаментов, а значит, соответственно, принадлежащих к непроницаемым зонам – покрышкам, которые могут рассматриваться как перспективные участки для постановки детальных исследований.

Центральное поднятие, относящееся к зонам максимальной плотности линеаментов, служит зоной дегазации УВ. Наши выводы подтверждают значительные радоновые аномалии, отражающие разломные зоны повышенной проницаемости, углеводородные газовые аномалии, а самое

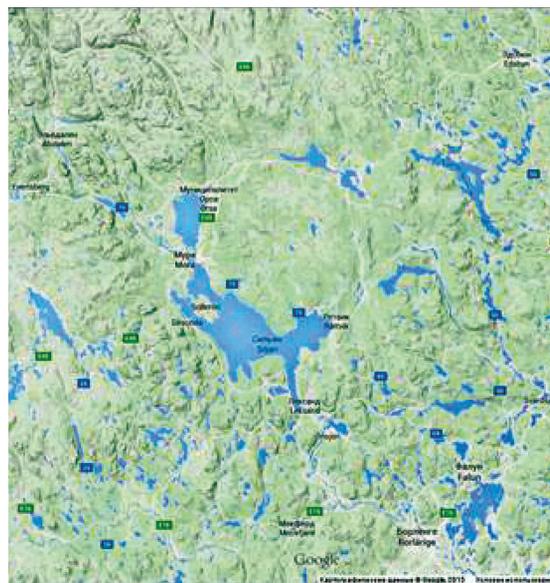


Рис. 14. Выраженность кольцевой структуры Сильян в 3D рельефе современной земной поверхности

Fig. 14. Intensity of the Siljan ring structure in 3D relief of modern earth's surface

главное – нефтепроявления в приповерхностных отложениях, что также свидетельствует об отсутствии флюидопроницаемых экранов.

Пробуренные непродуктивные скважины в пределах импактной структуры (астроблемы) попадают, согласно розе линеаментов, в зону значительных плотностей линеаментов, а скважина в северо-восточной части – в газовый халло-эффект, что также свидетельствует об отсутствии надежных покрышек, а значит, и возможных перспективных участков на УВ.

Площади зоны прогиба, согласно розе линеаментов, характеризуются более низкими значениями плотностей и являются перспективными на постановку прогнозных исследований.

Таким образом, на структуре Сильян необходимо проведение детальных дополнительных приповерхностных исследований. Их состав и этапность выполнения могут быть определены в соответствии с нашими научно-методическими разработками, предлагаемыми технологиями и поисковыми моделями на основе созданного и внедренного на импактных структурах Украины комплекса СТАГИ.

Предложения и разработки автора по оценке нефтегазоносности импактных структур с применением новых технологий не претендуют на однозначность и окончательные выводы. Они могут быть обсуждены

в процессе дискуссий или рабочих встреч научных сотрудников и производственников, заинтересованных в наращивании минерально-сырьевой базы УВ, в том числе и за счет нетрадиционных источников.

Список литературы / References

1. Багрій І.Д., Гладун В.В., Довжок Т.Є. та ін. Досвід прогнозування розломних зон підвищеної проникності. *Нафтова і газова пром-сть*. 2002. № 3. С. 3-7.

Bagriy I.D., Gladun V.V. Dovzhok T.Ye. et al., 2002. Predicting experience of high permeability fault zones. *Naftova i gazova promyslovist*, № 3, p. 3-7 (in Ukrainian).

2. Гожик П.Ф., Багрій І.Д., Гладун В.В., Гуров Є.П. Прогнозування нафтогазоносності Оболонської імпактної структури комплексом приповерхневих методів. *Геол. журн.* 2010. № 3 (332). С. 7-16.

Gozhyk P.F., Bagriy I.D., Gladun V.V., Gurov E.P., 2010. Forecasting of oil and gas of Obolon impact structure by a complex surface methods. *Geologichnyy zhurnal*, № 3 (332), p. 7-16 (in Ukrainian).

3. Лукин А.Е. Прямые поиски нефти и газа: причины неудач и пути повышения эффективности. *Геолог України*. 2004. № 3. С. 18-43.

Lukin A.E., 2004. Direct search for oil and gas: the causes of failures and ways to increase efficiency. *Geolog Ukrainy*, № 3, p. 18-43 (in Russian).

4. Патент України № 43086 на кор. модель МПК (2009) B01D 19/00. Акустичний дегазатор / Багрій І.Д., Кізлат А.М.; заявник і власник Ін-т геол. наук НАН України. u200905476; 29.05.2009; опубл. 27.07.2009, бюл. № 14, 2009 р.

Utility model patent № 43086, IPC (2009) B01D 19/00. Acoustic degasser / Bagriy I.D., Kizlat A.M.; applicant and owner Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine. u200905476; 29.05.2009; publ. 27.07.2009, Bul. № 14, 2009 (in Ukrainian).

5. Патент України № 47419 на кор. модель МПК (2009) G01V 9/00, G01V 11/00. Спосіб прогнозування родовищ корисних копалин / Багрій І.Д.; заявник і власник Ін-т геол. наук НАН України. u200913524; 25.12.2009; опубл. 25.01.2010, бюл. № 2, 2010 р.

Utility model patent № 47419, IPC (2009) G01V 9/00, G01V 11/00. The method of mineral deposits forecasting / Bagriy I.D.; applicant and owner Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine. u200913524; 25.12.2009; publ. 25.01.2010, Bul. № 2, 2010 (in Ukrainian).

6. Патент України № 2641 на кор. модель МПК 7 CO2F1/20. B01D19/00. Портативний пробовідбірник-дегазатор / Багрій І.Д., Кізлат А.М.;

заявник і власник Багрій І.Д., Кізлат А.М. № 2003065643; 18.06.2003; опубл. 15.07.2004, бюл. № 7, 2004 р.

Utility model patent № 2641, IPC 7 CO2F1/20. B01D19/00. Portable sampler-degasser / Bagriy I.D., Kizlat A.M.; applicant and owner Bagriy I.D., Kizlat A.M. № 2003065643; 18.06.2003; publ. 15.07.2004, Bul. № 7, 2004 (in Ukrainian).

7. Проблема миграции нефти и формирования нефтяных и газовых скоплений: [Материалы Львовской дискуссии 8-12 мая 1957 г.] / АН УССР. Ин-т геологии полезных ископаемых; под ред. акад. В.Б. Порфирьева и проф. И.О. Брода. Москва: Гостоптехиздат, 1959. 423 с.

The problem of oil migration and formation of oil and gas accumulations: [Proceedings of Lviv discussions, 8-12 May, 1957] / USSR Academy of Sciences. Institute of Geology of Mineral Resources; ed. Acad. V.B. Porfiriyev and prof. I.O. Brod. : Gostoptekhizdat, 1959, 423 p. (in Russian).

8. Свідоцтво України № 28176 авторського права на твір «Комплексна методика (структурно-термо-атмогеохімічних досліджень (СТАГД))» / І.Д. Багрій, П.Ф. Гожик; заявник і власник ІГН НАН України, реєстрація 31.03.2009.

Patent № 28176 «A comprehensive methodology (structural-thermal-atmogeochemical research (STAGR))» / Bagriy I.D., Hozhyk P.F., applicant and owner IGS NAS of Ukraine. 31.03.2009 (in Ukrainian).

8. Спутниковые методы поиска полезных ископаемых / под ред. акад НАН Украины В.И. Лялько и д-ра техн. наук М.А. Попова. Киев: Карбон-Лтд, 2012. 436 с.

Satellite methods for exploration of mineral resources, 2012. (Ed. Acad. of NAS of Ukraine Lyalko V.I. and Dr. of technical sciences Popov M.A.). Kiev: Carbon-Ltd, 436 p. (in Russian).

9. Тимурзиев А.И. Обоснование структурно-геоморфологического метода прогноза локальных зон новейшего растяжения. *Сов. геология*. 1989. № 1. С. 69-79.

Timurziyev A.I., 1989. Justification of structural and geomorphological method to forecast local zones of the newest extension. *Sovetskaya geologiya*, № 1, p. 69-79 (in Russian).

Статья поступила
07.05.2015

ПАМ'ЯТИ ТВОРЦА ТЕКТОРОГЕНІИ АКАДЕМІКА ВЛАДИМИРА ГАВРИЛОВИЧА БОНДАРЧУКА

(К 110-летию со дня рождения)

Н.Н. Шаталов

Среди замечательной плеяды выдающихся геологов-тектонистов планеты Земля имя академика АН Украины Владимира Гавриловича Бондарчука занимает особое место. В масштабах прошлого XX и наступившего XXI вв. ученый, несомненно, личность великая. Во многих областях он оставил огромное научное наследие, которое вошло в сокровищницу мировой геологической науки [Бондарчук, 1946; Бондарчук, 1961; Володимир..., 2005]. Прежде всего он – геолог-тектонист, основоположник украинской тектонической науки и патриарх крупных геоморфологической и геологической школ. В.Г. Бондарчук, кроме того, был географом и геоморфологом, палеонтологом и стратиграфом, геологом-картографом и рудным геологом. Он также был крупнейшим теоретиком и практиком, педагогом, организатором науки и общественным деятелем. Он заслуженный деятель науки, лауреат Государственной премии, профессор, академик. За трудовые успехи награжден тремя орденами и многими медалями. В 39 лет В.Г. Бондарчук стал ректором (1944-1951) Киевского государственного университета (КГУ) им. Т.Г. Шевченко. Затем он занимал должности заместителя Председателя Совета Министров УССР (1951-1953), директора Института геологических наук (ИГН) АН УССР (1953-1963) и заведующего отделом геотектоники и четвертичной геологии этого Института (1963-1979).



Владимир Гаврилович родился 29 июля 1905 г. в с. Денеши Житомирской области в многодетной семье рабочего железоплавильного завода. В школу пошел в шесть лет. После ее окончания в 1921 г. поступил в Житомирский институт народного образования, который закончил в 1924 г.

Любовь к геологии ему привил известный в то время профессор С.В. Бельский. Дипломную работу «Геологический очерк с. Белки, как материал для экскурсий» студент Бондарчук выполнил по материалам личных исследований. После окончания этого института он два года работал учителем биологии, физики и химии в школе с. Белки на Коростенщине [Володимир..., 2005].

В 1926 г. В.Г. Бондарчук поступил в аспирантуру ИГН АН УССР по специальности «Палеонтология и стратиграфия». Во время учебы в аспирантуре он работал в Геологическом управлении на должностях коллектора, геолога, начальника геологосъемочной партии, заведующего сектором составления геологических карт. Уже в то время при его участии и под его руководством было составлено 40 листов геологической карты 1:200 000 и обзорную геологическую карту УССР масштаба 1:1 000 000. После окончания аспирантуры в 1929 г. В.Г. Бондарчук защитил научную работу на тему «Каспийские отложения северо-восточного побережья Азовского моря» и получил звание научного сотрудника.

В 1938 г. Владимир Гаврилович успешно защитил кандидатскую диссертацию «Четвертичные отложения УССР» и возглавил кафедру общей геологии в КГУ. В том же году был назначен деканом геолого-географического факультета КГУ. В феврале 1941 г. успешно защитил докторскую диссертацию на тему «Геологическое развитие рельефа УССР». На основе этой работы В.Г. Бондарчуком были опубликованы учебники для студентов геолого-географического направления «Геоморфология УРСР» (Київ, 1949) и «Основы геоморфологии» (Москва, 1948). В этих работах он развивает новый метод структурно-геоморфологического анализа. Представители классической динамической геоморфологии метод Бондарчука вначале не признают. Необходимо было время для осмысления его идей и обстоятельного анализа геологического материала и рельефа. Первыми признали значение структурно-геоморфологического метода китайские ученые. Из нескольких учебников по геоморфологии они отдали предпочтение «Основам геоморфологии» В.Г. Бондарчука и перевели его книгу на китайский язык. Новым толчком в развитии метода послужили широко развернувшиеся геологосъемочные работы в 50-60-х годах XX ст. В конце концов идеи ученого победили. Его структурно-геоморфологический метод до сих пор широко используется при проведении геологических исследований в разных частях Европы и Азии.

В начале войны В.Г. Бондарчук был откомандирован в Среднюю Азию. С октября 1941 г. он руководил отделом рудных полезных ископаемых в Геологическом институте Узбекского филиала АН СССР в г. Ташкент. Там изучал крупнейшее в Средней Азии месторождение золота Нура-Тау и месторождения редких металлов, а также принимал участие в геологическом обосновании строительства народных строек – Северо-Ташкентского канала и Фархад ГЭС. В тот же период профессор В.Г. Бондарчук читал лекции по геологии студентам Ташкентского политехнического института [Володимир..., 2005].

В феврале 1944 г. Владимира Гавриловича отзывают из Узбекистана и назначают проректором, а с сентября 1944 г. – ректором КГУ им. Т.Г. Шевченко. Первоочеред-

ной задачей для него в этот период являлось восстановление разрушенных корпусов и лабораторий университета. Это задание было с честью выполнено: в 1950 г. в университете возобновили обучение студентов на 86 кафедрах 12 факультетов. Будучи ректором В.Г. Бондарчук с 1 мая по 8 сентября 1945 г. в составе делегации Советской Украины принимал участие в работе Конференции Объединенных Наций в Сан-Франциско (США).

В 1951 г. ученого избирают действительным членом Академии наук УССР и назначают на государственную должность заместителя Председателя Совета Министров УССР по вопросам образования, науки и культуры. Но даже в этот период жизни он усердно занимался теоретическими исследованиями в области своей любимой науки – геологии.

В 1953 г. В.Г. Бондарчук стал директором ИГН АН УССР и в течение 10 лет руководил крупным, признанным научным коллективом страны. При его руководстве ИГН по многим геологическим направлениям достиг небывалых успехов. Его научно-организационные успехи и слава ученого не давали покоя некоторым партийным бонзам. И гений тектонической науки вынужден был подать в отставку, а за ней – унижения, болезни и другие неприятности.

Итак, начав с четвертичной геологии, палеонтологии, стратиграфии и геоморфологии, академик В.Г. Бондарчук в конце концов приступил к глобальным тектоническим обобщениям. Одним из первых в бывшем СССР и в мире он обосновал новое теоретическое направление в геологической науке – «**тектоорогению**», или учение о тектоносфере Земли [Бондарчук, 1946].

Слово «**тектоорогения**» состоит из двух слов: тектоника (структура, будова) и оро (гора, форма рельефа Земли). Объединяя их вместе, В.Г. Бондарчук, несомненно, имел в виду необходимость подчеркнуть новым в геологии термином единство между разнообразными глубинными геологическими структурами (слоями, телами) и их внешними формами (горами, равнинами). Новый термин «**тектоорогения**» как бы показывает, что между этими двумя физическими показателями геологических образований нашей планеты существует

тесная генетическая связь. Вместе с тем между ними постоянно ведется сложная эволюционная борьба. При этом ее конечный результат такой: чтобы геологическое тело (образование, структура) было стабильным (стойким относительно изменений в окружающей среде), его внешняя форма должна строго отвечать его внутреннему содержанию (строению).

Исходя из гипотезы академика О.Ю. Шмидта (о первичном составе планеты, которая образовалась из пылевидного облака) и положений Ф. Энгельса, изложенных в его работе «Диалектика природы» (о борьбе двух сил – притяжения и отталкивания), В.Г. Бондарчук показал, что основные геологические двигательные силы материальной системы Земли разделяются на две группы: внутренние и внешние. Среди внешних главные – это гравитационные, магнитные, электромагнитные, тепловые и другие влияния на Землю Солнца, планет и Луны, среди внутренних – все земные физико-химические и механические процессы. Между внешними и внутренними силами ведется постоянное взаимодействие и борьба. Эти силы и определяют лик Земли. Они определяют также вещественный состав, структуру внутренних оболочек литосферы и внешний вид Земли как в целом, так и отдельных ее частей.

Следовательно, общая модель геодинамики Земли, по В.Г. Бондарчуку, должна быть представлена в виде взаимодействия двух противоположно действующих сил: с одной стороны – сила вращательного движения Земли вокруг своей оси, которая стремится растянуть (рассеять) вещество Земли, а с другой – силы гравитации, которые удерживают ее вещественные массы от растяжения и рассеяния. Эта борьба между ними особенно усиливается во время увеличения гравитационного влияния на Землю космических тел (Солнца, Луны и др.), а также «случайных» ускорений или замедлений ее вращательного движения вокруг своей оси [Бондарчук, 1946; Бондарчук, 1961].

О влиянии вращательных движений Земли на внутренние физико-химические процессы было известно и раньше. Однако роль вращательного движения и его место в общей схеме планетарной геодинамики

Земли оставались до работ В.Г. Бондарчука не определенными. Ученый подчеркнул, что нельзя недооценивать или переоценивать роль вращательных движений Земли в геотектонических процессах. Им обосновывается также мнение о том, что нельзя создать адекватную геотектоническую гипотезу или общую геологическую теорию Земли на основе лишь каких-либо отдельно взятых геологических процессов, таких как: 1 – магматическая дифференциация внутреннего вещества Земли; 2 – пульсация (периодическое расширение или сжатие внутренних масс) Земли; 3 – контракционное сжатие; 4 – растяжение оболочек Земли; 5 – движение подкорковых течений глубинных масс; 6 – учет лишь сил вращательного движения Земли вокруг ее оси и многих других тектонических процессов. По мнению В.Г. Бондарчука, все эти силы (процессы) действуют всегда вместе. Поэтому и геологическая теория о геодинамике Земли должна быть обобщенной [Бондарчук, 1961].

Важной составляющей своей теории «**тектоорогении**» Владимир Гаврилович считал разработанную им схему метаморфогенного образования материков Земли или континентальной земной коры. До работ ученого считалось, что материки образовались в результате дифференциации первичных магматических масс горных пород ультрабазитового состава – дунитов, перидотитов, оливинитов, габбро и пр. Под действием гравитации, ликвации, дифференциации, охлаждения и других процессов эти массы ультрабазитов постепенно делились на более легкие (граниты, гранодиориты) и более гравитационно тяжелые (эклогиты, дуниты, оливиниты и др.) фракции. Более легкий, гранитный материал образовывал на планете сгустки, островки, которые плавали еще на горячей планете. Как более легкие они занимали на поверхности Земли более высокие гипсометрические уровни, образовывая ее первичный рельеф.

Впервые в мировой геологической литературе В.Г. Бондарчук представил научное обоснование и дал объяснения причин того, почему на площадях современных океанов земная кора состоит преимущественно из горных пород основного состава типа базальтов и называется океа-

нической, а на площадях континентов в ее состав входят породы главным образом гранитоидного состава и называется она континентальной земной корой. Первая имеет название **сима**, которая образована от двух первых слов химических элементов *силиций* и *магний*, что составляют основу ее минералогии, вторая – **сиаль**, которая происходит от первых двух букв слов *силиций* и *алюминий*, что есть в главном составе континентальной коры.

Из приведенного ясно, что океанический тип коры – это остатки первичного вещества Земли, которые не прошли стадии их дифференциации на более основные и более кислые разновидности. Следовательно, на площадях существующих сейчас материков находятся участки, которые испытали процессы гравитационно-ликвационного и осадочно-метаморфогенного их разделения. Такой является общая схема образования континентальной, или «сиалической», или гранитоидной, земной коры, которая, по представлениям ученого-тектониста, имеет вторичную природу.

Третий основополагающий вывод теории «**тектоорогении**» В.Г. Бондарчука сводится к тому, что, начиная с позднего архея, т.е. со времени охлаждения первоначального магматического океана до условий появления на поверхности Земли твердой и хрупкой земной коры, т.е. начальной литосферы, на ней существенно изменились как формы тектонических движений, так и типы деформаций и внешние виды геологических структур. До середины XX ст. в геотектонике преобладали представления о том, что основной тектонической формой строения земной коры являлись ее складчато-волновые движения и деформации в виде непрерывных рядов. Разрывным деформациям земной коры придавалось второстепенное значение. Разломы представлялись в виде исключительно мелких трещин. О широком развитии в литосфере Земли крупнейших глубинных разломов-трещин, да еще с планетарными размерами, тогда вообще еще не было разговоров.

Считалось, что главными силами в формировании структуры Земли являются «волновые», т.е. *эпейрогенические* движения. Земная кора при этом совершает преимущественно вертикальные движения

(опускается и поднимается). Такие движения происходят в двух основных формах: очень свободных и широко площадных опусканий и поднятий, которые называются эпейрогеническими тектоническими движениями (образующими равнины и суходолы), и очень быстрых и узкоформных опусканий и поднятий земной коры, которые называются *орогеническими* тектоническими движениями (такими, что формируют горные сооружения). Против такого «неполноценного» понимания механизма тектонических движений земной коры В.Г. Бондарчук выступил еще в 1944 г. в статье «Геоморфология геосинклиналей» (Изв. АН СССР. Сер. геол. 1944. № 1. С. 107-113). Ученый тогда фактически впервые в бывшем СССР ясно и четко поставил вопрос о соотношении складчато-пластичных и разрывных механических деформаций земной коры в различные этапы формирования литосферы Земли.

В.Г. Бондарчук считал, что глубинные разломы имеют планетарный характер и их можно подразделять на разломы: 1 – разделяющие щиты и впадины; 2 – разделяющие платформы и подвижные зоны; 3 – разделяющие материковую и океаническую кору. В самостоятельную группу им выделены планетарные разломы, скрытые под водами океанов, и рифты, сопровождающие подводные срединные хребты. Динамическую систему разломов диагональной системы (северо-западного и северо-восточного направлений) он объяснял вращением Земли вокруг своей оси и возникающими при этом полярным сжатием и экваториальным растяжением.

В монографии 1946 г. «Геологическая структура Украины» В.Г. Бондарчук, исходя из геологического строения территории Украины, показал, что в современной ее основе лежит разломно-блоковая, а не складчато-волновая структура кристаллического шара литосферы. Особо отчетливо это видно на примере Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ), которую следует считать областью, которая ограничена глубокими расколами и провалами земной коры. С глубинными разломами ДДВ связаны резкие опускания ее краевых частей, особенности структуры как опущенного древнего кристаллического фундамента, так и осадоч-

ного чехла, а также проявления разнообразных по вещественному составу и возрасту магматических пород.

Идея **разломно-блокового** строения земной коры В.Г. Бондарчука была подтверждена в последующие годы. В частности, была установлена не только разломно-блоково-складчатая структура Украинского щита и ДДВ, но и планетарная сетка глубинных разломов литосферы. Представления о разломно-блоковой тектонике Украины в дальнейшем развивали И.И. Чебаненко, И.А. Балабушевич, В.Б. Соллогуб, А.В. Чекунов, М.В. Чирвинская, М.П. Балуховский, В.В. Глушко, А.З. Широков, А.П. Ротай, В.С. Попов, К.Ф. Тяпкин, М.Л. Левенштейн, И.Л. Никольский, В.Г. Белоконь, И.А. Майданович, А.Я. Радзивилл, Н.Н. Шаталов и многие другие геологи.

Важно подчеркнуть, что основные положения своей теории о едином процессе развития структуры и рельефа Земли В.Г. Бондарчук обосновывал в течение длительного периода времени. Вместе с тем он считал, что его теория **«тектоорогении»** [Бондарчук, 1946; Бондарчук, 1961] не является завершённой геологической теорией Земли. Она, скорее всего, является лишь общим философским обобщением, гносеологическим рецептом для тех, кто работает над созданием настоящей геологической, точнее геодинамической концепции планеты Земля. Первая статья «Теория тектоорогении» была опубликована В.Г. Бондарчуком в московском журнале «Природа» в 1944 г. Затем появились монографии «Тектоорогения» (1946); «Основы тектоорогении (1961); «Структура земной коры» (1962); «Движение и структура тектоносферы» (1970); «Очерки по региональной тектоорогении» (1972).

Значительное место в творческом наследии ученого занимают работы по геологии месторождений полезных ископаемых, общей и региональной геологии – «Внутреннее строение Земли» (1957); «Земная кора, ее структура и развитие» (1959); «Геология Украины» (1959); «Строение четвертичных отложений и проблемы геологии четвертичного периода Украины» (1961); «Геология месторождений полезных ископаемых» (1966); «Образование и законы развития земной коры» (1975); «Строение дна океана» (1975).

Владимир Гаврилович активно популяризировал передовые достижения геологической науки среди широких масс людей. Он часто выступал с докладами, написал 20 научно-популярных книг. Среди них: «История геологического развития Земли» (1941); «Краевиды Советской Украины» (1946); «Минеральные богатства УССР (1948); «Геологические памятники Украины» (1961); «Недра земли родной» (1961); «Дворцы под землей» (1963); «Геология для всех» (1970); «Образование материков» (1972) и др.

В историю геологической науки В.Г. Бондарчук вошел как новатор, основоположник нового научного направления в геотектонике, ученый с энциклопедическими знаниями, прекрасный педагог и учитель.

Его идеи продолжают жить и в настоящее время. Тектоорогения – разломно-блоковая тектоника – тектоно-магматические активизации – седименто- и литогенез формируют основу внутренних и внешних оболочек (базальтовый, диоритовый, гранитный слои) Земли и месторождения полезных ископаемых. Высказанные ученым идеи позволяют лучше понять процессы латеральной и вертикальной миграции вещества и энергии, текущей из центра планеты к верхним оболочкам Земли и образование верхних оболочек тектоносферы как результат происходящих из глубин процессов миграции вещества и энергии. Они проливают также свет на процессы направленности и эволюции органического мира в геологической истории (от докембрия до антропогена), в том числе и появление Человека на планете Земля.

27 февраля 1993 г. на 88-м году жизни академик В.Г. Бондарчук скончался. Закончился земной путь одного из крупнейших тектонистов нашей планеты. Необходимо признать, что он внес неоценимый вклад в развитие фундаментальных направлений мировой геологической науки. Его энциклопедические знания и достижения в области естествознания столь велики, что определили современный прогресс геотектоники. Безграничная любовь к геологии, энтузиазм и неутомимое творческое дерзание Владимира Гавриловича постоянно вели его к открытию и синтезу закономерностей геотектоники, геоморфологии, стратиграфии,

истории развития и эволюции планеты Земля. Состояние тектонической науки, оставшейся после его ухода, значительно отличается от того, в котором он ее застал.

В.Г. Бондарчук был не только Великим ученым, ректором, директором, но и Человеком с большой буквы. Ему были свойственны интеллигентность, демократичность, необыкновенная скромность и огромное личное обаяние. Свою энергию, прирожденный талант и способности он отдал науке и людям. Ученый не только опубликовал оригинальные научные монографии (28) и научные статьи (около 300), но и создал свою, «**бондарчуковскую**» школу. Многие из современных корифеев геологической науки могут с гордостью называться его учениками. Достаточно сказать, что им подготовлено 50 докторов и кандидатов наук. Среди учеников В.Г. Бондарчука – известные ученые, академики АН Украины И.И. Чебаненко и П.Ф. Гожик, члены-корреспонденты В.Б. Соллогуб и А.М. Маринич, профессора, доктора и кандидаты наук А.В. Друмя, П.К. Заморий, И.Л. Соколовский, М.Ф. Веклич, М.Г. Волков, В.И. Галицкий, В.П. Палиенко, И.М. Рослый, О.К. Кошик, Ю.С. Бортник, О.И. Слензак, В.А. Рябенко, А.Я.

Радзивилл, В.Я. Радзивил, И.А. Майданович, В.Н. Шелкопляс, А.В. Матошко, Я.В. Федорин, Н.В. Дыкань и др.

Настоящим Учителем Владимир Гаврилович был и для меня. Его авторитет, энциклопедические знания и эрудиция оказали огромное влияние на формирование моего научного мировоззрения. Будучи заведующим отделом геотектоники ИГН АН УССР, в котором я был в аспирантуре и затем работал, он не указывал мне как и что делать. Его помощь происходила в тактичных советах и научно-организационных моментах. Смею утверждать: то, что сделал В.Г. Бондарчук для меня, было не ради корысти, он сделал это ради ее Величества Науки.

Жизнь и творчество академика Владимира Гавриловича Бондарчука пропитано любовью к отечеству, геотектонике, геоморфологии и геологии в целом и, несомненно, являются образцом как для учеников, так и будущих поколений. Для нескольких поколений геологов-тектонистов, геологов-съемщиков, геоморфологов, стратиграфов, палеонтологов, «четвертичников» Украины и зарубежных стран он был путеводной звездой и вдохновенным учителем.

Список литературы / References

1. *Бондарчук В.Г.* Тектоорогения. Киев: Изд-во Киев. ун-та, 1946. 262 с.

Bondarchuk V.H. Tectonoogeny. Kiev: Izdatelstvo Kievskogo Universiteta, 1946, 262 p. (in Russian).

2. *Бондарчук В.Г.* Основные вопросы тектоорогении. Киев: Изд-во АН УССР, 1961. 381 с.

Bondarchuk V.H. The general issues of tectonoogeny. Kiev: Izdatelstvo AN USSR, 1961, 381 p. (in Russian).

3. *Володимир Гаврилович Бондарчук:* вчений, педагог, громадський діяч, людина. Київ: ІГН НАН України, 2005. 194 с.

Bondarchuk Volodymyr Hryhorovych: scientist, educator, community leader, person. Kyiv: IGN NAN Ukraine, 2005, 194 p. (in Russian).

Статья поступила
10.02. 2015

ПАМЯТИ ВЫДАЮЩЕГОСЯ ТЕКТОНИСТА АКАДЕМИКА ИВАНА ИЛЬИЧА ЧЕБАНЕНКО

(К 90-летию со дня рождения)

Н.Н. Шаталов

Вся научная деятельность известного ученого-тектониста, доктора геолого-минералогических наук, профессора, академика НАН Украины, заслуженного деятеля науки и техники Украины, лауреата Государственной премии Украины в области науки и техники И.И. Чебаненко связана с Институтом геологических наук (ИГН) НАН Украины, где он прошел путь от аспиранта до заместителя директора по научной работе.

И.И. Чебаненко родился 31 марта 1925 г. в окрестностях г. Николаев. Там же до войны закончил среднюю школу. Сразу после освобождения Николаева от немецких захватчиков 19-летним юношей в составе советских войск он принимал участие в военных действиях при форсировании р. Днестр, в Ясско-Кишиневской операции, освобождении Румынии и Болгарии от немецкой оккупации.

После демобилизации из рядов Советской Армии с 1948 по 1953 г. И.И. Чебаненко – студент геологического факультета Одесского государственного университета им. Мечникова. Трудовую деятельность инженером-геологом он начал в Ворошиловградском горном округе, где получил хорошие производственные навыки и закалку.

С 1955 г. Иван Ильич связывает свою жизнь с наукой: учится в аспирантуре при ИГН АН Украины по специальности «Геотектоника». Научным руководителем его был назначен гениальный ученый-тектонист, директор ИГН АН УССР, академик Владимир Гаврилович Бондарчук.

В 1958 г. И.И. Чебаненко успешно защитил кандидатскую диссертацию на тему «Тектоника Лисичанского поднятия северо-западной окраины Донецкого кряжа». Следует подчеркнуть, что структурно-литологические карты каменноугольных осадков Лисичанского и других районов Донбасса, подготовленные им в то время, показали, что купольные складки имеют конседиментационное происхождение. Это опровергло уже существующие представления о постседиментационном характере структур Донецкого синклиория. После успешной защиты диссертации на два года Чебаненко был командирован на работу в Чехословакию, где в ранге главного инженера экспедиции проводил поисковые работы на уран.

С октября 1960 г. и до конца жизни Иван Ильич Чебаненко трудился в ИГН НАН Украины. Здесь он прошел путь от младшего научного сотрудника до заведующего отделом геотектоники и первого заместителя директора Института, а позднее – советника дирекции Института по научным вопросам.

В июне 1974 г. И.И. Чебаненко успешно защитил докторскую диссертацию на тему «Региональные разломы Украины, закономерности их размещения и значение для поисков месторождений полезных ископаемых». Исследования диссертанта значительно развили идеи и продолжили научные разработки академика В.Г. Бондарчука по разломно-блоковой тектонике Украины и прилегающих территорий. В 1979 г. Иван Ильич был избран членом-корреспондентом



том, а в 1982 г. – академиком Национальной академии наук Украины по специальности «Геология».

Академик И.И. Чебаненко обладал широким кругозором и являлся разносторонним геологом. Им опубликовано 14 монографий и около 200 научных работ.

Как геолог-тектонист он стал широко известен в бывшем СССР и за рубежом после опубликования им серии монографий по вопросам разломно-блоковой тектоники и планетарных деформаций земной коры: «Основные закономерности разломной тектоники земной коры» (1963 г.); «Проблема складчатых поясов земной коры в свете блоковой тектоники» (1964 г.); «Разломная тектоника Украины» (1966 г.); «Разломы Земли» (1969 г.); «Теоретические аспекты тектонической делимости земной коры» (1977 г.).

Необходимость исследования разломов была вызвана тем, что фундаментальная научная теория «**тектоорогения**» (1946 г.) В.Г. Бондарчука утверждала огромную распространенность в земной коре одновременно со складчатыми тектоническими деформациями также и разрывных. При этом считалось, что разломы распространены в литосфере планеты не только в виде так называемых трещин отдельности, т.е. мелких трещин, но и в виде крупных региональных разломов, которые на глубину и по поверхности простираются на значительные расстояния. Кроме того, интерес к изучению разломов вызывало то обстоятельство, что существовавшие на то время в геотектонике представления по существу отрицали широкое наличие крупных разломных структур в литосфере планеты Земля.

Проведенные Иваном Ильичем исследования не только блестяще подтвердили гениальные идеи основоположника «тектоорогении», но и удивили как творца, так и вдохновенного исполнителя. Во-первых, оказалось, что земная кора повсеместно буквально «порезана» гигантскими разломами-трещинами, размеры которых достигают многих сотен и даже тысяч километров. Во-вторых, планетарные разломы Земли имеют преимущественно прямолинейную форму. Создавалось впечатление, что какая-то великая сила «поре-

зала» земную кору под линейку. В-третьих, оказалось, что планетарные разломы-трещины распространены в литосфере не хаотично, а строго закономерно, образуя несколько преобладающих направлений. Главными среди них являются четыре: два так называемых диагональных направления (северо-западного и северо-восточного простирания) и два ортогональных (субмеридиональные и субширотные). Кроме этих основных направлений, между ними выделяются еще четыре системы, которые проявляются значительно меньше. В-четвертых, обнаружилось, что планетарные разломы литосферы нашей планеты размещаются строго симметрично относительно линий географических широт и меридианов, т.е. относительно положения оси вращательного движения Земли. Этот факт позволил И.И. Чебаненко сделать вывод, который был предопределен теорией тектоорогении, о том, что силы ротационной динамики Земли активно влияют на геометрию и размещение в земной коре механических напряжений и вызванных ими тектонических деформаций.

Выделенные ученым в масштабе Земли два главных направления планетарных глубинных разломов (азимуты 305-310 и 35-40°) подтверждены лабораторными моделями, показавшими, что под воздействием ротационных напряжений возникают две системы разломов, ориентированных по азимутам 40-45 и 315-320°.

Кроме механических дроблений и растираний преимущественно в центральных частях зон планетарных разломов, происходят интенсивные физико-химические процессы, которые в геологии называются процессами гидротермальной и другой флюидной деятельности (потоки горячих и холодных вод), поднятия из глубин Земли разнообразных газов, горячих флюидов и магматических масс, которые разогреваются до температур свыше 1000°C. По мнению ученого, зоны планетарных разломов земной коры – это гигантские «дымари», через которые наша планета Земля «дышит». Вместе с газами, различными флюидами и магмами из глубин нашей планеты по зонам разломов выходят разнообразные химические элементы, которые, охлаждаясь, конденсируются и соединяясь между

собой и с вмещающими горными породами, образуют рудные и нефтегазовые месторождения.

Составленные И.И. Чебаненко карты размещения крупнейших разрывных деформаций – зон разломов на площадях всех континентов (Европы, Азии, Африки, Северной и Южной Америки, Австралии), а также океанов (Тихого, Атлантического, Индийского и Арктического) – позволили ему построить и общую карту разломных зон для всего земного шара. Эти карты наглядно показали, что планетарные разломы земной коры имеют вид общепланетарной сетки, которая закономерно покрывает всю поверхность Земли. Сравнительный анализ сетки разломов нашей планеты со структурными линиями на поверхностях ближайших к нам планет – Луны и Марса, показал их значительные совпадения, особенно относительно так называемых каналов на поверхности Марса. Для осуществления такого сравнения поверхностей Земли, Марса и Луны И.И. Чебаненко были использованы имеющиеся в то время научные работы А.В. Хабакова про Луну, Г.М. Каттерфельда про Марс.

Указанные выше монографии имели новаторский характер, их появление сыграло большую роль в геологической науке и вызвало огромные дискуссии. Можно определенно сказать, что ученый стоял у истоков нового направления в геотектонике. Многие геологи в бывшем СССР и за его пределами встретили монографии с воодушевлением и признанием. Однако от ряда крупных тектонистов страны прозвучали отрицательные отзывы. Представленные в монографиях результаты были настолько неожиданными, что даже крупные геологиктеонисты бывшего СССР и мира не хотели верить в существование в земной коре гигантских трещин планетарных разломов, их преимущественно линейные формы и закономерное геометрическое размещение аж до образования общепланетарной сетки. Автора монографий И.И. Чебаненко некоторые ведущие в бывшем СССР тектонисты того времени сравнили с «Алисой из страны чудес». И лишь успехи «космической геологии» позднее подтвердили правильность теоретических построений И.И. Чебаненко.

В частности, снимки из космоса, полученные с летательных аппаратов в США и СССР, блестяще подтвердили научные идеи В.Г. Бондарчука и И.И. Чебаненко. Снимки свидетельствовали о том, что на Земле имеются планетарные разломы и трещины шириной до сотен и протяженностью до тысяч километров, а в глубину они опускаются на сотни километров, образуя сетку планетарных разломов Земли ортогональной и диагональной ориентировки. Таким образом, снимки из космоса полностью подтвердили исследования украинского ученого-геолога И.И. Чебаненко, изложенные в двух первых монографиях. Другими словами, космоснимки подтвердили «разрезанность» земной коры гигантскими линейными разломами указанных выше ориентировок. Это был триумф идей ученого. На основании изучения снимков стало очевидно, что исследования Ивана Ильича в то время способствовали развитию нового направления в тектонической науке – учения о планетарных разломах Земли и других планет Солнечной системы, например Марса и др.

Следует также остановиться на очень важной работе И.И. Чебаненко «Разломная тектоника Украины» (1966 г.), так как именно в ней заложены основы новой методики поисков месторождений нефти и газа с позиций разломно-блоковой тектоники и концепции неорганического происхождения нефти. В монографии ученый приводит доказательства глубинного (неорганического) происхождения нефти и связь месторождений с глубинными разломами. Как известно, теория неорганического происхождения нефти развивалась в ИГН НАН Украины В.Б. Порфирьевым, В.А. Краюшкиным, В.П. Ключко и активно поддерживалась президентом НАН Украины Б.Е. Патонем.

В монографии приведена карта размещения нефтегазовых месторождений на территории Украины на фоне карты ее региональных глубинных разломов. Таким образом, проблема взаимосвязи месторождений нефти и газа с разломами уже перешла из стадии теории и дискуссии до практических дел и прогнозов. В период 1960-1980 гг. в ИГН АН УССР была подготовлена серия научных рекомендаций по поискам нефтяных месторождений в зонах

глубинных разломов земной коры на территории Украины. На их основе уже в 1980-1989 гг. на площадях Северного борта Днепровско-Донецкой впадины, которые с точки зрения органической теории считались абсолютно бесперспективными, были открыты промышленные месторождения нефти и газа. Для представителей органического происхождения нефти этот факт оказался неожиданным.

Плодотворны были также исследования И.И. Чебаненко по проблеме взаимосвязи землетрясений с глубинными разломами. Ученый подчеркивал, что зоны планетарных разломов литосферы Земли имеют не только значительную длину (сотни или тысячи километров), но и на сотни километров опускаются в недра нашей планеты. Изучение механизма действия землетрясений и внутреннего строения зон глубинных разломов показало, что по разломам происходит разрядка механических напряжений в форме сравнительно мелких разрывных нарушений, а не взрывов, как считалось ранее. Гипоцентры крупнейших землетрясений зафиксированы геофизиками на глубинах 700-800 км и больше. Это означает, что очаги землетрясений связаны с трещинами планетарных разломов нашей планеты.

Эпицентры глубоких землетрясений были вынесены ученым на карты разломов. Оказалось, что эпицентры в большинстве случаев попадают непосредственно на зоны планетарных или региональных разломов или размещаются вблизи них. Следовательно, установление взаимосвязи землетрясений с зонами планетарных разломов, кроме научного, имеет важное практическое значение. На основе карты разломов можно разрабатывать новые методики прогнозирования сейсмической активности тех или иных территорий Земли. Становится также понятным, что картирование «сейсмогенных» зон глубинных разломов представляет важный практический интерес для землян.

В монографии «Проблемы складчатых поясов земной коры в свете блоковой тектоники» (1975 г.) Иван Ильич рассмотрел размещение планетарных складчатых геологических структур. Им составлены также карты геологических структур для различ-

ных регионов, показана важная роль «жестких», очень консолидированных блоков и «мягких», т.е. менее консолидированных и более подвижных (геосинклинали, рифтогены) участков Земли, а также их постоянная «борьба» между собой, которая приводит к росту платформенных консолидированных участков земной коры. Автор монографии считал, что большинство рифтогенных и геосинклинальных прогибов имеет первичное происхождение. Их заложение происходило между «жесткими» блоками. Эти участки выгнутых складчатых поясов теперь можно представить как простое облекание ими внешних контуров «жестких» мегаблоков Земли.

Кроме представленных выше личных монографий, Иваном Ильичом Чебаненко в соавторстве по конкретным регионам опубликованы следующие монографии: «Строение и этапы развития Днепровско-Донбасского ровообразного прогиба» (1979 г.); «Закономерности развития региональной тектоники Украины» (1983 г.); «Блоковая тектоника Волыно-Подоллии» (1985 г.); «Тектоника Северного Причерноморья» (1988 г.); «Геотектоника Волыно-Подоллии» (1990 г.); «Блоковая тектоника кристаллического фундамента Днепровско-Донецкого авлакогена» (1991 г.). Многие из них посвящены теоретическим проблемам разломно-блокового строения литосферы Украины и ее развития в геоисторическом аспекте.

Перу И.И. Чебаненко принадлежит также серия важных, на наш взгляд, научных статей, опубликованных в «Геологическом журнале» № 2-5 за 1985 г. Статьи посвящены теоретическим проблемам современной геотектоники. Открывая дискуссию по вопросам теории и методологии геологической науки, их автор четко указывает, что уже достоверно известно о строении, динамике и развитии Земли и ее коры, а что еще спорно и достаточно не изучено и каковы условия для преодоления теоретических разногласий в современной геотектонике.

Не менее важны его работы, посвященные теоретическим и практическим обоснованиям связи нефтяных и газовых месторождений с зонами глубинных разломов земной коры, опубликованные преимущественно после 1990-х годов: «Поиски

углеводородов в кристаллических породах фундамента» (1980 г.); «Проблемы нефтегазоносности кристаллических пород фундамента Днепровско-Донецкой впадины» (1991 г.); «Нефтегазовый потенциал северо-западного шельфа Черного моря» (1995 г.); «Нефтегазоносный потенциал акватории Черного и Азовского морей» (1995 г.); «Нефтегазовый потенциал керченско-таманского шельфа Черного моря, континентального склона и глубоководной впадины Черного моря» (1996 г.); «Нефтегазовый потенциал северного борта Днепровско-Донецкой впадины» (1996 г.); «Нефтегазоперспективные объекты Украины, нефтегазоносность фундамента осадочных бассейнов» (2002 г.); «Нефтегазоносные объекты Украины» (2007 г.).

Совместно с П.Ф. Гожиком, М.И. Павлюком, В.А. Краюшкиным, В.П. Клочко, Н.И. Евдошук, И.С. Потапчук, Н.Н. Шаталовым и другими учеными вышли из печати научные статьи И.И. Чебаненко, в которых приведены научные и практические обоснования поисков углеводородов в пределах Днепровско-Донецкой впадины, в акваториях Черного и Азовского морей.

Исследования и научные рекомендации в данном направлении привели к тому, что в 1992 г. вместе с коллегами И.И. Чебаненко был удостоен Государственной премии Украины за открытие (на основе неорганической гипотезы) принципиально нового объекта поисков месторождений нефти и газа как источника расширения топливно-энергетической базы страны.

Научные интересы академика И.И. Чебаненко закономерно сочетались с его активной общественно-политической деятельностью ИГН НАН Украины. Он был членом межреспубликанского научного совета и многих специализированных советов. Под его руководством при ИГН работал спецсовет по защите кандидатских и докторских диссертаций по специальностям «Геология» и «Геотектоника». Для соискателей степени доктора наук по «Геотектонике» это был единственный совет в Украине. Это свидетельствует о том, что Иван Ильич постоянно заботился о подготовке специалистов высокой квалификации. Лично им подготовлено пять докторов и 10 кандидатов наук.

Академик И.И. Чебаненко был патриотом и в науке, и в жизни. В 1969 г. на страницах «Геологического журнала» он смело выступил в защиту концепции Н.С. Шатского о наличии конседиментационной складчатости в Донбассе, а в 2000 г. в газете опубликовал открытое письмо президенту Украины в защиту геологической службы страны.

Всей своей жизнью, своим трудом Иван Ильич вошел в историю геологической науки. Он внес весомый вклад в познание недр нашей станы и планеты в целом. Плодотворная жизнь ученого является примером служения науке. Дело Ивана Ильича Чебаненко продолжают его ученики.

Статья поступила
10.02.2015

ПАМЯТИ ВЫДАЮЩЕГОСЯ ГЕОЛОГА-НЕФТЯНИКА ВЛАДИМИРА КОНСТАНТИНОВИЧА ГАВРИША

(К 90-летию со дня рождения)

Н.Н. Шаталов

Владимир Константинович Гавриш родился 22 апреля 1925 г. в п.г.т. Погребище Винницкой области в семье военного служащего. В 1946 г. он с отличием окончил геологоразведочный техникум в г. Киев. Трудовую деятельность начал с должности техника-геолога, прораба-геолога, старшего геолога. В дальнейшем стал старшим научным сотрудником. В начале пути В.К. Гавриш работал в производственных организациях – «Укрвостокнефтеразведка», «Полтаванефтеразведка», «Укрнефтегеофизика», Киевской экспедиции УкрГРИ. В 1953 г. окончил Всесоюзный заочный политехнический институт. Работая в тресте «Полтаванефтеразведка», Владимир Константинович написал кандидатскую диссертацию, которую защитил в 1961 г. на ученом совете Киевского государственного университета им. Т.Г. Шевченко.

В 1962 г. В.К. Гавриш был приглашен на работу в должности старшего научного сотрудника в отдел геотектоники Института геологических наук (ИГН) АН УССР академиком В.Г. Бондарчуком – в то время директором Института. В 1970 г. он защитил докторскую диссертацию на тему «Глубинные разломы и геотектоническое развитие Доно-Днепровского прогиба». С 1973 г. и до конца жизни ученый возглавлял отдел методики поисков и прогноза полезных ископаемых, переименованный в 1993 г. в отдел палеоструктурной геологии ИГН НАН Украины.

Вся его производственная и преимущественно научная деятельность связана с всесторонним изучением геологии и

нефтегазоносности Доно-Днепровского прогиба, или Днепровско-Донецкого рифтогена (ДДР), по В.К. Гавришу. Более 50 лет назад ученый теоретически обосновал, что в формировании нефтегазоносного внутриплитного ДДР, с его синсводовыми глубинными разломами, направленными к оси рифта, значительную роль играла региональная пульсация астеносферного и коро-мантийного диапиров. В результате в центре ДДР образовался сверхглубинный осевой раскол литосферы, уходящий на глубины 300 км и более.

Ученый доказал, что разноранговые продольные и поперечные краевые глубинные разломы и пульсационные процессы в центральных

частях рифта обусловили поперечное и продольное тектоническое и нефтегеологическое расчленение ДДР, а также формирование в его границах многочисленных локальных структур и нефтегазовых месторождений. В.К. Гавриш предложил также абиогенно-органическую теорию происхождения нефти. Согласно его гипотезе, по глубинным разломам в приповерхностные участки литосферы мигрировали мантийный метан и другие газы, которые влияли на переработку в нефть первично сапропелевых органических веществ.

При изучении ДДР В.К. Гавриш основное внимание уделял методике палеоструктурно-геологического анализа как основы для поиска нефтяных и газовых месторождений. В комплексе с фациально-циклическим методом ученый установил время образования и активизации глубинных разломных структур, которые влияли не только



на формирование локальных нефтегазоносных поднятий, но и историю геологоструктурного развития ДДР в целом.

Значительную роль ученый уделял разработке и совершенствованию методики прогнозирования комбинированных нефтегазоносных ловушек. По данной проблеме В.К. Гавришем опубликованы следующие монографии: «Методика поисково-разведочных работ на нефть и газ» (1964 г.); «Метод палеоструктурного геологического анализа» (1965 г.); «Методика прогнозирования комбинированных нефтегазовых ловушек» (1986 г.). Другими словами, ученый вооружил геологов-нефтяников Украины мощным научным методическим оружием, позволяющим эффективно прогнозировать и открывать месторождения нефти и газа. Используя свои же методики поисков углеводородов, В.К. Гавриш открыл в ДДР уникальное по запасам Западно-Хрещищенское газовое месторождение с начальными запасами 330 млрд м³ газа и 1 млн т конденсата. Это месторождение эксплуатируется до сих пор.

В монографиях «Глубинные разломы, геотектоническое развитие и нефтегазоносность рифтогенов» (1974 г.); «Геология и нефтегазоносность Днепровско-Донецкой впадины» и «Глубинное строение и геотектоническое развитие» (1989 г.) ученый привел классификацию многочисленных рифтогенов Земли – Доно-Днепровского, Байкальского, Криворожского, Рейнского, Красноморского, Кенийского и др. Он охарактеризовал их морфологию, размеры, показал роль глубинных разломов в процессе их эволюционного развития, осветил закономерности формирования осадочных комплексов пород и особенности размещения в них месторождений нефти, газа и других полезных ископаемых.

Главными признаками в морфологической классификации рифтов (грабенов) являются величина, площадное распространение и форма рифта, что, по мнению ученого, в значительной мере зависит от характера ограничивающих его глубинных разломов. По размерам рифты условно поделены на несколько категорий – мини-, микро-, макро- и мегарифты.

Минирифты длиной до 50 км приурочены к брахиантиклинальным складкам.

Микрорифты (щелевые рифты) характеризуются длиной от 50 до 100 км и шириной 3-20 км и приурочены к зонам глубинных разломов. Длина макрорифтов составляет 100-500 км, а ширина – 100-160 км. Мегарифты – это крупнейшие линейные элементы земной коры, длина которых достигает 2000 км и более, ширина – от 100 до 350 км и глубина – до 20 км. В частности, в ДДР, по геофизическим данным, поверхность докембрийского кристаллического фундамента залегает на глубине свыше 20 км.

Рифты можно также классифицировать по расположению в пространстве и ориентировке ограничивающих их краевых разломов. По структурным особенностям, главным образом по падению плоскостей сбрасывателей краевых глубинных разломов, рифты делятся на три типа: 1 – рифтовый; 2 – клинообразный (расширяющийся книзу); 3 – щелевой. По глубинному строению земной коры рифтовые зоны делятся на три основные группы: 1 – океанические (внутриокеанические); 2 – межматериковые; 3 – материковые (внутриматериковые).

В принципе рифт – это крупный грабен, ограниченный разломами типа нормальных сбросов. Рифт – это сложно построенная узкая регионально вытянутая зона повышенной тектонической подвижности и «провалов» геоблоков с накоплением на опущенных блоках мощной толщи осадочно-вулканогенных пород. В геодинамическом плане рифты образуются под действием горизонтально растягивающих тектонических сил. Рифты часто имеют трансрегиональное распространение и, подобно геосинклиналям, являются главными тектонически активными зонами планеты Земля.

Рифтам уделяется огромное внимание, так как они развиты на континентах и в океанах, занимая свыше четверти земной коры. В рифтах локализовано огромное количество месторождений нефти, газа, рудных и нерудных полезных ископаемых.

По данным В.К. Гавриша, мегарифты Доно-Днепровского типа сложно построены. Разломы, располагаясь, как правило, в крупном прогибе, приуроченном к древнему своду Сарматского щита (являющегося частью Восточно-Европейской платформы), «рассекают» последний на две части и имеют почти одинаковую амплитуду

перемещений по краевым глубинным разломам. Центральные части ДДР глубоко опущены и заполнены многокилометровыми (до 25 км) толщами рифейских и фанерозойских осадочно-вулканогенных пород – гравелитов, песчаников, глин, известняков, базальтов, андезитов, липаритов, туфов и др.

Огромное значение в формировании ДДР и других рифтов играли зоны глубинных разломов. Именно по ним вначале происходило растрескивание и растяжение, а затем резкое опускание («провалы») земной коры и огромные по масштабам вулканические излияния. Существенную роль в образовании и геотектоническом развитии рифтов играла сетка древних глубинных разломов, а также близость крупных мобильных геосинклинальных и океанических областей. Этот аспект исследований ученого изложен в монографии «Роль глубинных разломов в миграции и аккумуляции нефти и газа» (1978 г.).

Рифты – очень долгоживущие на Земле геологические структуры. Они имеют палео (протерозойское), раннее (рифейское), среднее (девонское) и позднее (кайнозойское) заложение. Многие из них характеризуются современной тектонической активностью, где происходят крупные сбросо- и взбросо-сдвиги пород, интенсивные выбросы различных газов. К зонам глубинных разломов приурочены горячие источники и высокий геотермический градиент (ДДР, Байкальский и Рейнский рифты). В узлах пересечения ДДР, например, происходят выбросы метана, увеличивается температура и возрастает минерализация вод, содержащих повышенное количество CO_2 .

ДДР и другие рифты проходят геосинклинальный, субгеосинклинальный, инверсионный и платформенный режимы развития. В геосинклинальный период в ДДР происходило накопление мощных толщ осадочно-вулканогенных пород и соляных толщ, а в инверсионный период – их коробление, формирование нефтегазоносных поднятий и солянокупольных структур. Интенсивность «корабления» и других тектонических процессов в ДДР увеличивается от Полтавы к Донецку. В ту же сторону происходит увеличение мощности осадков и,

естественно, погружение докембрийских геоблоков. Установлено, что в ДДР вблизи г. Полтава преобладают солянокупольные структуры и нефтегазовые месторождения, а в донецкой части широко развиты каменноугольные месторождения и крупные регионально вытянутые антиклинали, разделенные синклиналями.

Кроме того, В.К. Гавриш успешно изучал геологические циклы как результат взаимодействия циклов космического пространства и эндогенных процессов во внешнем ядре и мантии Земли. Фундаментальные исследования цикличности позволили ученому расчленить осадочный чехол ДДР на разноранговые циклы и ритмы осадко- и нефтегазонакопления. С его точки зрения, соответственно разноранговой возрастной цикличности и ритмичности осадконакопления существует планетарная, региональная, зональная и локальная цикличность накопления углеводородов. Межрегиональная корреляция их дала основание выделить и рекомендовать производству первоочередные площади для поисков углеводородов в месторождениях антиклинального и комбинированного типов на моноклиналях ДДР и в других нефтегазоносных провинциях Украины. Проведенный ученым анализ процессов цикличности и нефтегазонакопления показал, что интенсивные пульсационные процессы рифтового этапа геотектонического развития были менее благоприятными для скоплений нефтегазоносных отложений, нежели синеклизные, что залегают на них.

Научные представления В.К. Гавриша по данной проблеме опубликованы в многочисленных научных статьях: «О генезисе циклического развития рифтогенов» (1992 г.); «Полициклическая модель формирования регионально нефтегазоносных отложений Днепровско-Донецкой впадины» (1995 г.); «Геологическая цикличность и ее связь с космической» (1996 г.) и др.

Член-корреспондент НАН Украины Владимир Константинович Гавриш является лауреатом Государственной премии Украины в области науки и техники (1991 г.) и Премии им. В.И. Вернадского НАН Украины (1989 г.). Он награжден Почетной грамотой Президиума Верховного Совета УССР и многими медалями.

Большое значение В.К. Гавриш придавал подготовке молодых ученых. За период научной деятельности им подготовлено 13 кандидатов и один доктор наук. Он автор более 370 научных работ по нефтегазоносности, структурной геологии и геотектонике. Его монографии и статьи вошли в золотой фонд геологической науки. Несомненно, он внес также огромный вклад в поиски и разведку нефтяных и газовых месторождений, т.е. в расширение минерально-сырьевой базы Украины.

Владимир Константинович обладал юмором, был интересным человеком. Любил нефтяную геологию, любил жизнь и людей. С молодыми людьми мог поделиться обширными идеями или по diskutieren по

различным проблемам геологии. Он толерантно мог выслушать критику его идей со стороны коллег и учеников. В этом лично убедился автор статьи.

Плодотворная жизнь В.К. Гавриша является ярким примером служения науке, беззаветной преданности своему народу. Его жизнь, светлый образ, научная, педагогическая и общественная деятельность навсегда останутся в сердцах его учеников и коллег. Имя Владимира Константиновича Гавриша навсегда вписано в историю геологической, а особенно – нефтяной науки.

Статья поступила
10.02.2015

НАУКОВО-ОРГАНІЗАЦІЙНА ДІЯЛЬНІСТЬ ПРОФЕСОРА ЛЕОНІДА СТАНІСЛАВОВИЧА ГАЛЕЦЬКОГО

(До 80-річчя від дня народження)

21 червня 2015 р. виповнилося 80 років від дня народження завідувача відділом геології корисних копалин Інституту геологічних наук (ІГН) НАН України, доктора геолого-мінералогічних наук, професора, академіка Української екологічної академії наук, академіка Академії гірничих наук України та Академії природничих наук Росії, лауреата державних премій СРСР і України, почесного розвідника надр СРСР і України, першовідкривача унікального Пержанського родовища берилію на Волині Леоніда Станіславовича Галецького.



Народився ювіляр в сім'ї інженера-лісівника в м. Житомир на Україні. У 1953 р. закінчив Київський геологорозвідувальний технікум за спеціальністю «Геологія і розвідка родовищ корисних копалин», а в 1960 р. – Всесоюзний заочний політехнічний інститут за тією ж спеціальністю. У 1968 р. Л.С. Галецький закінчив заочну аспірантуру в Київському державному університеті ім. Т.Г. Шевченка за спеціальністю «Геохімія». Того ж року він захистив дисертацію і отримав диплом кандидата наук.

Одночасно молодий вчений швидко просувався по службі. З 1953 по 1968 р. він пройшов шлях від техника-геолога до головного геолога Житомирської геологічної експедиції тресту «Київгеологія». У 1968-1980 рр. був керівником Центральної геохімічної партії, а пізніше – металогенічної партії Міністерства геології УРСР. З 1980 по 1987 р. – головний геолог Міністерства геології УРСР. У 1987-1997 рр. – директор великого геологічного підприємства «Геопрогноз» Держкомгеології України. З 1997 р. і до теперішнього часу – завідувач відділу геології корисних копалин ІГН НАН України.

У 1985 р. Л.С. Галецький отримав диплом доктора геолого-мінералогічних наук за спеціальністю «Металогенія», а в 1991 р. – удостоєний звання «професор».

Ім'я Леоніда Станіславовича в країні і за кордоном стало відомим після фундаментальних досліджень геології і металогенії України, відкриття Пержанського родовища, вивчення мінерально-ресурсної бази України. У 1998 р. американський Бібліографічний інститут визнав Леоніда Станіславовича Галецького Людиною року і включив його біографічні дані в Міжнародний довідник видатних людей планети.

Громка слава першовідкривача Пержанського родовища припала на молоді роки дослідника. Використовуючи знання та досвід, їм разом з колегами (С.І. Гурвич і В.П. Луньком) на Волині було відкрито велике Пержанське родовище берилію. За генетичним типом, запасами, якістю сировини до теперішнього часу воно єдине в світі і належить до «геологічних ексклюзивів». Отриманий від його розробки прибуток може протягом 200 років «прогодувати» всіх жителів великого в Україні Волинського регіону.

60-літня науково-виробнича діяльність Л.С. Галецького пов'язана з комплексними дослідженнями геології і металогенії України. Особливу увагу вчений приділяє вивченню і реалізації мінеральних ресурсів країни. Їм були розроблені теоретичні та методологічні основи металогенічного аналізу докембрію, виділені вперше у світовій

геологічній практиці нові типи рідкіснометалевих рудних формацій та виявлено їх великі родовища в межах Українського щита (УЩ). Вчений був керівником програм і основним автором численних комплектів геологічних, металогенічних і прогнозних карт всієї території України.

У 1985-1995 рр. Л.С. Галецький – науковий керівник комплексної міжвідомчої програми «Прогноз», в результаті реалізації якої було проведено генеральне узагальнення та аналіз величезної геологічної, геофізичної, геохімічної і металогенічної інформації по всій території країни. Україна – дуже привабливий об'єкт для подібних комплексних досліджень. Тут зосереджені різні докембрійські (УЩ) і молоді альпійські (Крим, Карпати) структури, формування яких відбувалося протягом понад 4,5 млрд років. Рудоносні структури виникли тут у тектонічно активних ділянках – у передгірських прогинах, рифтових і шовних зонах, розломно-блокових структурах, у зонах субдукції і в інших динамічно активних системах, де формувалися термоградієнтні флюїдопотоки. Ці дослідження показали, що Україна має потужну мінерально-сировинну базу і відноситься до найбільш мінерально-ресурсних країн світу.

Під керівництвом Л.С. Галецького в кінці ХХ – на початку ХХІ ст. видано унікальне геологічне видання – Атлас «Геологія і корисні копалини України», який отримав визнання як в Україні, так і за кордоном. Зокрема, його англійська версія видана в 2007 р. видавництвом Університету Торонто, Канада і спрямована в усі країни світу. Канадський експерт, академік Меріт у своїй рецензії відмітив, що Атлас «...є дивовижним досягненням академічної майстерності». На засіданні Президії НАН України постановою № 139 зазначено «...теоретичне і практичне значення даної роботи як універсального носія геологічної спадщини, енциклопедичного навчального посібника та основи для входження у світову геоінформаційну систему».

У 2004 р. вчений завершив цикл робіт по темі «Стратегія розвитку мінеральних ресурсів України», за результатами яких були підготовлені та направлені до Кабінету Міністрів, Верховної Ради та інших зацікавлених відомств України рекомендації щодо підви-

щення ефективності використання мінеральних ресурсів країни в сучасних економічних умовах.

В останні роки під науковим керівництвом Л.С. Галецького були виконані фундаментальні та прикладні роботи з оцінки та реалізації мінерально-ресурсного потенціалу території України в сучасних економічних умовах. Результати цих досліджень та відповідні рекомендації були представлені зацікавленим організаціям: Мінпромполітики, Мінприроди, Держгеолслужбі, РНБОУ, гірничорудним компаніям – Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча, Кримський титан, Рудресурс та ін. Прийнято відповідні рішення та отримані довідки про впровадження представлених рекомендацій.

У 1985-2007 рр. Л.С. Галецький був науковим керівником міжнародної програми «Геологічний розвиток і мінерагенія Східно-Європейської платформи». По даний проблемі опубліковані численні наукові статті та складений відповідний звіт. Спільно з Геологічною службою Норвегії науковцем реалізовано міжнародний проект «Геологія суходолу і морських територій Північної Європи» (2008).

В останні роки вчений розвиває нові наукові напрями: розробка багатофакторних моделей розвитку земної кори, виділення нової планетарної геодинамічної системи мезазон активізації «Геотранс», визначення умов рудоконцентрацій. За його думкою, планетарні мезазони активізації (рифтові системи, зони субдукції та орогенні пояси, що асоціюються з ними, шовні міжблокові зони, області і зони тектономагматичної активізації, зони глибинних розломів і вулканічні пояси) є довгоживучими генераторами рудної мінералізації. Саме з ними пов'язано різноманітне продуктивне зруденіння, а їх вивчення відкриває нові перспективи для пошуків в їх межах нових родовищ корисних копалин.

У рамках програми «Геотранс» для території України виділені також нові типи рудоносних структур – міжблокові шовні зони (Оріхово-Павлоградська, Інгулецько-Криворізько-Крупетська, Ядлівсько-Голованівсько-Трахтемирівська та ін.) і трансблокові зони активізації. Міжблокові шовні зони є найбільшими структурно-геологічними гра-

ницями мегаблоків України. У них локалізовані гігантські родовища залізних руд, урану, скандію, графіту та ін.

Вчений очолює також системні дослідження з комплексної програми «Металогенія України». Працює над впровадженням нових високих технологій, інноваційних проєктів, досить часто у рамках плідного міжнародного співробітництва. У 2011 р. ним виконана наукова тема «Вивчення перспектив розвитку і використання мінерально-сировинної бази глин і каолінів», у 2012 р. – «Визначення та геолого-економічне обґрунтування пріоритетних родовищ рідкісних металів і рідкісноземельних елементів Українського щита для їх першочергового освоєння» і «Металогенія України». В даний час проводяться роботи за темами «Металогенія і прогнозна оцінка титану України» (2012-2016) та «Основні рудоносні структури території України» (2013-2016).

Професор Л.С. Галецький має заслужений авторитет і популярність серед геологів України та за кордоном. Він є учасником численних всесоюзних, республіканських і світових форумів, зокрема міжнародних геологічних конгресів у Москві (1984), Вашингтоні (1989), Кіото (1992), Пекіні (1996). Нагороджений Золотим дипломом і медаллю XXVII Міжнародного геологічного конгресу (1984). У 2007 р. Міжнародна Дирекція Експертів та експертиз США присвоїла йому звання «Міжнародного Експерта в галузі геології і мінеральних ресурсів».

Леонід Станіславович – яскравий зірець надзвичайно плідного вченого. Він – автор 450 наукових праць, серед яких 10 монографій. Науковець також є основним автором 51 геологічного звіту, семи методичних посібників, 12 цільових та комплексних програм геологічних досліджень. Він член вченої ради та член спецради ІГН НАН України та член спецради Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Вчений входить до редколегій «Геологічного журналу», журналі «Тектоніка і стратиграфія» та «Геолог України».

Л.С. Галецький – активний педагог і талановитий вчений, наділений блискучими організаторськими здібностями. Працюючи на різних посадах у Міністерстві геології України, керував численними колективами високопрофесійних геологів. Під його науковим керівництвом підготовлено сім докторів, 17 кандидатів геолого-мінералогічних наук. Тривалий час професор Галецький читав лекції студентам Київського національного університету імені Тараса Шевченка з тектоніки і металогенії. У 2009-2011 рр. був головою Державної екзаменаційної комісії на геологічному факультеті цього університету.

Роботи Л.С. Галецького відзначені високими нагородами. Він є лауреатом Державних премій УРСР (1973) і СРСР (1979). Має дипломи: «Почесний розвідник надр СРСР» (1980), «Почесний розвідник надр України» (1995), «Першовідкривач родовища СРСР» (1980). Його нагороджено орденами і медалями УРСР та СРСР, зокрема орденом «Знак Пошани» (1966), орденом «Козацький Хрест» (2004), орденом «За трудові досягнення IV ступеня» (2007). Він шанований Золотою відзнакою Спілки геологів України (2001).

Своє 80-річчя вчений зустрічає у розквіті творчих сил, переповнений новими науковими ідеями і широкомасштабними науковими планами. Він не збирається спочивати на досягнутому, а розвиває найважливіший в геологічній науці металогенічний напрям і проводить дослідження, спрямовані на розкриття рудоносного потенціалу України. Незважаючи на високий професіоналізм, академічні та інші звання, Леонід Станіславович залишається доступною, скромною, чуйною і чудовою Людиною, готовою завжди прийти на допомогу колегам і близьким. Життєве кредо Вченого і Людини: «Любов, краса і доброта врятують світ; віддавати краще, ніж брати; бути в злагоді з собою».

*Редакційна колегія
«Геологічного журналу»*

ПАМ'ЯТІ НАТАЛІЇ КОСТЯНТИНІВНИ ПИШНЕНКО

**18 квітня 2015 р. напередодні свого 75-річчя пішла з життя
провідний науковий редактор «Геологічного журналу»
Наталія Костянтинівна Пишненко**



Народилася Наталія Костянтинівна 19 квітня 1940 р. у м. Боярка у родині робітника. Дитинство її припало на важкі воєнні і післявоєнні роки. Батько Наталії у 1943 р. загинув на фронтах Великої Вітчизняної війни. Його ім'я викарбовано на обеліску Слави загиблим воїнам у м. Боярка. Мама одна виховала і дала освіту трьом дітям.

Після закінчення середньої школи в 1957 р. пані Наталя стала до роботи в Інституті геологічних наук НАН України, де працювала до останніх днів. Трудову діяльність розпочала з посади старшого колектора, а з часом техніка у відділі загальної петрографії, який очолював член-кореспондент АН УРСР, професор, доктор геолого-мінерало-

гічних наук І.С. Усенко. Тут на той час працювали відомі вчені І.Л. Личак, І.Д. Царовський, І.Б. Щербakov, Л.Г. Бернадська, Т.Г. Хмарук та ін. Це були не тільки неперевершені фахівці своєї справи, але й висококваліфіковані, інтелегентні люди. Разом з ними пані Наталя, ще зовсім молоде дівча, під час геологічних експедицій впритул зіткнулася з таємничістю і красою природи, відчула зв'язок людини з довкіллям. Саме вони прищепили їй любов до геології.

У 1961 р. Наталія Костянтинівна вступила на філологічний факультет Київського державного університету ім. Т.Г. Шевченка (вечірнє відділення). У 1963-1967 рр. вона опановує професію бібліографа у науковій бібліотеці ІГН АН УРСР. Влітку 1967 р. пані Наталя успішно закінчила університет.

З листопада того ж року Н.К. Пишненко стала працювати за фахом літредактором в редакції «Геологічного журналу», пройшовши всі щаблі редакторської професії. А це щоденна копітка праця, постійне вдосконалення знань не тільки геологічного спрямування, а й спеціального літературного редагування, досконалого наукового перекладу з російської мови на українську і навпаки, поліграфічної майстерності, друкарської справи, а також спілкування з авторами, надання їм консультацій з тих чи інших питань.

Пані Наталя підвищувала свою кваліфікацію у Московському поліграфічному інституті та у Львові при Українському поліграфічному інституті ім. Івана Федорова, а також на курсах по вивченню редагування бібліографічних списків при видавництві «Наукова думка». Крім того, вона опанувала і здійснювала в «Геологічному журналі» новий вид публікацій – депонування.

Це була висококваліфікований професіонал-редактор. Вона була співредактором багатьох наукових видань з різних геологічних галузей.

Останнім часом Н.К. Пишненко опанувала кропітку роботу по переводу «Геологічного журналу» на новий міжнародний рівень, зокрема до зарубіжної аналітичної бази даних SCOPUS.

Наталія Костянтинівна брала участь у роботі багатьох всесоюзних та республіканських нарад з метою популяризації «Геологічного журналу», ознайомлення геологічної спільноти з матеріалами, що друкуються на його сторінках, а також підвищення кількості передплатників журналу. Географія цих відряджень широка – Камчатка, Владивосток, Апатити, Міас, Ташкент, Ленінград, Львів, Мелітополь, Сімферополь та ін.

За великий внесок у становлення і розвиток «Геологічного журналу» і пропаганду геологічних знань Н.К. Пишненко нагород-

жено персональною Почесною грамотою Міністерства геології УРСР і Українського республіканського комітету профсоюзу робітників геологорозвідувальних робіт, відзнакою НАН України «За професійні здобутки» та ін.

Пані Наталя була дуже чуйною, надзвичайно скромною, привітною людиною. Завжди вислухає, порадить, допоможе. Людина з доброю душею. Вона була тонким поціновувачем мистецтва, літератури, народної творчості, любила театр.

Всі, хто знав Наталію Костянтинівну – інтелігентну, благородну та доброзичливу людину, назавжди збережуть про неї світлу і вдячну пам'ять.

Редколегія «Геологічного журналу»

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРІВ

У «Геологічному журналі» висвітлюються нові дані геологічної науки і практики, теоретичні розробки, наукові узагальнення, результати досліджень корисних копалин, дискусійні питання, нові концепції, гіпотези тощо. Розглядаються об'єкти України та інших країн, якщо вони становлять загальнонауковий інтерес. Статті друкуються українською, російською та англійською мовами за бажанням авторів.

Матеріали, що надходять до «Геологічного журналу», мають бути оформлені відповідно до вимог і стандартів зарубіжної аналітичної бази даних SCOPUS (<http://www.nbov.gov.ua/node/869>).

До редакції подавати паперову копію статті та рисунків (два примірники), шрифт 11 pt через 1,5 інтервали. Роздрукована має бути підписана всіма авторами. Крім того, слід надавати електронну версію статті на CD-RV, оформлену в редакторі Microsoft **Word** у форматі **DOC**, шрифт Times New Roman Cyrillic (розмір 11 pt, а для таблиць – 9 pt). Текст не архівувати. Рисунки представляти у форматі **TIF**. На дисках мають бути лише файли з остаточним варіантом статті і рисунків.

Статті супроводжувати листом з місця роботи авторів (в якому надана гарантія оплати витрат по виданню публікації та повідомляється розрахунковий рахунок), витягом із засідання відділу з рекомендацією статті до друку, актом експертної комісії.

Структура статті така: вступ, теоретично-методична частина, обговорення результатів, висновки. Обсяг статті повинен не перевищувати 15 сторінок через 1,5 інтервали (разом з таблицями, списком літератури / references, підтекстовками до рисунків, українським, російським і англійським резюме). Рисунків – не більше 4. Таблиці, рисунки, підтекстовки, список літератури / references друкувати на окремих сторінках. Назви таблиць, рисунків і підтекстовок до них набирати мовою оригіналу, а також англійською. У статтях використовувати тільки одиниці системи **SI**.

Список літератури / References складається в алфавітному порядку. Під одним пунктом літератури подається описання джерела спочатку мовою оригіналу, а під ним (без повторення номера пункту літератури) – англійською. Якщо джерело англійською мовою, то його треба описати під одним номером літератури двічі. Вказувати всіх авторів, не скорочуючи до трьох. В тексті посилання на джерела набирати в квадратних дужках, подаючи прізвище автора і через кому – рік видання (якщо два автора, то набирати обох; якщо три і більше, то вказувати першого та ін. і через кому – рік видання). Кількість джерел – 10-25. Вказувати індекс **doi** (за наявності).

Стаття має бути оформлена за такою схемою:

Індекс УДК статті – у верхній частині сторінки від лівого поля (нежирним прямим).

Назва статті мовою оригіналу – у верхній частині сторінки по центру (великими літерами прямим напівжирним).

Ініціали та прізвища авторів – по центру (прямим жирним)

Нижче – ким рекомендовано (10 pt курсив нежирний).

Ще нижче – повна назва організацій та їх знаходження (місто, країна), E-mail (11pt курсив нежирний).

Ще нижче – вчений ступінь, вчене звання, посада всіх авторів (11pt курсив нежирний).

Через 1 інтервал по ширині:

Резюме та ключові слова мовою оригіналу (10 pt прямим нежирним).

Через 1 інтервал по ширині:

Англійською мовою – та сама інформація в тій самій послідовності: заголовок; автори; ким рекомендовано; назва організацій та їх адреса (всі значущі слова набирати з великої літери), E-mail; вчений ступінь, вчене звання, посада; резюме (за обсягом може бути більше, ніж резюме національною мовою – 100-250 слів; оптимальний варіант – стисле повторення структури статті) та ключові слова.

Через 1 інтервал по ширині:

Російською мовою (або українською, якщо стаття російською мовою) – та сама інформація в тій самій послідовності: заголовок; автори; ким рекомендовано; назва організацій та їх адреса, E-mail; вчений ступінь, вчене звання, посада.

Авторський знак © – останній рядок на першій сторінці (10 pt прямим нежирним).

З нової сторінки від лівого поля:

Повний текст статті мовою оригіналу (11 pt через 1,5 інтервали прямим нежирним).

Наприкінці тексту статті – подяки.

З нової сторінки від лівого поля:

Список літератури / References (10 pt через 1,5 інтервали).

Після літератури до правого поля набрати дату надходження статті (10 pt через 1,5 інтервали прямим нежирним).

Автори відповідають за точність викладених фактів, цитат, бібліографічних довідок, написання географічних назв, власних імен.

Статті, оформлені не за вказаними правилами, прийматися до розгляду не будуть.