



# ГЕОЛОГИЯ И МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫЕ РЕСУРСЫ СИБИРИ

ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 2(42) ♦ 2020  
Апрель –  
июнь

## Главный редактор –

Акад. РАН М. И. Эпов (Новосибирск)

## Редакционная коллегия

Свинын В. Ф., отв. редактор, зам. гл. редактора (Новосибирск)

Афанасенков А. П., д.г.-м.н. (Москва)

Брехунцов А. М., д.г.-м.н. (Тюмень)

Варламов А. И., д.г.-м.н. (Москва)

Герт А. А., д.э.н. (Новосибирск)

Добрецов Н. Л., акад. РАН (Новосибирск)

Жаркова В., д.ф.-м.н., проф. (Ньюкасл, Великобритания)

Зайнидинов Х., д.т.н. (Ташкент, Узбекистан)

Конторович А. Э., акад. РАН (Новосибирск)

Крюков В. А., акад. РАН (Новосибирск)

Курчиков А. Р., чл.-кор. РАН (Тюмень)

Мельников Н. В., д.г.-м.н. (Новосибирск)

Михайлов Б. К., к.э.н. (Москва)

Похиленко Н. П., акад. РАН (Новосибирск)

Птицын А. Б., д.г.-м.н. (Чита)

Сейфуль-Мулюков Р. Б., д.г.-м.н., проф. (Москва)

Собисевич А. Л., чл.-корр. РАН (Москва)

Старосельцев В. С., д.г.-м.н., проф., зам. гл. редактора (Новосибирск)

Старосельцев К. В., к.г.-м.н., отв. секретарь (Новосибирск)

Тригубович Г. М., д.т.н., проф., зам. гл. редактора (Новосибирск)

Шацкий В. С., акад. РАН (Новосибирск)

Шин Е. Ч., проф. (Инчон, Республика Корея)

## Редакционный совет

Алексеев Г. Ф., к.т.н. (Кемерово)

Бакиев С., д.г.-м.н., проф. (Ташкент, Узбекистан)

Будников И. В., к.г.-м.н. (Новосибирск)

Васильев В. И., к.г.-м.н. (Иркутск)

Гармаев Е. Ж., чл.-кор. РАН (Улан-Удэ)

Глинских В. Н., чл.-кор. РАН (Новосибирск)

Девятов В. П., д.г.-м.н. (Новосибирск)

Ефимов А. С. (Новосибирск)

Жуков К. А., к.э.н. (Новосибирск)

Клишин В. И., чл.-кор. РАН (Кемерово)

Конторович В. А., чл.-кор. РАН (Новосибирск)

Ларичев А. И., к.г.-м.н. (Санкт-Петербург)

Мигурский А. В., д.г.-м.н. (Новосибирск)

Поляков А. А. (Москва)

Сальников А. С., д.г.-м.н. (Новосибирск)

Ситников В. С., д.г.-м.н. (Якутск)

Смирнов Е. В., к.г.-м.н. (Новосибирск)

Смирнов М. Ю., к.г.-м.н. (Москва)

Татьянин Г. М., к.г.-м.н. (Томск)

Филиппов Ю. А., д.г.-м.н. (Красноярск)

Черных А. И., к.г.-м.н. (Москва)

Шиганова О. В., к.г.-м.н. (Новосибирск)

Эдер Л. В., д.э.н. (Москва)

## Редакция

Воронина Т. А.

Изотова Е. С.

Карпунин А. Г.

630091, Новосибирск,  
Красный проспект, 67  
Тел./факс (383) 221-75-52  
E-mail: journal@sniiggims.ru  
www.jourgimss.ru

## Содержание

### Региональная геология, стратиграфия, тектоника

А. П. Хилько, И. А. Хилько. Новый подход к методике составления цифровых неотектонических карт ..... 3

В. М. Подобина. Влияние тектонических движений на стратиграфию палеоцена Западной Сибири (на основании изучения фораминифер) ..... 12

### Нефтегазовая геология

О. В. Шиганова, Л. М. Дорогиницкая, В. В. Сапьяник, Е. Ю. Лаптева. Причины отрицательных результатов поисково-разведочного бурения при освоении трещинных коллекторов и их влияние на ресурсную базу перспективных структур ..... 26

Ф. А. Мигурский, Е. М. Якупова. Перспективы нефтегазоносности Кютингдинского грабена Предверхоаянского перикратонного прогиба по аналогии с нефтегазоносными рифтогенными бассейнами земного шара ..... 32

Е. Ю. Лаптева, Н. В. Щигорева. Уточнение границ распространения баженовской и марьяновской свит на основе комплексного подхода к анализу геолого-геофизических данных (на примере Бакчарской мезовпадины) ..... 47

### Геофизика, геофизическое приборостроение

Г. М. Митрофанов, С. Н. Смолин, Ю. А. Орлов, В. Н. Беспечный. Разложение и фильтрация Прони ..... 55

### Литология, петрография, минералогия, геохимия

Р. Алокла, И. С. Чувашова, С. В. Рассказов, А. В. Ощепкова, Т. С. Филева. Идентификация глинистых минералов в верхнекайнозойских стратонах Баргузинской долины Байкальской рифтовой зоны ..... 68

С. И. Голышев, П. Н. Соболев, Н. Л. Падалко, П. Ф. Яворов, Е. В. Черников, М. И. Праздничных. Изотопно-геохимические исследования отложений ордовика и нижнего силура северо-западной части Сибирской платформы ..... 81

### Минералогия, рудные и нерудные месторождения

Н. А. Макаренко, А. Д. Котельников. К вопросу о корреляции раннепалеозойских субщелочных и щелочных интрузивных образований западного и восточного склонов Кузнецкого Алатау ..... 87

В. В. Колпаков, П. А. Неволько, П. А. Фоминых. Типохимизм и минеральные ассоциации самородного золота коры выветривания Егорьевского рудно-россыпного района (Северо-Западный Салаир) ..... 96

### Экономика и управление

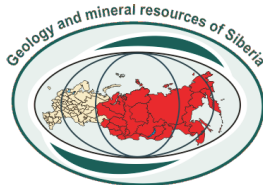
Т. Мамахатов, М. Дж. Мухаммед, А. Чайковский. Анализ экономического эффекта проекта «Сила Сибири» на развитие восточных регионов России ..... 110

### Персоналии

Геолог с твердым характером. Памяти Бориса Константиновича Михайлова ..... 123

Наши авторы ..... 125

ISSN 2078-0575



# GEOLOGY AND MINERAL RESOURCES OF SIBERIA

QUARTERLY SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

N2(42) ♦ 2020  
April –  
June

## Editor

Acad. RAS M.I. Eпов (Novosibirsk)

## Editorial board:

*Svinin V.F.*, executive editor, associated editor, Novosibirsk  
*Afanasenkov A.P.* (Moscow)  
*Brekhtunsov A.M.*, DSc (Tyumen)  
*Gert A.A.*, DSc (Novosibirsk)  
*Dobretsov N.L.*, acad. RAS (Novosibirsk)  
*Kontorovich A.E.*, acad. RAS (Novosibirsk)  
*Kryukov V. A.*, acad. RAS (Novosibirsk)  
*Kurchikov A. R.*, corr. memb. RAS (Tyumen)  
*Melnikov N.V.*, DSc (Novosibirsk)  
*Mikhaylov B. K.*, PhD (Moscow)  
*Pokhilenko N.P.*, acad. RAS (Novosibirsk)  
*Ptitsyn A.B.*, DSc (Chita)  
*Shatskiy V. S.*, acad. RAS (Novosibirsk)  
*Seiful'-Mulyukov R.B.*, DSc, prof. (Moscow)  
*Shin E.Ch.*, PhD, Prof. (Incheon, Republic of Korea)  
*Sobisevich A. L.*, corr. memb. RAS (Moscow)  
*Staroseltsev K.V.*, PhD, executive secretary (Novosibirsk)  
*Staroseltsev V.S.*, DSc, prof., associated editor (Novosibirsk)  
*Trigubovich G.M.*, DSc, prof., associated editor (Novosibirsk)  
*Varlamov A.I.*, DSc (Moscow)  
*Zainidinov Kh.*, DSc (Tashkent, Uzbekistan)  
*Zharkova V.*, DSc, prof. (Newcastle, United Kingdom)

## Editorial council:

*Alekseev G.F.*, PhD (Kemerovo)  
*Bakiev S.*, DSc, prof. (Tashkent, Uzbekistan)  
*Budnikov I.V.*, PhD (Novosibirsk)  
*Chernykh A.I.*, PhD (Moscow)  
*Devyatov V.P.*, DSc (Novosibirsk)  
*Eder L. V.*, DSc (Moscow)  
*Efimov A.S.* (Novosibirsk)  
*Filipov Yu.A.*, DSc (Krasnoyarsk)  
*Garmayev Ye.ZH.*, corr. memb. RAS (Ulan-Ude)  
*Glinskikh V.N.*, corr. memb. RAS (Novosibirsk)  
*Klishin V.I.*, corr. memb. RAS (Kemerovo)  
*Kontorovich V.A.*, corr. memb. RAS (Novosibirsk)  
*Larichev A.I.*, PhD (St. Petersburg)  
*Migurskiy A.V.*, DSc (Novosibirsk)  
*Polyakov A. A.* (Moscow)  
*Salnikov A. S.*, DSc (Novosibirsk)  
*Shiganova O.V.*, PhD (Novosibirsk)  
*Sitnikov V. S.*, DSc (Yakutsk)  
*Smirnov E.V.*, PhD (Novosibirsk)  
*Smirnov M.Yu.*, PhD (Moscow)  
*Tatyani G.M.*, PhD (Tomsk)  
*Vasilyev V.I.*, PhD (Irkutsk)  
*Zhukov K.A.*, PhD (Novosibirsk)

## Editorial staff

*Voronina T.A.*  
*Izotova E.S.*  
*Karpunin A.G.*

630091, Novosibirsk, Russia  
Krasny prospect, 67  
Tel./fax +7 (383) 221-75-52  
E-mail: journal@sniiggims.ru  
www.jourgimss.ru

## Content

### Regional Geology, Stratigraphy, Tectonics

*A. P. Khilko, I. A. Khilko.* A new approach to the method of making of digital neotectonic maps..... 3

*V. M. Podobina.* Influence of tectonic movements on the stratigraphy of the Paleocene of Western Siberia (based on foraminifers)..... 12

### Petroleum Geology

*O. V. Shiganova, L. M. Doroginskaya, V. V. Sapyanik, E. Yu. Lapteva.* Reasons for negative results of exploration drilling during the development of fractured reservoirs and their influence on the resource base of prospective structures..... 26

*F. A. Migurskiy, E. M. Yakupova.* Prospects of oil and gas potential of the Kutingdinsky graben of the Pre-Verkhoyansky Pericraton Trough by analogue with oil and gas-bearing riftogenic basins of the Earth ..... 32

*E. Yu. Lapteva, N. V. Shchigoreva.* Refining the boundaries of the distribution of the Bazhenovskaya and Maryanovskaya Formations on the basis of an integrated approach to the analysis of the geological and geophysical data (on the example of the Bakcharian Mezodepression)..... 47

### Geophysics, geophysical industry

*G. M. Mitrofanov, S. N. Smolin, Yu. A. Orlov, V. N. Bespechnyy.* Prony decomposition and filtering ..... 55

### Lithology, Petrography, Mineralogy, Geochemistry

*R. Alokla, I. S. Chuvashova, S. V. Rasskazov, A. V. Oshchepkova, T. S. Fileva.* Identifying clay minerals from upper Cenozoic strata in Barguzin Valley of the Baikal Rift Zone ..... 68

*S. I. Golyshev, P. N. Sobolev, N. L. Padalko, P. F. Yavorov, E. V. Chernikov, M. I. Prazdnichnykh.* Isotopic-geochemical researches of Ordovician and Lower Silurian sediments of the north-western part of the Siberian Platform ..... 81

### Minerogenesis, ore and non-metallic mineral resources

*N. A. Makarenko, A. D. Kotelnikov.* To the question of the correlation of early palaeozoic sub-alkaline and alkaline intrusive formations of the western and eastern slopes of Kuznetskiy Alatau ..... 87

*V. V. Kolpakov, P. A. Nevolko, P. A. Fominykh.* Typochemistry and mineral associations of native gold of weathering crust of Yegorievskiy ore-placer area North-Western Salair) ..... 96

### Economics and Management of subsoil Resources Use

*T. Mamakhatov, M. J. Mohammad, A. Chaykovskiy.* Analysis of the economic impact of the «Power of Siberia» project on the development of the eastern regions of Russia..... 110

### Personalia

Geologist with a strong character. *In memoriam of Boris Mikhaylov*..... 123

Our authors ..... 127



## НОВЫЙ ПОДХОД К МЕТОДИКЕ СОСТАВЛЕНИЯ ЦИФРОВЫХ НЕОТЕКТОНИЧЕСКИХ КАРТ

А. П. Хилько, И. А. Хилько

Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия

Приведена методика построения цифровых неотектонических карт с использованием программных комплексов ArcMap, Kingdom, Surfer и др., отличающаяся от ранее применявшихся методик. В ее основе лежит не только геологическая и геоморфологическая информация, но, что существенно, современная кинематика земной поверхности (вертикальные скорости, линейная делимость земной коры и ее эрозионная составляющая). При этом в сумме данных параметров сохраняется метод актуализма и увеличивается рубеж неотектонического этапа, сопоставимый с ранее принятым и обобщенным возрастом (поздний палеоген – ранний неоген). Кроме того, как отрицательный фактор, исчезает бронирующая роль интрузивных и изверженных пород, а также других отложений, сопоставимых по устойчивости к процессам выветривания и денудации. Установлено, что при применении рассматриваемой методики существенно изменяется облик новейших деформаций сравнительно с ранее изданными картами. Это, несомненно, повлияет и на прогноз полезных ископаемых с учетом новейшей тектоники.

**Ключевые слова:** неотектоника, методика построения неотектонических карт, современные вертикальные скорости, радарная интерферометрия, эрозионная составляющая рельефа, геолого-геоморфологическая основа, программы ArcMap, Kingdom, Surfer.

## A NEW APPROACH TO THE METHOD OF MAKING OF DIGITAL NEOTECTONIC MAPS

A. P. Khilko, I. A. Khilko

Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia

A technique for constructing digital neotectonic maps using the ArcMap, Kingdom, Surfer, and other software systems that is different from the previously used techniques for these constructions is presented. It is based not only on geological and geomorphological information, but what is essential, the modern kinematics of the earth's surface, that is, vertical velocities, lineament division of the earth's crust and its erosion component. In this case, the sum of these parameters retains the method of actualism and increases the boundary of the neotectonic stage, comparable with the previously accepted and justified age – the Late Paleogene – the Early Neogene. In addition, it disappears, as a negative factor, the reservation of the role of intrusive and igneous rocks, as well as other deposits, comparable in strength to the processes of weathering and denudation. It has been established that when applying the method of work considered in the article, the appearance of the latest deformations changes significantly, in contrast to previously published maps, which will undoubtedly affect the forecast of certain minerals taking into account the latest tectonics.

**Keywords:** neotectonics, neotectonic map construction methodology, modern vertical speeds, radar interferometry, erosion component of the relief, geological and geomorphological basis, ArcMap, Kingdom, Surfer programs.

DOI 10.20403/2078-0575-2020-2-3-11

За последние 60 лет (начиная с карты под редакцией Н. И. Николаева, С. С. Шульца, 1959 г.) в изучении неотектоники, особенно методики и получаемых вертикальных деформаций, ничего не изменилось. Составители карт до сих пор пользуются материалами тех лет и лишь морфоструктурным анализом, хотя в объяснительных записках декларируют использование новых методик. Единственное направление, которое в той или иной мере разрабатывается, – это изучение новейшей трещиноватости и сопутствующих деформаций [10].

При наличии синхронных неотектоническому этапу отложений используются их структурные горизонты и привлекаются палеогипсометрические карты соответствующих отрезков времени, а на площадях эрозионно-денудационного рельефа – отметки поверхностей выравнивания среднего – позднего

кайнозоя, проще говоря, рельеф. И это один из основных недостатков при построении карт новейшей тектоники. Влияния неотектонических движений на переустройство рельефа – становления современного лика земли не отрицаются [6]. Но неучет (за редким исключением) бронирующей роли изверженных или интрузивных пород и (во втором случае) игнорирование данных по современной вертикальной кинематике земной поверхности значительно искажают неотектоническую картину.

Влияние литоморфного фактора при составлении схем деформаций исходной поверхности выравнивания рассмотрено в работе А. Г. Золотарева [1]. Однако и здесь все сводится к введению поправки (20–60 м) к абсолютным отметкам исходной поверхности выравнивания в зависимости от типа пород. При отметках рельефа, например, Байкало-

Патомского нагорья [1], 1000 м и более это практически не искажает общую картину деформаций исходной поверхности. Но применение данного метода невозможно для обширных сплошных полей развития пород, устойчивых к выветриванию (плато Путорана), или выхода массивных силлов и т. п., поскольку здесь нет исходной поверхности, связанной с другими породами.

Кроме того, данная методика в большей степени относится к горным сооружениям, а в отношении территорий обширного развития карбонатных пород или более рыхлых терригенных отложений, перекрытых толщами позднечетвертичных образований, она опять же слабо применима.

В настоящей работе предлагается разработанная на основе многолетних исследований (со времени появления компьютерных технологий) методика построения неотектонических карт нового поколения, в той или иной степени приближенная к составлению структурных карт.

На исследуемой территории необходимо провести комплекс следующих работ вне зависимости от их масштаба:

1. Составление схем современных вертикальных движений земной коры с привлечением архивных материалов и методики с использованием радарных интерферометрических изображений по определенной сети наблюдений в зависимости от масштаба работ.

2. Дешифрирование линеаментных систем и оцифровка эрозионной составляющей рельефа (гидросети, а при детальном рассмотрении и овражной сети) с составлением карт и схем их плотностных характеристик.

3. Выделение эталонных участков для количественной оценки неотектонических движений, а при необходимости – проведение полевых работ на этих площадях для заверки. При этом необходимо учитывать наличие отложений среднего – верхнего палеогена или неогена для низменных областей и присутствие выраженных кор выветривания мел-палеогенового возраста для платформ, горных сооружений и переходных областей.

4. Выделение активизированных или сформированных в новейший тектонический этап разломов и тектонических зон, по возможности с градацией по их кинематике и размерности.

5. Структурное картирование отложений среднего верхнего палеогена на площадях, где присутствуют осадочные отложения, синхронные неотектоническому этапу; палеогипсометрические исследования этих отрезков геологического времени.

6. Выполнение результирующих работ в программных комплексах ArcMap, Kingdom, Surfer и др.

Для областей развития морских, озерно-морских и континентальных отложений среднего – позднего кайнозоя определение амплитуд неотектонических движений осуществляется в основном геологическими методами [7], но они определяют

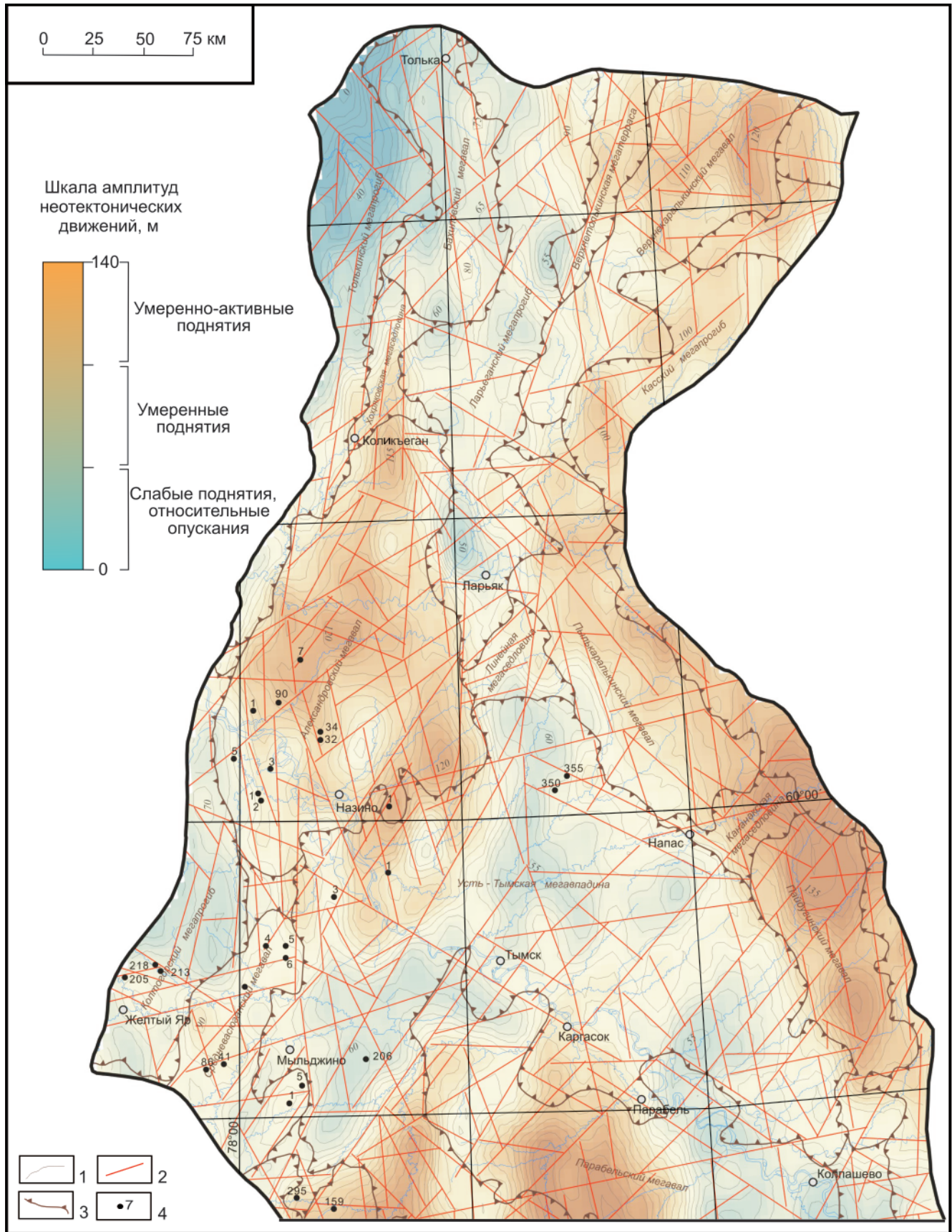
только общее направление новейших деформаций. Существенно, что далее добавляются параметры, как в локальном, так и в региональном плане прямо отвечающие за новейшую геодинамику земной поверхности, – плотностные характеристики гидросети, линеаментных систем (эрозионно-аккумулятивные параметры) и современные вертикальные скорости. Последние могут быть получены с использованием современных технологий (GPS-геодезии) или по радарным интерферометрическим изображениям [11]. Непременным условием при этом является учет их колебательного характера, поскольку они имеют сложную природу и включают в себя волновые перемещения, в том числе короткопериодические. Приведенные в статье рисунки основаны только на архивных и литературных материалах повторного геодезического нивелирования [3, 8].

Например, в Широтном Приобье значения абсолютных скоростей (мм/год) положительные, показатели плотностных характеристик гидросети и линеаментных систем высокие. При условии отрицательных значений отметок средне-верхнепалеогеновых уровней и, соответственно, отрицательной палеогипсометрии новейшие амплитуды будут здесь положительными и высокоинтенсивными (рис. 1). Все это высчитывается в программном комплексе ArcMap с последующей незначительной компьютерной редакцией.

На карте новейшей тектоники центральной области Западно-Сибирской плиты, составленной А. П. Хилько с учетом приведенных параметров, в виде контрастных положительных структур с амплитудами поднятий от 100 до 120 м и более выделяются Александровский, Пылькаралькинский, Пайдугинский и другие мегавалы; как отрицательные тектонические элементы с амплитудами опусканий до нулевых отметок – Толькинский мегапрогиб, Усть-Тымская мегавпадина и т. д. Следует подчеркнуть, что указанным автором проведены подобные исследования и на других площадях Западно-Сибирской плиты и Енисей-Хатангского регионального прогиба (на Красноленинском и Сургутском сводах, Сузунском и Русско-Реченском мегавалах, Гыданском и Ямальском полуостровах и т. д.), где наблюдается то же контрастное проявление новейших деформаций.

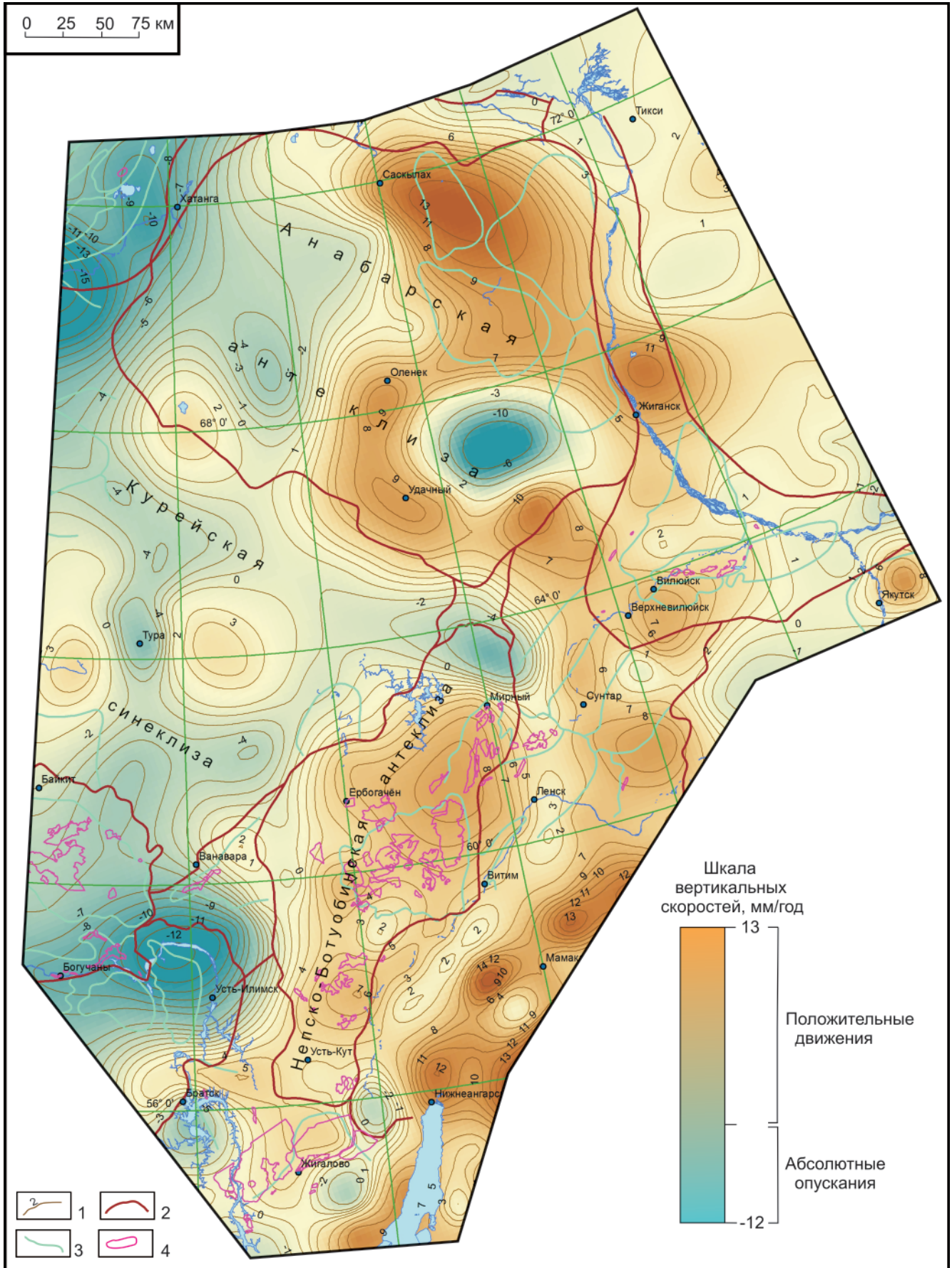
Значения амплитуд в данном конкретном случае уже не зависят только от положения используемого структурного уровня. С внесением параметров современной геодинамики земной коры и эрозионной составляющей рельефа (последнее увеличивает временной геологический интервал) значительно меняется облик неотектонических деформаций. Непременным условием при этом считается априори унаследованность тектонических движений, что подтверждается на региональном плане (рис. 2).

На фрагменте схемы (см. рис. 2) современных вертикальных движений земной поверхно-



**Рис. 1.** Фрагмент карты новейшей тектоники северной части Томской области и восточной части Ханты-Мансийского автономного округа

1 – изолинии амплитуд неотектонических движений; 2 – основные линеаменты, связанные с активизированными, градиентными перегибами толщин баженовского горизонта и его структурных поверхностей; 3 – границы тектонических элементов 1-го порядка; 4 – скважины глубокого бурения, вскрывшие баженовский горизонт



**Рис. 2.** Фрагмент схемы современных вертикальных движений земной коры Сибирской платформы по данным инструментальных измерений (по опубликованным материалам с дополнениями автора)

1 – изобаты и значения скоростей, мм/год; контуры структур: 2 – надпорядковых, 3 – первого порядка; 4 – месторождения УВ

сти по данным инструментальных измерений как положительные структуры выделяются Непско-Ботуобинская и Анабарская антеклизы (кроме центральной области Анабарского мегасвода). Анабарская антеклиза почти по всему периметру в современной кинематике земной поверхности имеет градиентную границу с перепадом скоростей до 8–10 мм/год.

Как отрицательные структуры определены Курейская (скорость абсолютных опусканий до –4 мм/год) и Присаяно-Енисейская (до –12 мм/год) синеклизы и др. Следует отметить, что даже при имеющейся очень редкой сети геодезических наблюдений на Сибирской платформе современные вертикальные скорости отличаются значительной дифференциацией, хотя мы рассматриваем не горные сооружения, а стабильные тектонические области.

Отличительная особенность рассматриваемой методики – разделение исследуемого региона на полигоны, различающиеся геологическим развитием: преимущественно денудационным или денудационно-аккумулятивным, аккумулятивным (низменные области) или горным, рифтовым и т. д.

Полигоны разделяются на несколько типов. Для этого строится соответствующая схема районирования исследуемой территории, которая может включать отдельные регионы (Сибирская платформа, Западно-Сибирская плита и Енисей-Хатангский прогиб, горно-сладчатые сооружения и т. д.) или их отдельные площади), что зависит от масштаба работ.

Типы полигонов выделяются по следующим основаниям:

- наличие осадочных палеоген-неогеновых отложений и схожесть геологического развития в позднепалеоген-четвертичное время (плиты, впадины, прогибы);

- площади с эрозионно-денудационным рельефом, где подсчет амплитуд осуществляется с частичным использованием поверхностей выравнивания (платформы, переходные области);

- горно-сладчатые сооружения, рифы и др., для которых характерны сводово-глыбовые и блоковые поднятия или опускания; для характеристики распределения новейших деформаций привлекаются разломы, а карты строятся в программных комплексах Kingdom или Surfer.

Для карт м-ба 1: 1 000 000 и крупнее территорий, характеризующихся спокойным тектоническим режимом в кайнозойском периоде, можно использовать единый полигон. Если включить в него, например, центральную область Западно-Сибирской плиты, ее обрамление и Енисей-Хатангский прогиб, это автоматически позволит с эталонного участка на основе геологического материала перенести подсчет новейших амплитуд на всю площадь полигона; из расчета выпадает структурная поверхность, но остаются другие параметры, скоррелированные

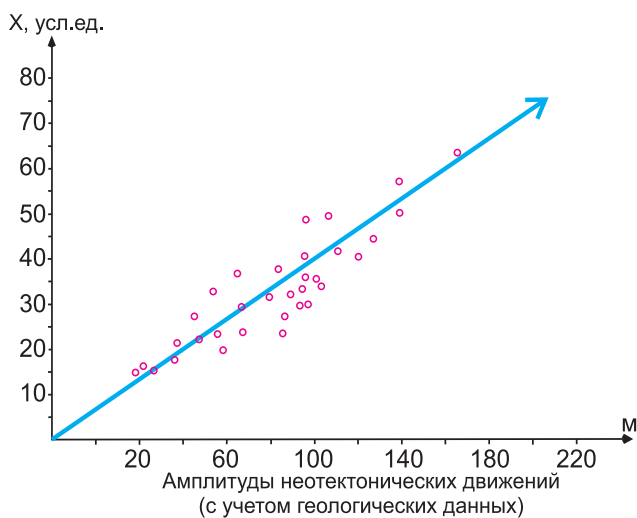
на эталоне. Тогда используются следующие grids (программа ArcMap, модуль Spatial Analyst):

- суммарный показатель плотности гидросети и линеаментов (локальная составляющая новейших деформаций);

- современные вертикальные скорости (региональная основа новейших перегибов);

- редкая сеть показателя величин неотектонических движений в пределах выбранного полигона, полученного по соотношению значений суммарной плотности гидросети и линеаментов и неотектонических амплитуд в пределах эталона, где присутствуют отложения, синхронные неотектоническому этапу.

Проведенные ранее работы в Западной Сибири напрямую указывают на зависимость указанных параметров (рис. 3).



**Рис. 3.** График соотношения амплитуд неотектонических движений, полученных с привлечением геологических данных и современных вертикальных скоростей земной поверхности, и суммарного показателя гидросети и линеаментов (Широтное Приобье) (X – суммарный показатель плотностных характеристик гидросети и линеаментов)

Для платформ и горных сооружений, характеризующихся преимущественным развитием денудационного рельефа, где на более или менее значительных площадях отсутствуют кайнозойские отложения, подсчет амплитуд, как и ранее, основывается на анализе поверхностей выравнивания. Но здесь есть значительное отличие от методики, использовавшейся ранее при построении региональных карт новейшей тектоники. В первую очередь выбирается эталонный участок, где картируется выраженная денудационная поверхность выравнивания с наличием коры выветривания верхнего палеогена или неогенового аккумулятивно-денудационного уровня. Участок выбирается с учетом наличия инструментальных или других данных по современным вертикальным скоростям земной поверхности.

Оцифровка гидросети проводится по возможности с учетом прямолинейности отрезков, что под-

разумеает ее заложение в изначально трещиноватых зонах. На выбранном участке суммарный показатель выявленной трещиноватости, вертикальных скоростей и плотностных характеристик эрозионной составляющей дневного рельефа соотносится с абсолютными отметками выбранного уровня с учетом его палеогипсометрии на время формирования выбранной (исходной) поверхности выравнивания. Далее карта строится на весь выбранный полигон в программном комплексе ArcMap без учета влияющих субъективных факторов.

По сути, региональную составляющую новейших движений (величину амплитуд) получаем с учетом гипсометрии поверхностей выравнивания и ее положения на период формирования в пределах эталонной площади. Далее эти значения зависят уже только от перечисленных параметров. Непременным условием является проверка полученного коэффициента, на который умножается суммарный показатель, на нескольких схожих по геологическому развитию участках. Затем полученный показатель усредняется. Кроме того, можно, а в условиях преобладания эрозии на основных площадях – необходимо для определения амплитуд и усреднения результатов использовать метод глубин врезов, предложенный С. С. Соболевым [9]. Он в какой-то мере является аналогом метода мощностей, который в геологии используется для вычисления количественной стороны отрицательных движений [4].

В итоге получается равномерное распределение пликативных деформаций по всей площади выбранного полигона вне зависимости от рельефа или часто бронирующей роли изверженных или интрузивных пород (траппов, силлов и т. д.). По предлагаемой методике А. П. Хилько в 2010 г. впервые составлена карта новейшей тектоники регионального масштаба Сибирской платформы в связи с проведением параметрического бурения (рис. 4). Судя по полученным данным, развитие в неотектонический этап только Вилюйской гемисинеклизы и южной части Сибирской платформы в определенной степени отвечает тем представлениям, которые были положены в основу карты новейшей тектоники нефтегазоносных областей Сибири под ред. Н. А. Флоренсова и И. П. Варламова (1978 г.). Это же относится и к карте новейшей тектоники Северной Евразии под ред. А. Ф. Грачева (1997 г.), на которой ее сибирская часть просто скопирована с карты 1978 г., а новейшая складчатость определялась в основном из деформаций соответствующих поверхностей выравнивания.

Карта площадей активного новейшего тектогенеза (горных сооружений, рифтах и т. д.) строится также по полигонам, но с учетом разломов, как уже указывалось, в программных комплексах Kingdom, Surfer и др. Как пример подобных построений в статье приводится фрагмент карты новейшей тектоники центральной части Байкальского рифта и прибрежной территории (рис. 5). На нее вынесены

все основные нарушения, выделенные по геолого-геофизическим данным и градиентным линейным зонам изобат, толщинам неоген-четвертичных осадков и потенциальным полям, в той или иной мере влияющим на новейший тектонический облик Байкала. Использовались также материалы Института земной коры (Иркутск), в частности цифровая карта разломов [5], а также карта современной геодинамики, составленная А. Г. Золотаревым и др. (Иркутский государственный университет), и другие карты. Перечисленные параметры составляли основу для построений, т. е. основной GRID карты формировался в программе ArcMap, а далее она строилась в программном комплексе Kingdom.

При составлении карт новейшей тектоники различного масштаба большое внимание уделяется разрывным нарушениям. Поскольку она отражает новейший тектогенез, то из разломов, выделяющихся по геолого-геофизическим данным, на карту выносятся только те, которые отражены в материалах дистанционного зондирования Земли, т. е. в дневном рельефе и различных его элементах. Несомненно, при этих исследованиях дополнительно фиксируются все основные линеаменты, в той или иной степени выраженные в потенциальных полях в виде флексур. По сути, это активизированные тектонические зоны.

Основу легенд карт составляет легенда, разработанная для карты новейшей тектоники нефтегазоносных областей Сибири. В этой части нет необходимости что-либо менять, поскольку она учитывает основные неотектонические параметры, отражающие степень активизации тех или иных участков земной коры. Также при построении карт в цифровом варианте есть возможность менять сечение амплитуд неотектонических движений в любую сторону в зависимости от масштаба работ и тектонической мобильности различных регионов, что предусматривалось и в разработанных ранее легендах.

В заключение необходимо отметить, что современным требованиям не отвечают методические приемы при картопостроениях, основанные на деформациях поверхностей выравнивания без учета других параметров, в той или иной мере влияющих на новейшие движения земной поверхности, а также неиспользование современных компьютерных технологий. Часто они приводят к весьма противоречивым результатам по отношению к современным вертикальным скоростям земной коры, разломной и сейсмической активности регионов.

В настоящей статье рассмотрена методика составления цифровых неотектонических карт разного масштаба, которые можно включать в комплект ГК-200/2 и 1000/3. Такая методика уже использовалась авторами для построения листов N-44 (м-б 1:1 000 000) и P-44-XX-XXI, XXVI-XXVII (четыре





**Рис. 4.** Карта новейшей тектоники Сибирской платформы

Границы: 1 – нефтегазоносных провинций, 2 – надпорядковых тектонических структур, 3 – суперпорядковых тектонических структур, 4 – тектонических структур 1-го порядка; 5 – основные региональные разломы по геолого-геофизическим данным; 6 – месторождения УВ; 7 – параметрические скважины

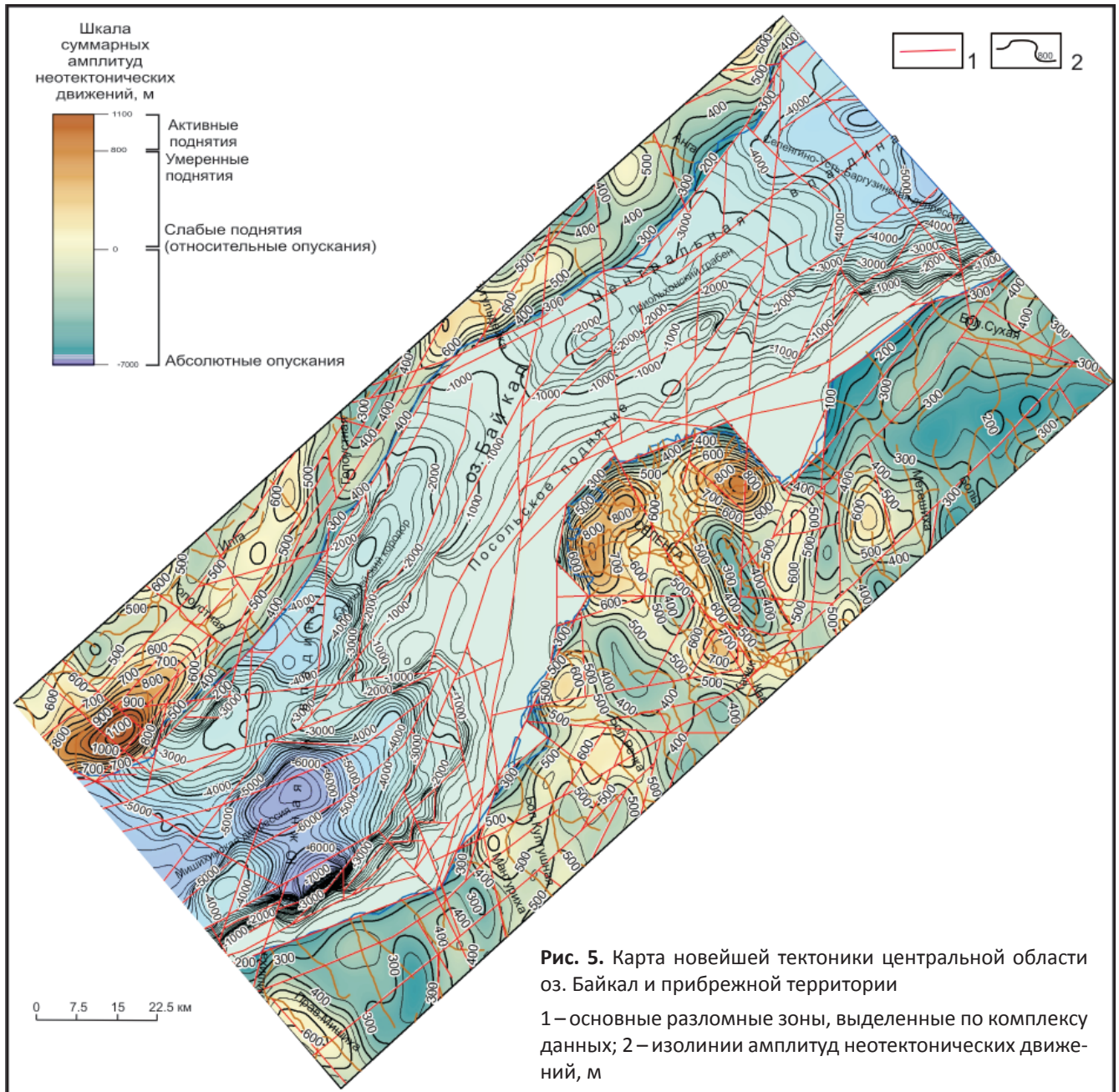


Рис. 5. Карта новейшей тектоники центральной области оз. Байкал и прибрежной территории

1 – основные разломные зоны, выделенные по комплексу данных; 2 – изолинии амплитуд неотектонических движений, м

листа м-ба 1:200 000). В зависимости от исследуемой площади методика основана на комплексировании (суммировании) различных параметров, характеризующих динамику земной поверхности и кайнозойских структурных горизонтов. В конечном варианте составляются карты с использованием программного комплекса ArcMap и др. и при создании GIS-проектов, которые содержат, как уже указывалось, несколько слоев карт, описывающих различные стороны проявления неотектонических процессов.

Это позволит свести в единый проект данные разнообразных источников (аэрокосмические, геолого-геофизические, опубликованные и фондовые материалы, скорости движений и т. д.) с последующим комплексным анализом всех данных. Необходимо также обновление региональных неотектонических карт, в частности карты новейшей текто-

ники нефтегазоносных областей Сибири, изданной еще в прошлом веке [2] и подобных ей.

Необходимо подчеркнуть следующее. Значительную информацию могут нести карты и схемы современных вертикальных скоростей земной поверхности, полученные с использованием радарных интерферометрических изображений. Они могут использоваться во многих отраслях народного хозяйства, в том числе при поисках полезных ископаемых. Необходима также разработка цифровой легенды подобных карт, поскольку до сих пор нигде принципы ее создания не описаны, этого нет ни в одном методическом руководстве.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Золотарев А. Г. Рельеф и новейшая структура Байкало-Патомского нагорья. – Новосибирск: Наука, 1974. – С. 64–80.



2. **Карта** новейшей тектоники нефтегазоносных областей Сибири. Масштаб 1:500 000 / ред. Н. А. Флоренсов, И. П. Варламов. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1978.

3. **Колмогоров В. Г.** Кинематика земной поверхности Западной Сибири по результатам инструментальных методов // Геология и геофизика. – 1997. – Т. 38, № 9. – С. 1538–1548.

4. **Лоскутов Ю. И.** История развития рельефа Якутской алмазонасной провинции в кайнозой. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2019. – С. 104–108.

5. **Лунина О. В.** Цифровая карта разломов для плиоцен-четвертичного этапа развития земной коры юга Восточной Сибири и сопредельной территории Северной Монголии // Геодинамика и тектонофизика. – 2016. – Т. 7, № 3. – С. 407–434.

6. **Николаев Н. И.** Неотектоника и ее выражение в структуре и рельефе территории СССР. – М.: Госгеолтехиздат, 1962. – С. 7–11; 36–60.

7. **Новейшая** тектоника нефтегазоносных областей Сибири / под ред. Н. А. Флоренсова, И. П. Варламова. – М.: Недра, 1981. – С. 8–28.

8. **Процессы** формирования рельефа Сибири / Н. А. Флоренсов, Л. Н. Ивановский, Г. Ф. Уфимцев и др. – Новосибирск: Наука, 1987. – С. 113–120.

9. **Спектор В. Б.** Рельеф Якутии // Вестн. Госкомгеологии. – 2001. – № 1. – С. 18–27.

10. **Тимурзиев А. И.** Новейшая сдвиговая тектоника осадочных бассейнов: тектонофизический и флюидодинамический аспекты (в связи с нефтегазоносностью): автореф. дис. ... д. г.-м. н. – М., 2009. – 40 с.

11. **Филатов А. В.** Мониторинг деформаций земной поверхности в районах интенсивной нефтедобычи по радарным интерферометрическим изображениям Envisat. – Ханты-Мансийск, Югорский НИИ информационных технологий, 2006. – Точка доступа: <http://www.iki.rssi.ru/earth/pres2006/filatov.pdf>.

## REFERENCES

1. Zolotarev A.G. *Relyef i noveyshaya struktura Baykalo-Patomskogo nagorya* [Relief and the latest structure of the Baikal-Patom Highlands]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1974, pp. 64–80. (In Russ.).

2. *Karta noveyshey tektoniki neftegazonosnykh oblastey Sibiri. Masshtab 1:500 000. Redaktery: N.A.Florensov, I.P.Varlamov* [Map of the latest tectonics of oil and gas regions of Siberia. Scale 1: 500,000.

Eds N. A. Florensov, I. P. Varlamov]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 1978. (In Russ.).

3. Kolmogorov V.G. [Kinematics of the Earth's surface in Western Siberia according to the results of instrumental methods]. *Geologiya i geofizika*, 1997, vol. 38, no. 9, pp. 1538–1548. (In Russ.).

4. Loskutov Yu.I. *Istoriya razvitiya relyefa Yakutskoy almazonosnoy provintsii v kaynozoye* [The history of the development of the relief of the Yakutskaya diamondiferous province in the Cenozoic]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 2019, pp. 104–108. (In Russ.).

5. Lunina O.V. [the digital map of the Pliocene–Quaternary crustal faults in the Southern East Siberia and the adjacent Northern Mongolia]. *Geodinamika i tektonofizika*, 2016, vol. 7, no. 3, pp. 407–434. (In Russ.).

6. Nikolaev N.I. *Neotektonika i yeye vyrazheniye v strukture i relyefe territorii SSSR* [Neotectonics and its expression in the structure and relief of the USSR territory]. Moscow, Gosgeoltekhizdat Publ., 1962, pp. 7–11, 36–60. (In Russ.).

7. *Noveyshaya tektonika neftegazonosnykh oblastey Sibiri. Red. N.A.Florensov, I.P.Varlamov* [The latest tectonics of oil and gas regions of Siberia. Ed. N.A.Florensov, I.P.Varlamov]. Moscow, Nedra Publ., 1981, pp. 8–28. (In Russ.).

8. Florensov N.A., Ivanovsky L.N., Ufimtsev G.F., et al. *Protsessy formirovaniya relyefa Sibiri* [The processes of forming the relief of Siberia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1987, pp. 113–120. (In Russ.).

9. Spector V.B. [Relief of Yakutia] *Vestnik. Goskomgeologii*, 2001, no. 1, pp. 18–27. (In Russ.).

10. Timurziev A.I. *Noveyshaya sdivigovaya tektonika osadochnykh basseynov: tektonofizicheskiy i flyuidodinamicheskiy aspekty (v svyazi s neftegazonosnostyu. Avtoreferat kand. dis.)* [The latest shear tectonics of sedimentary basins: tectonophysical and fluid dynamic aspects (in connection with oil and gas potential). Author's abstract of PhD thesis]. Moscow, 2009, 40 p. (In Russ.).

11. Filatov A.V. *Monitoring deformatsiy zemnoy poverkhnosti v rayonakh intensivnoy neftedobychi po radarnym interferometricheskim izobrazheniyam Envisat* [Monitoring of deformations of the earth's surface in areas of intensive oil production using radar interferometric images Envisat]. Khanty-Mansiysk, Ugra Research Institute of Information Technology Publ., 2006. Available at: <http://www.iki.rssi.ru/earth/pres2006/filatov.pdf>. (In Russ.).

© А. П. Хилько, И. А. Хилько, 2020



УДК 563.12:551.781.31(571.1))

## ВЛИЯНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ НА СТРАТИГРАФИЮ ПАЛЕОЦЕНА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ (НА ОСНОВАНИИ ИЗУЧЕНИЯ ФОРАМИНИФЕР)

В. М. Подобина

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

К концу маастрихтского века под действием тектонических движений в Западной Сибири изменилось направление трансгрессии с южного на северное. Это привело к некоторому изменению литологического состава в самых верхних слоях ганькинской свиты (горизонта): появилась опоковидность и исчез известковый материал. В результате тектонических движений от размыва сохранились только самые нижние слои датского яруса (нижнего палеоцена) в понижениях рельефа (Зауралье, Омская впадина, меридиональное течение р. Васюган). Вышележащие отложения состоят из темно-серых пластичных неизвестковых глин талицкой свиты зеландского яруса (средний палеоцен).

**Ключевые слова:** тектонические движения, палеоцен, фораминиферы, Западная Сибирь.

## INFLUENCE OF TECTONIC MOVEMENTS ON THE STRATIGRAPHY OF THE PALEOCENE OF WESTERN SIBERIA (BASED ON FORAMINIFERS)

V. M. Podobina

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

Toward the end of the Maastrichtian stage in Western Siberia, under the influence of tectonic movements, the direction of transgression changed from southern to northern. This led to a slight change in the lithological composition already in the uppermost layers of the Gankinskaya suite (horizon). An opoka-like sediments appears in the suite and the calcareous material disappears. As a result of tectonic movements, only the lowest layers of the Danish layer (Lower Paleocene) were preserved from erosion in the relief depressions (Trans-Urals, Omsk Depression, meridian flow of the Vasyugan River). The overlying deposits consist of dark gray plastic unclays of the Talitsky Formation of the Zeelandian Stage (Middle Paleocene).

**Keywords:** tectonic movements, Paleocene, foraminifera, Western Siberia.

DOI 10.20403/2078-0575-2020-2-12-25

Исследования систематического состава маастрихт-датских комплексов фораминифер показали его значительное изменение на рубеже мела – палеогена Западной Сибири. Секреционно-известковые фораминиферы в верхах ганькинской свиты (одноименного горизонта, далее – свиты) стали менее разнообразными, значительно сократился систематический состав и количественное содержание, возникли новые таксоны бентосных и планктонных раковин, характерных для раннепалеоценовых или датских отложений. Эти изменения состава микрофауны и литологии вмещающих пород могут быть объяснены проявлением первых альпийских тектонических движений в пределах Западной Сибири, которые привели к структурным преобразованиям региона: местами к опусканию его северного борта и некоторому поднятию южных территорий.

Структурным перестройкам территории соответствовало изменение направления трансгрессии с южного на северное. По этой причине наблюдаются значительные изменения в литологии пород и комплексах фораминифер. В самых верхних слоях ганькинской свиты (горизонта) отмечаются опесчанивание, опоковидность пород, полностью исчезает карбонатный материал. Также уменьшается разнообразие позднемаастрихтского комплекса фораминифер и численность особей видов; появляются новые таксоны секреционно-известковых и планктон-

ных форм, характерных для датского яруса (нижний палеоцен). Вследствие действия положительных вертикальных тектонических движений происходит постепенное обмеление маастрихтского бассейна и далее местами его осушение. Вышележащие нижние слои датских отложений по этой причине частично сохранились от размыва в основном в понижениях территории Западной Сибири.

### История исследования

Положение датского яруса в Западной Сибири – значительная проблема, потому что фораминиферы этого возраста найдены пока в разрезах верхних слоев ганькинской свиты в Зауралье, Омской и в Усть-Тымской впадинах, а также в бассейне меридионального течения р. Васюган. Эти фораминиферы приурочены к верхним слоям литологически измененной ганькинской свиты или (реже) к переходным слоям к талицкой свите. Следует отметить, что данные слои по литологии (алевритистые серые глины) и найденным в них видам фораминифер, по мнению автора, могут входить в состав сохранившихся от размыва верхних слоев ганькинской свиты. По вмещаемым фораминиферам слои могут быть датированы нижним палеоценом или датским ярусом. Начавшийся подъем территории Западной Сибири под действием первой фазы альпийской эпохи тектогенеза привел к обмелению и изме-



нению гидрологического режима маастрихтского бассейна, а затем, возможно, и к его осушению. Осадконакопление датских отложений (верхи ганькинской свиты) происходило в бассейне с понижением температуры водных масс, что в дальнейшем (в среднем палеоцене) привело к увеличению количества растворенного кремнезема и появлению кремнистой микрофауны. С подъемом территории размывались накопившиеся нижнепалеоценовые отложения.

Нижние слои датского яруса, сохранившиеся в понижениях рельефа в верхах ганькинской свиты, выделены в зону *Brotzenella praeacuta*, по шкале планктонных фораминифер [19] соответствующую самой нижней зоне палеоцена *Euglobigerina taurica*. Вышележащие зоны планктонных фораминифер датского яруса *Globosonusa daubjergensis* и *Acarinina inconstans* в Западной Сибири из разреза выпадают. В последней унифицированной региональной стратиграфической схеме [18] ранее известная датская зона *Brotzenella praeacuta*, по нашему мнению, ошибочно перенесена в нижнюю половину талицкой свиты. Слои с датскими фораминиферами выделены автором и другими исследователями [3, 5, 16] в верхах ганькинской свиты, известны в разрезах Омской впадины и, видимо, в других понижениях рельефа [7, 11, 13, 14]. На востоке в Усть-Тымской впадине в ряде разрезов скважин автором обнаружены синхронные слои предположительно датского возраста. В противоположность секреторно-известковым фораминиферам из западных разрезов указанные слои включают в основном агглютированные примитивно устроенные формы, выделяемые как комплекс с *Bathysiphon nodosarieformis*, *Glomospira corona* [11, 14].

В верхах литологически измененной ганькинской свиты в Шумихинском районе Южного Зауралья Л. Г. Дайн в 1937 г. [7] впервые установила зону фораминифер *Clavulina parisensis*, *Anomalina ammonoides* var. *acuta* условно датского возраста. Указанный вариант впоследствии был переименован в самостоятельный вид *Anomalina praeacuta* Vassilenko [6]. В. М. Подобиной этот вид рассматривался в объеме рода *Brotzenella* и вида-индекса зоны *B. praeacuta* датского возраста [12]. Ранее этот комплекс с *Anomalina praeacuta* исследовался Э. Н. Кисельман [5], возраст был определен, как и другими исследователями, как предположительно датский [14] (табл. I).

Исследования многочисленных разрезов вышележащей талицкой свиты показали, что по литологии это совершенно другие породы по сравнению с ганькинской. Свита состоит из серых и темно-серых, пластичных плотных, местами опоковидных глин. По породам и содержащейся в них кремнистой микрофауне можно определить, что они формировались в бассейне, созданном боральной трансгрессией. Фораминиферы в центральном районе представлены агглютированными кварцево-кремнистыми раковинами и кремнистыми радиоляриями. Это другая кремнистая микрофауна, распространившаяся из Арктики в бассейн Западной Сибири. Большая нижняя часть талицкой свиты датирована зеландским ярусом (средний палеоцен), и в этих породах установлена зона *Ammoscalaria friabilis* [11, 11, 14]. В окраинных районах наряду с агглютированными кварцево-кремнистыми или без них местами встречены секреторно-известковые формы, определяемые автором как слои с комплексом *Cibicidoides proprius*.

Исследования керна ряда скважин на юго-востоке (окрестности г. Северска, Томский район) показали, что наряду с единичными агглютированными фораминиферами присутствуют секреторно-известковые формы. Это дало возможность выявить здесь весьма разнообразный зеландский комплекс с *Cibicidoides proprius*, а в нем определить преобладающие известковые бентосные и планктонные фораминиферы, по-видимому, попавшие сюда через Мариинский пролив из Казахской провинции. Они являются доказательным материалом зеландского возраста (средний палеоцен) большей нижней части талицкой свиты [11].

Необходимо отметить, что наиболее разнообразный зеландский комплекс с *Cibicidoides proprius* обнаружен в разрезе скв. Т-29 в окрестностях Северска. Многие виды, представленные на палеонтологических табл. II–IV, характерны для зеландского яруса Швеции [20]. Кроме того, вид *Morosovella* aff. *angulata* (White) (см. табл. IV) типичен для одноименной нижней зоны зеландия по шкале планктонных фораминифер [19].

Необходимо отметить, что наиболее разнообразный зеландский комплекс с *Cibicidoides proprius* обнаружен в разрезе скв. Т-29 в окрестностях Северска. Многие виды, представленные на палеонтологических табл. II–IV, характерны для зеландского яруса Швеции [20]. Кроме того, вид *Morosovella* aff. *angulata* (White) (см. табл. IV) типичен для одноименной нижней зоны зеландия по шкале планктонных фораминифер [19].

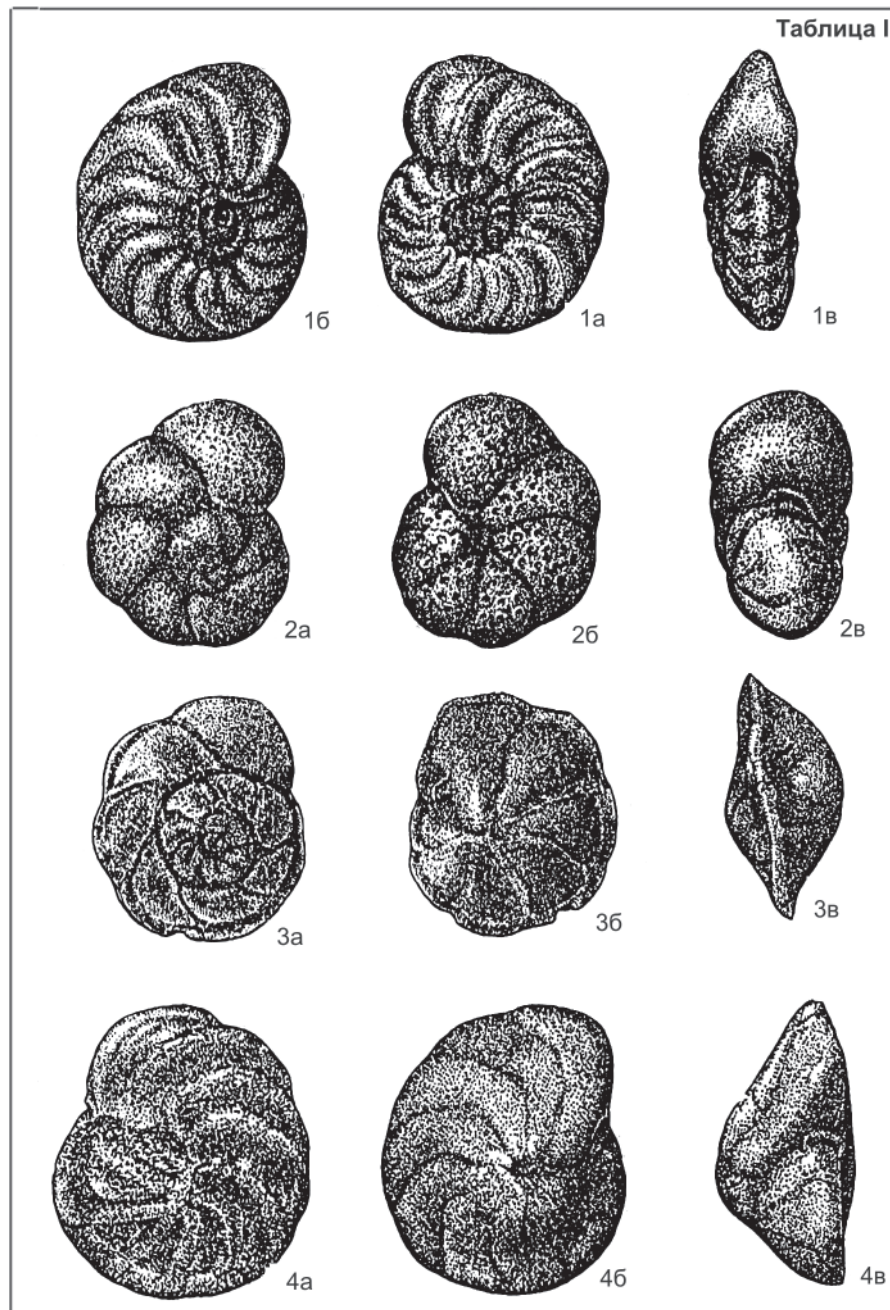
#### Комплексы фораминифер и биостратиграфия датского яруса палеоцена Западной Сибири

Нижний палеоцен P  
(Нижний подотдел P)

Датский ярус P<sub>1d</sub>

Верхи ганькинского горизонта

В статье обобщены сведения по датским фораминиферам, слои с которыми выделены местами в литологически измененной верхней части ганькинской свиты или в переходных слоях к талицкой. Датские фораминиферы на западе в разрезах Южного Зауралья и Омской впадины состоят в основном из секреторно-известковых форм комплекса с *Brotzenella praeacuta*. В восточных разрезах по р. Тым (Усть-Тымская впадина) в синхронных породах обнаружен условно датский комплекс с *Bathysiphon nodosarieformis*, *Glomospira charoides*. Подобные комплексы известны в разрезах меридионального течения р. Васюган и в Зауралье, но в них присутствуют и единичные известковые формы. Датские отложения сохранились от размыва только в пониженных формах рельефа Западной Сибири и соответствуют, по-видимому, самой нижней планктонной зоне фораминифер *Euglobigerina taurica* [19].



Нижний палеоцен, датский ярус, зона *Brotzenella praeacuta*; Западная Сибирь, Омская область, пос. Саргат, скв. 1-р, инт. 558,83–552,18 м; ганькинский горизонт, датский ярус;  $\times 80$ ; вид со стороны: а – спинной, б – брюшной, в – устья

**Фиг. 1.** *Brotzenella praeacuta* (Vassilenko). Экз. № 1361

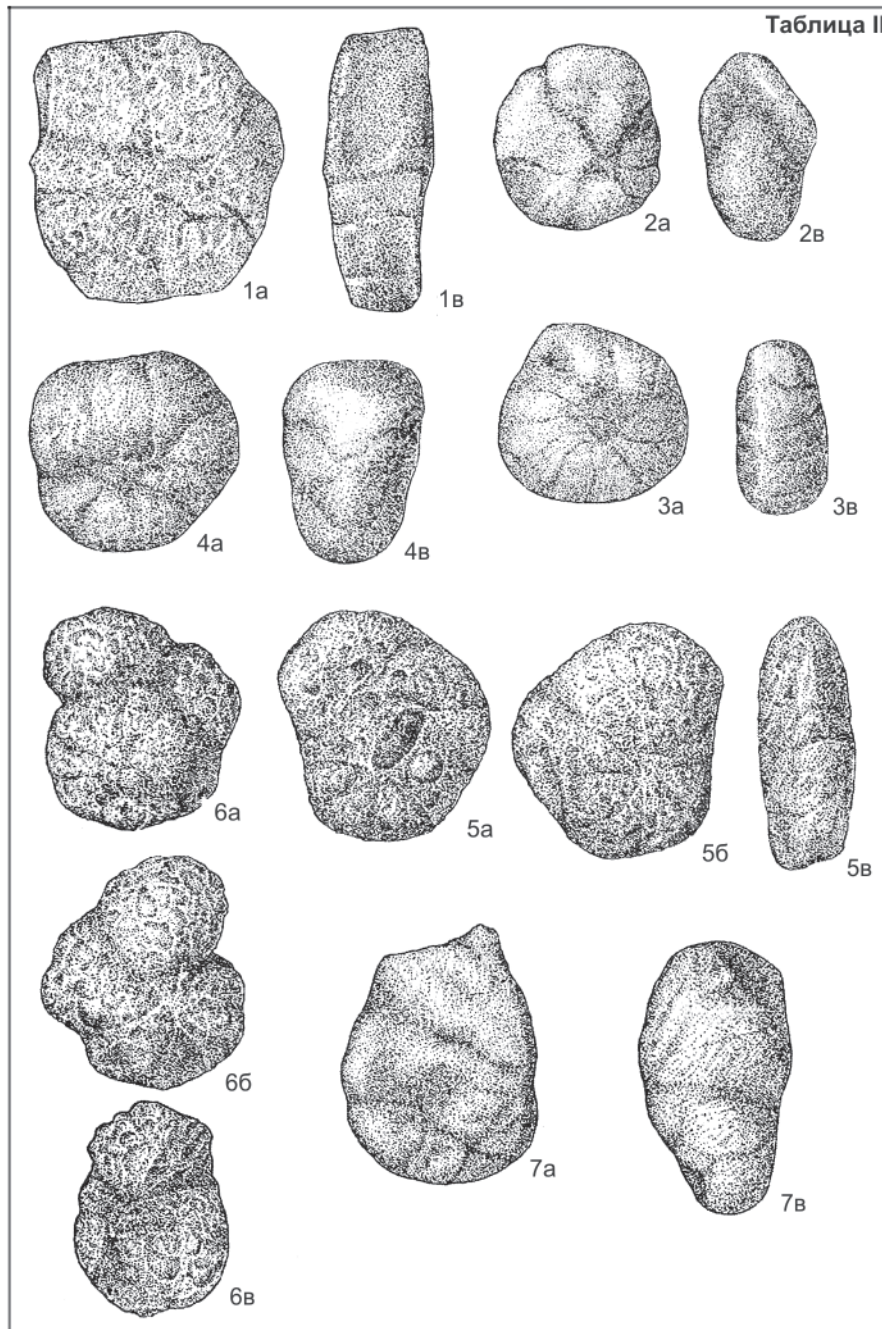
**Фиг. 2.** *Anomalina danica* (Brotzen). Экз. № 1358

**Фиг. 3.** *Parella lens* Brotzen. Экз. № 1353

**Фиг. 4.** *Cibicidoides spiropunctatus* Galloway et Morrey. Экз. № 1357

По данным автора [11], в талицкой свите установлены отложения среднего палеоцена (зеландский ярус), а в ее верхах – верхнего (танетский ярус). Местами в понижениях рельефа выделены нижние слои датского яруса, сохранившиеся от размыва (в верхах ганькинской свиты или в переходных слоях к талицкой) и содержащие комплекс фораминифер с *Brotzenella praeacuta* (секреционно-известковые фораминиферы). Кроме Зауралья, они прослежены в разрезах скважин Омской впадины

(поселки Новологиново, Саргат, Большеречье, Тара и др.). На востоке слои с комплексом *Bathysiphon nodosarieiformis*, *Glomospira charoides* в разрезах скважин 1, 2, 3, 152, пробуренных Пайдугинской партией в Усть-Тымской впадине, по положению в разрезе соответствуют датским отложениям на западе региона. В тымских разрезах установлены в основном агглютинированные кварцево-кремнистые фораминиферы. Подобный комплекс, несколько измененный и обедненный по систематическому



Средний палеоцен, зеландский ярус, зона *Ammoscalaria friabilis*, слои с *Cibicides proprius*; юго-восток Западной Сибири, район г. Северска, скв. Т-29, гл. 233,0 м; талицкий горизонт, зеландский ярус;  $\times 60$ ; вид со стороны: а – боковых или спинной, б – брюшной, в – устья

**Фиг. 1.** *Cyclammina coksuvorovae* Uschakova. Экз. № 3000

**Фиг. 2–3.** *Asanospira grzybowski* (Mjatluk). Экз. № 3001

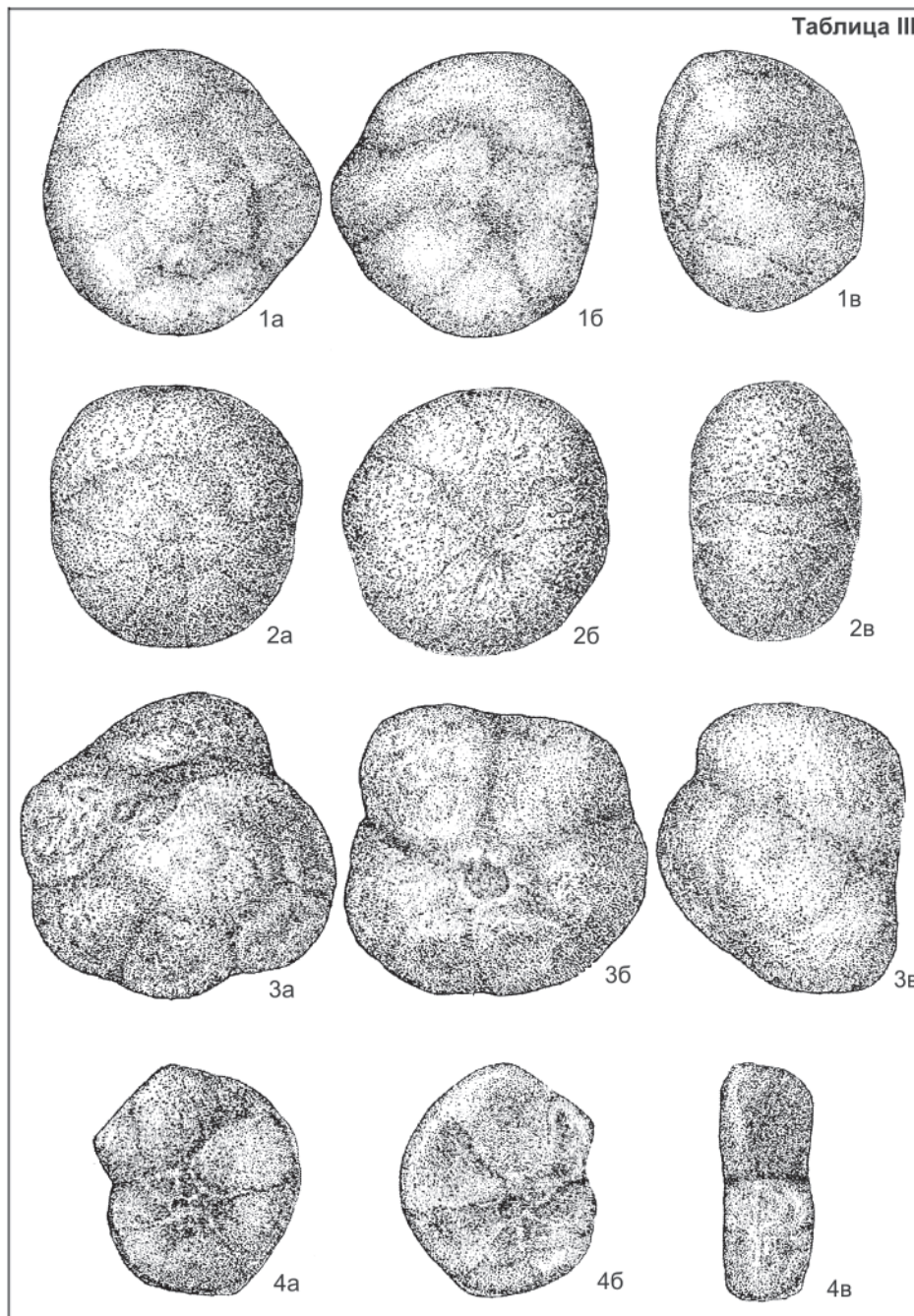
**Фиг. 4.** *Cribrostomoides paleogenicus* Podobina. Экз. № 3003

**Фиг. 5–6.** *Trochammina pentacamerata* Lipman: 5 – экз. № 3004, 6 – экз. № 3005.

**Фиг. 7.** *Astacolus* aff. *grayi* Brotzen. Экз. № 3006

составу, прослежен в центральном районе в разрезах скважин меридионального течения р. Васюган в отложениях верхов ганькинской свиты и переходных слоях к талицкой, представленных темно-серой плотной алевритистой глиной. В этих породах в разрезе скв. 4 (Западная партия) на гл. 415,0 м определены немногочисленные фораминиферы смешанного состава: примитивно устроенные фора-

миниферы, характерные для разрезов Усть-Тымской впадины, и единичные секреторно-известковые формы. Здесь установлен вид *Brotzenella praeacuta* (Vassilenko), обнаруженный ранее в разрезах Зауралья и Омской впадины. Вероятно, при дальнейших исследованиях будут сделаны новые находки датских фораминифер, приуроченных к верхам ганькинской свиты или к переходным слоям между



Средний палеоцен, зеландский ярус, зона *Ammoscalaria friabilis*, слои с *Cibicidoides proprius*; юго-восток Западной Сибири, район г. Северска, скв. Т-29, гл. 230,0 м; талицкий горизонт, зеландский ярус;  $\times 60$ ; вид со стороны: а – боковых или спинной, б – брюшной, в – устья

**Фиг. 1.** *Ceratobulimina tuberculata* Brotzen. Экз. № 3007

**Фиг. 2.** *Gyroidinoides pontoni* Brotzen. Экз. № 3008

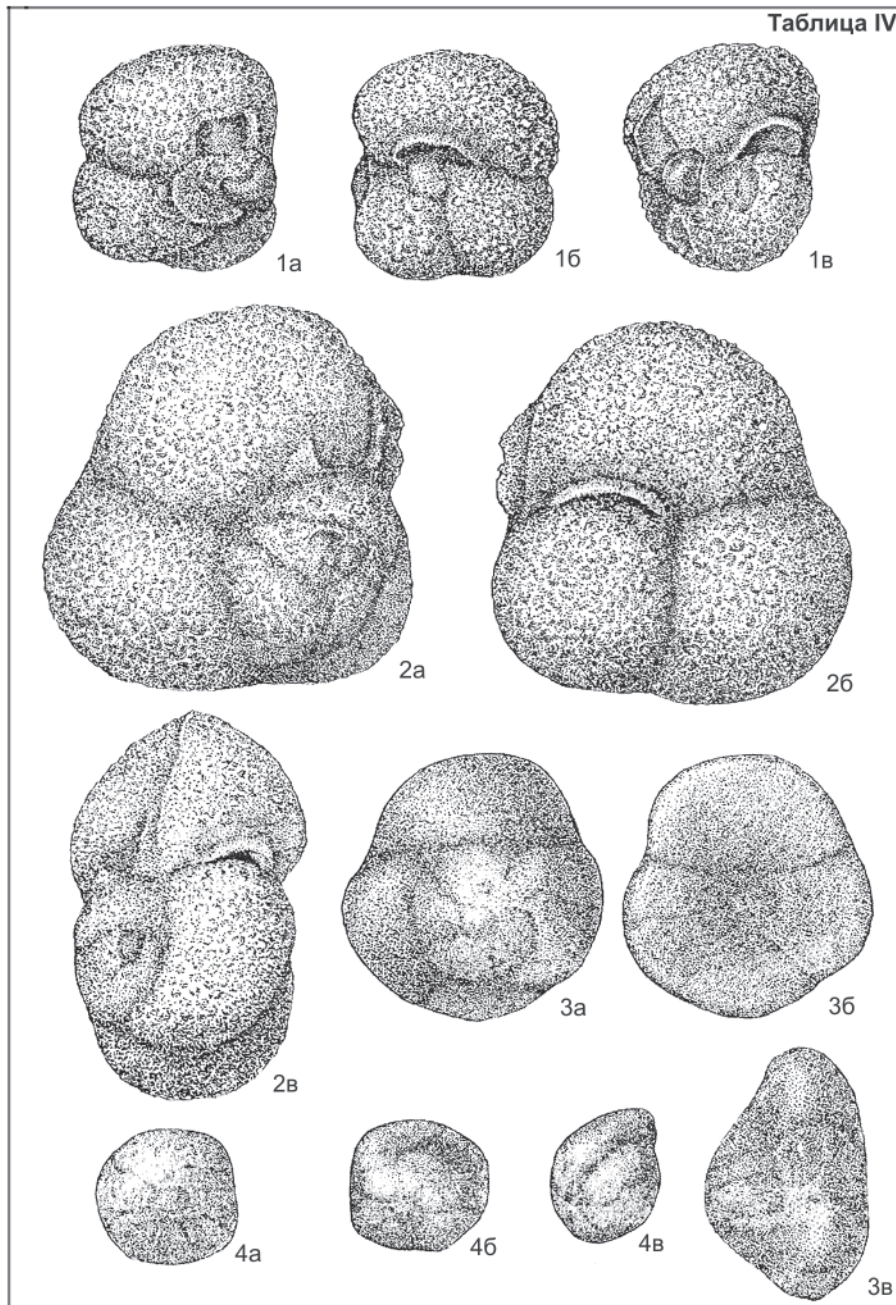
**Фиг. 3.** *Gavelinella lellingensis* Brotzen. Экз. № 3009

**Фиг. 4.** *Cibicidoides proprius* Brotzen. Экз. № 3017

ней и талицкой. Но талицкая свита, представленная темно-серыми плотными пластичными глинами, как уже указывалось, в центральном районе повсеместно включает зеландский комплекс с *Ammoscalaria friabilis* и выше танетский с *Glomospira gordialisiformis*, *Cibicidoides favorabilis*; слои с данными комплексами представляют собой отдельные зоны среднего и верхнего палеоцена [14].

В южной части Тургайского прогиба в подобных породах, относимых к датскому ярусу, встречаются секреционно-известковые планктонные и бентосные фораминиферы, по которым В. Н. Беньямовский и др. [6] установили зону нижнего палеоцена *Globoconusa daubjergensis*, *Cibicides lectus*, *Reusella paleocenica*. В Западной Сибири она, по-видимому, выпадает из разреза. Возможно, в южном Тургае





Средний палеоцен, зеландский ярус, зона *Ammoscalaria friabilis*, слои с *Cibicides proprius*; юго-восток Западной Сибири, район г. Северска, скв. Т-29, гл. 230,2 м; талицкий горизонт, зеландский ярус;  $\times 100$ ; вид со стороны: а – боковых или спинной, б – брюшной, в – устья

**Фиг. 1.** *Globigerina varianta* Subbotina. Экз. № 3013

**Фиг. 2.** *Globigerina triloculinoidea* (Plummer). Экз. № 3010

**Фиг. 3–4.** *Morosovella* aff. *angulata* (White): 3 – экз. № 3011, 4 – экз. № 3012

в породах, соответствующих переходным или сохранившимся от размыва верхним слоям ганькинской свиты, кроме самой нижней зоны *Euglobigerina taurica*, обнаружена вышележащая датская зона планктонных фораминифер *Globoconus daubjergensis*.

**Результаты исследований**

Типовой разрез зоны *Brotzenella praeacuta* установлен автором в пределах Омской впадины

(пос. Саргат, скв. 1-р, инт. 558,83–552,18 м) [7]. Вмещающие породы – литологически опесчаненные, немного опоковидные верхние слои ганькинской свиты или переходные к талицкой (мощность слоев до 6 м). Зональный комплекс в этом разрезе состоит из видов *Gaudryina gigantea* (Subbotina), *Clavulina parisiensis* Orb., *Lenticula inusitata* (Kisselman), *Parrella lens* Brotzen, *Anomalina danica* (Brotzen), *Cibicides spiropunctatus* Galloway et Morrey, *Brotzenella praeacuta* (Vassilenko).

В Усть-Тымской впадине этой части разреза, по видимому, соответствуют слои, вмещающие комплекс с *Bathysiphon nodosarieformis*, *Glomospira charoides* [7] с преобладанием примитивно устроенных фораминифер *Bathysiphon nodosarieformis* Subbotina, *Glomospira gordialiformis* Podobina, *G. charoides* Parker et Jones. Кроме того, содержатся и более сложно устроенные, а также реликтовые формы – *Spiroplectamina* sp. (aff. *S. kasanzevi* Dain), *Trochamminoides lamentabilis* Podobina, *Labrospira granulosa* (Lipman), *Haplophragmoides fastosus* Podobina, *Adercotryma horrida* (Grzybowski), *Trochammina completa* Lipman.

Слои с этим комплексом впервые установлены в бассейне р. Тым в разрезе скв. 1 на гл. 470,0 м (Пайдугинская партия), а также в скважинах 2, 3, 152. Несколько измененный и обедненный комплекс прослежен в разрезах скважин меридионального течения р. Васюган в отложениях, переходных к талицкой свите. В скв. 4 (Западная партия) на гл. 415,0 м определены немногочисленные фораминиферы видов *Ammodiscus glabratus* Cushman et Jarvis, *Glomospira charoides* Parker et Jones, *G. gordialiformis* Podobina, *Brotzenella* cf. *praeacuta* (Vasilenko).

В бассейне меридионального течения р. Васюган в разрезе скв. 5 (Западная партия) на гл. 443,0 м в темно-серых алевролитистых, местами опоковидных глинах с включением светло-серого песка также обнаружены единичные фораминиферы комплекса с *Bathysiphon nodosarieformis*, *Glomospira charoides*; доминируют примитивно устроенные раковины видов *Bathysiphon nodosarieformis* Subbotina, *Glomospira charoides* Parker et Jones, *G. gordialiformis* Podobina. Наряду с ними встречены более высокоорганизованные реликтовые маастрихтские формы видов *Heterostomella* aff. *foveolata* (Marsson) и *Nodosaria aspera* (Reuss). Комплекс подобного обедненного видового состава с преобладанием примитивных форм обнаружен также в северном Зауралье (пос. Березово) в разрезе скв. 86 (Федоровская партия) на гл. 273,0–268,0 м. В глинах зеленовато-серых оскольчатых слюдястых с примесью серого мелкозернистого песка определены фораминиферы условно датского возраста с видами *Bathysiphon nodosarieformis* Subbotina, *Hyperammina inferbulbata* Bulatova, *Ammodiscus glabratus* Cushman et Jarvis, *Glomospira charoides* Parker et Jones, *Cribrostomoides paleogenicus* Podobina, *Recurvoidella lamella* (Grzybowski) и др.

Н. Н. Субботиной и Э. Н. Кисельман [16] проанализирован систематический состав комплекса *Brotzenella praeacuta* и установлено его сходство с таковым датского яруса, известного во многих районах бывшего СССР. Среди найденных западно-сибирских фораминифер есть планктонные формы датского яруса (*Globigerina pseudobulloides* Plummer, *G. trivialis* Subbotina, *G. compressa* Plummer) совместно с бентосными видами фораминифер в верхних слоях ганькинской свиты.

Находки *Nautilus bellerophon* Ludgr. в отложениях, соответствующих верхам ганькинской свиты, подтверждают датский возраст этой части разреза Западной Сибири, выделенной автором как зона *Brotzenella praeacuta* [15].

Следует отметить, что для датских комплексов фораминифер западного (*Brotzenella praeacuta*) и восточного (*Bathysiphon nodosarieformis*, *Glomospira charoides*) Омской и Усть-Тымской впадин характерно присутствие реликтовых позднемаастрихтских форм. В разрезах скважин Омской впадины выявлен комплекс с *Brotzenella praeacuta* с характерными видами датского комплекса фораминифер [5, 7, 11, 14, 16]. В Зауралье и Омской впадине, как уже было сказано, мелководные ассоциации датских фораминифер включают в основном виды бентосных раковин с секреторно-известковой стенкой, реже планктонные формы в комплексе с *Brotzenella praeacuta*. На востоке Западной Сибири (Усть-Тымская впадина) этой части разреза соответствуют слои с комплексом преимущественно агглютинированных фораминифер, в котором преобладают примитивно устроенные формы (комплекс с *Bathysiphon nodosarieformis*, *Glomospira charoides*). В других разрезах (меридиональное течение р. Васюган, Северное Зауралье) встречены единичные примитивные фораминиферы, однако они отличаются от восточного комплекса с *Bathysiphon nodosarieformis*, *Glomospira charoides* (Усть-Тымская впадина) присутствием единичных известковых раковин характерных видов.

Датские комплексы фораминифер обнаружены в верхах литологически измененных пород ганькинской свиты или (реже) в переходных к талицкой свите слоях, относимых также к ганькинскому горизонту. В унифицированной региональной стратиграфической схеме [18] слои или зона *Brotzenella praeacuta* ошибочно сопоставлены со слоями с комплексами диноцистов, выделяемых в талицкой свите, где повсеместно распространена зеландская зона среднего палеоцена *Ammoscalaria friabilis*, а выше – танетская зона верхнего палеоцена *Glomospira gordialiformis*, *Cibicidoides favorabilis*.

Эти материалы необходимо учесть при создании новой унифицированной региональной стратиграфической схемы палеогеновых отложений.

Средний палеоцен (P)  
Средний подотдел  
Зеландский ярус (Pz<sub>1</sub>)  
Талицкий горизонт

Талицкая свита (горизонт) установлена в 1955 г. З. Т. Алескеровой, Т. И. Осыко [4], представлена темно-серыми, иногда почти черными, часто пластичными, плотными глинами. Условия залегания пород свиты, ее мощность и контакты с подстилающими и перекрывающими отложениями указывают на то, что в восточном направлении Обь-Иртышского междуречья она сохранилась не в полном объеме.



Мощность свиты здесь обычно колеблется в пределах 10–15 м (в стратотипе с. Талица Свердловской области – до 320 м). Нередко верхние слои свиты полностью размыты, в разрезе прослеживается только ее нижняя часть. В бассейне р. Чижанка, наоборот, из разреза выпадают верхние слои свиты, что особенно четко заметно там, где в разрезе не прослеживается верхняя зона маастрихта. По наблюдениям М. В. Ушаковой [17], в южной части равнины (Славгород, Октябрьское, Рязкино) морские отложения талицкой свиты часто отсутствуют.

Более полный разрез талицкой свиты и, соответственно, среднего палеоцена изучен в центральном районе на примере Уватской опорной скважины. Мощность свиты здесь достигает 125,0 м, по литологическому составу она подразделяется на две подсвиты – нижнюю (примерно 80,0 м) и верхнюю (45,0 м). Мощности выделяемых здесь слоев с фораминиферами также неравнозначны. Так, в разрезе Уватской скважины мощность нижних слоев (зона *Ammoscalaria friabilis*) 105 м, верхних (зона *Glomospira gordialiformis*, *Cibicidoides favorabilis*) 20 м. Следовательно, в центральном районе верхняя зона верхнего палеоцена составляет лишь самые верхние слои талицкой свиты и низы серовской.

В центральном районе наиболее детально талицкая свита изучена автором в разрезах скважин 1, 4 и 5 бассейна меридионального течения р. Васюган (Западная партия) Каймысовского свода. В разрезе скв. 1 на глубине 600,0 м обнаружен комплекс с *Ammoscalaria friabilis*, который в унифицированной региональной схеме 1981 г. выделялся под названием *Ammoscalaria incultus friabilis*. Как показали монографические исследования автора [12], позднемеловой вид *Ammoscalaria incultus* (Ehremeeva) отличается от палеоценового по некоторым морфологическим признакам, поэтому автором в среднепалеоценовых отложениях выделен самостоятельный вид-индекс *Ammoscalaria friabilis* (Ehremeeva). Комплекс фораминифер имеет следующий видовой состав: *Bathysiphon nodosarieformis* Subbotina, *Psammosphaera laevigata* White, *Glomospira gordialiformis* Podobina, *Ammoscalaria glabratus* Cushman et Jarvis, *Labrospira granulosa* (Lipman), *Quinqueloculina* aff. *moremani* Cushman et Jarvis, *Q. pulchra* Putrja, *Robulus discus* Brotzen, *Donsissonia laxata* Podobina, *Eponidus lunatus* Brotzen, *Cibicidoides proprius* Brotzen, *Evolutononion sibiricus* (Lipman), *Nonionellina ovata* (Brotzen), *Subbotina varianta* (Subbotina), *S. triloculinoidea* (Plummer), *Protoglobulimina ovata* (Brotzen) и др. Наряду с агглютинированными он включает и секреционно-известковые формы из широко распространенного в Зауралье зеландского комплекса с *Cibicidoides proprius*, многие виды которого известны из стратотипа зеландия в Дании и монографически описаны Ф. Бротценом [20] в Южной Швеции (г. Мальме).

В разрезе скв. 1 (инт. 600,0–575,0 м) среди агглютинированных форм присутствуют виды

*Psammosphaera laevigata* White, *Glomospira gordialiformis* Podobina, *Ammoscalaria glabratus* Cushman et Jarvis, *Labrospira granulosa* (Lipman), *Haplophragmoides fastosus* Podobina, *Asanospira grzybowski* (Mjatliuk), *Cyclammina coksuvorovae* Uschakova, *Ammoscalaria friabilis* (Ehremeeva), *Trochammina pentacamerata* Lipman, *T. intacta* Podobina, *Verneuilinoides paleogenicus* (Lipman). Следует отметить, что среди указанных форм преобладают (до 10–20 экз. на 100 г породы) мелкозернистые раковины родов *Psammosphaera*, *Ammoscalaria* и *Haplophragmoides*. Представители вида *Ammoscalaria friabilis* (Ehremeeva) единичны, встречены только на гл. 575,0 м, однако везде по разрезу отмечены другие характерные виды.

В районе пос. Березово (Северное Зауралье) в разрезе скв. 86 (Федоровская партия) в породах из инт. 258,0–203,0 м, представленных темно-серой, почти черной, плотной, оскольчатой глиной, местами с примесью глауконита, встречен комплекс фораминифер с *Ammoscalaria friabilis*. Агглютинированные кварцево-кремнистые фораминиферы преобладают во всех образцах, кроме таковых с глубин 213,0; 208,0 и 203,0 м, где они единичны (см. табл. II–IV).

В скв. 86 в инт. 258,0–203,0 м (гл. 233,0 м) наряду с агглютинированными фораминиферами комплекса с *Ammoscalaria friabilis* встречены многочисленные секреционно-известковые формы комплекса с *Cibicidoides proprius*, обнаруженного в самых нижних породах указанного интервала и в его средней части, а отдельные виды секреционно-известковых форм прослеживаются совместно с агглютинированными по всему разрезу талицкой свиты. Автором изучен видовой состав этих секреционно-известковых бентосных форм, имеющий, как указывалось, большое сходство с зеландским (Дания, о. Зеландия) и шведским (Швеция, г. Мальме) комплексами [7]. Ранее их относили к дат-монтскому ярусу нижнего палеоцена [9, 12], но дальнейшие исследования показали, что монтский ярус представлен зоной планктонных фораминифер *Acarinina inconstans*. Вышележащие зоны *Morozovella angulata*, *M. conicontruncata* и соответствующая им зона *Ammoscalaria friabilis* отнесены не к монтскому ярусу, а к зеландскому [14].

Приведем микрофаунистическую характеристику среднепалеоценовых отложений по разрезам ряда скважин восточного палеобиогеографического района Западной Сибири, которые наиболее детально изучены автором.

На данной территории (восточный район) отложения талицкой свиты также представлены темно-серыми или почти черными оскольчатыми аргиллитоподобными глинами. Мощность свиты изменяется от 5 до 27 м. Здесь также прослеживается зеландский комплекс фораминифер с *Ammoscalaria friabilis*. В составе комплекса указанной зоны на исследуемой территории чаще всего встре-



чаются виды *Bathysiphon nodosarieformis* Subbotina, *Reopax difflugiformis* Brady, *Ammodiscus incertus* (Orb.), *Labrospira granulosa* (Lipman), *Haplophragmoides fastosus* Podobina, *Asanospira grzybowski* (Mjatljuk), *Cyclammina coksuvorovae* Uschakova, *Ammoscalaria friabilis* (Ehremeeva), *Verneuilinoides paleogenicus* (Lipman). Подобный, но более разнообразный комплекс фораминифер встречается в разрезе скв. 10 бассейна р. Ильяк (Ильякская партия) в породах из инт. 504,0–482,0 м. Обнаруженные здесь фораминиферы довольно многочисленны, разной степени сохранности, в основном представлены агглютинированными кварцево-кремнистыми формами. В нижних слоях свиты (инт. 504,0–493,0 м) комплекс фораминифер наиболее обилен и разнообразен: *Rhabdammina discreta* Brady, *R. cylindrica* Glaessner, *Bathysiphon nodosarieformis* Subbotina, *Psammosphaera laevigata* White, *Saccamina sphaerica* (M. Sars), *S. complanata* (Franke), *Thuramina papillata* Brady, *Reopax difflugiformis* Brady, *Glomospira gordialiformis* Podobina, *Ammodiscus aff. glabratus* Cushman et Jarvis, *Labrospira granulosa* (Lipman), *Haplophragmoides fastosus* Podobina, *Asanospira grzybowski* (Mjatljuk), *Adercotryma horrida* (Grzybowski), *Ammoscalaria friabilis* (Ehremeeva), *Verneuilinoides paleogenicus* (Lipman), *Trochammina pentacamerata* Lipman, *T. intacta* Podobina. Кроме указанных агглютинированных, встречаются единичные секреторные известковые формы *Eponides lunatus* Brotzen, *Nonionellina ovata* (Brotzen), ранее установленные Ф. Бротценом в палеоценовых отложениях Швеции [20].

В бассейне р. Чижалка (Чижалская партия) комплекс с *Ammoscalaria friabilis* встречается в разрезах трех скважин: 1к, 8к, 15к.

В разрезе скв. 1к фораминиферы комплекса обнаружены в породах из инт. 322,0–295,0 м, особенно многочисленны в инт. 319,0–313,0 м: *Rhabdammina cylindrica* Glaessner, *R. discreta* Brady, *Bathysiphon* sp. indet., *Psammosphaera laevigata* White, *Reopax difflugiformis* Brady, *R. ampullacea* Brady, *Trochamminoides lamentabilis* Podobina, *Labrospira granulosa* (Lipman), *Haplophragmoides fastosus* Podobina, *Asanospira grzybowski* (Mjatljuk), *Cyclammina coksuvorovae* Uschakova, *Adercotryma horrida* (Grzybowski), *Ammoscalaria friabilis* (Ehremeeva), *Verneuilinoides paleogenicus* (Lipman), *Trochammina pentacamerata* Lipman, *T. intacta* Podobina, *Cibicidoides proprius* Brotzen. Все указанные виды, за исключением последнего секреторного известкового, имеют агглютинированную кварцево-кремнистую среднезернистую раковину удовлетворительной сохранности. По количеству экземпляров преобладают представители реофацид и гаплофрагмиидей родов *Reopax*, *Trochamminoides*, *Labrospira*, *Haplophragmoides*, *Asanospira*, *Cyclammina*, *Ammoscalaria*. Относительно разнообразный видовой состав указывает на благоприятные условия существования при нормальной солености и газовом режиме бассейна.

В разрезе скв. 8к в темно-серых глинах из инт. 298,0–288,0 м видовой состав комплекса следующий: *Rhabdammina cylindrica* Glaessner, *Psammosphaera laevigata* White, *Saccamina complanata* (Franke), *Reopax difflugiformis* Brady, *Haplophragmoides fastosus* Podobina, *Asanospira grzybowski* (Mjatljuk), *Ammoscalaria friabilis* (Ehremeeva), *Trochammina pentacamerata* Lipman, *T. intacta* Podobina. Все раковины имеют разнообразную агглютинированную стенку хорошей сохранности. Из указанных видов преобладают (до 10–15 экз. на 100 г породы) *Saccamina complanata* (Franke), *Reopax difflugiformis* Brady, *Asanospira grzybowski* (Mjatljuk), *Ammoscalaria friabilis* (Ehremeeva), *Trochammina pentacamerata* Lipman, *T. intacta* Podobina.

Радиолярии, встреченные совместно с фораминиферами, обычно неудовлетворительной сохранности и представлены в основном скелетами из подотрядов Sphaeroidea, Prunoidea.

В разрезе скв. 15к в породах из инт. 271,0–265,0 м встречаются немногочисленные фораминиферы и радиолярии. Общий видовой состав комплекса с *Ammoscalaria friabilis* следующий: *Psammosphaera laevigata* White, *Rhabdammina* sp. indet., *Bathysiphon nodosarieformis* Subbotina, *Reopax difflugiformis* Brady, *R. dentaliniformis* Brady, *Labrospira granulosa* (Lipman), *Haplophragmoides fastosus* Podobina, *Adercotryma horrida* (Grzybowski), *Ammomarginulina deflexa* (Grzybowski), *Ammoscalaria friabilis* (Ehremeeva), *Trochammina pentacamerata* Lipman. Все раковины указанных видов имеют грубозернистую агглютинированную стенку. Преобладают (до 10–15 экз. на 100 г породы) реофациды и представители вида-индекса *Ammoscalaria friabilis* (Ehremeeva). Скелеты радиолярий плохой сохранности, в основном представлены семейством Liosphaeridae.

Более полный комплекс фораминифер с *Ammoscalaria friabilis*, как указывалось, отмечается в палеобиогеографических центральном и особенно западном районах Западно-Сибирской провинции (Зауралье), где бассейн был относительно глубоководным и стабильным.

Подводя итог, можно сделать вывод, что отложения с комплексом *Ammoscalaria friabilis* широко распространены в Зауралье и центральном районе; на востоке они часто выпадают из разрезов, а на юге в основном отсутствуют. Исследованные разрезы (скв. 10к бассейна р. Ильяк, Ильякская партия; скважины 1к, 8к, 15к бассейна р. Чижалка) показывают восточную границу распространения этого комплекса, который встречается в отложениях талицкой свиты небольшой мощности. Здесь известен сравнительно обедненный комплекс агглютинированных фораминифер; возраст их определен условно как среднепалеоценовый.

В пределах Омской впадины из разреза скв. 8 (Русско-Полянская площадь) исследован образец с глубины 272,0 м, литологически представленный



темно-серой с буроватым оттенком, слегка опоконидной, плотной глиной (талищкая свита). В нем обнаружены немногочисленные агглютинированные, кварцево-кремнистые фораминиферы и окварцованные псевдоморфозы. Среди исследованных раковин определены виды *Bathysiphon nodosariiformis* Subbotina, *Labrospira* cf. *granulosa* (Lipman), *Haplophragmoides* sp. indet., *Cyclammina* sp. indet., *Ammoscalaria* cf. *friabilis* (Ehremeeva), *Trochammina* cf. *pentacamerata* (Lipman). Наряду с указанными зеландскими видами обнаружены единичные окварцованные псевдоморфозы, судя по облику, принадлежащие к секретионно-известковым раковинам семейств Discorbidae, Anomaliniidae и др. Слои с указанным комплексом соответствуют зеландской зоне *Ammoscalaria friabilis*, широко распространенной в Западно-Сибирской провинции.

В бассейне р. Тым Усть-Тымской впадины (скважины 2, 3, 150, Пайдугинская партия) прослежены слои с обедненным комплексом агглютинирующих фораминифер и крупными цикламминами, названный автором комплексом с *Cyclammina coksuvorovae*. Эти слои по положению в разрезе соответствуют среднепалеоценовой (зеландской) зоне *Ammoscalaria friabilis*. Далее на восток и юго-восток глинистые породы талищкой свиты уступают место пескам с прослоями глин, отлагавшимся в прибрежно-морских условиях в отличие от мелководно-морских условий формирования талищкой свиты. Прибрежно-морские отложения палеоцена выделены в парабельскую свиту [2].

Радиолярии, встреченные в изученных разрезах талищкой свиты, отличаются удовлетворительной сохранностью. Т. А. Липницкой определены представители семейств Liosphaeridae, Stylosphaeridae, Druppulidae, Phacodiscidae, Porodiscidae, Lithocampinae.

На юго-востоке в образцах из низов разреза скв. Т-29 в окрестностях г. Северска (инт. 233,0–230,0 м), представленных темно-серой алевритовой глиной (талищкая свита), обнаружены фораминиферы удовлетворительной сохранности, относящиеся к комплексу с *Cibicidoides proprius* (см. рисунок, таблицу). В его составе определены разные ассоциации видов. Так, на гл. 233,0 м обнаружены виды *Cyclammina* cf. *coksuvorovae* Uschakova, *Trochammina* cf. *intacta* Podobina, *Alabamina* sp. indet., *Gavelinella* cf. *lellingensis* Brotzen, *Cibicidoides* cf. *proprius* Brotzen, *Morosovella* aff. *angulata* (White). Кроме них в этом образце и других образцах выделены окварцованные псевдоморфозы фораминифер.

Следует отметить довольно представительную ассоциацию фораминифер на гл. 230,2 м: *Psammosphaera laevigata* White, *Cyclammina* cf. *coksuvorovae* Uschakova, *Trochammina* aff. *pentacamerata* Lipman, *T. intacta* Podobina, *Ceratobulimina tuberculata* Brotzen. Кроме указанных бентосных форм, обнаружены четыре вида характерных планктонных фораминифер: *Globigerina triloculinoides* Plummer, *Acarinina*

aff. *pseudotopilensis* Subbotina, *Acarinina* aff. *spiralis* Bolli, *Morosovella* aff. *angulata* (White). Два последних вида характерны для нижней планктонной зоны зеландия (среднего палеоцена) *Morosovella angulata*.

Наиболее разнообразный зеландский комплекс фораминифер встречен на гл. 230,0 м. Здесь определены 14 видов фораминифер, а также многие окварцованные их ядра и единичные ядра остракод. Установлены следующие виды: *Trochamminoides* cf. *lamentabilis* Podobina, *Labrospira* sp. indet., *Haplophragmoides* aff. *fastosus* Podobina, *Asanospira* cf. *grzybowski* (Mijatliuk), *Cyclammina* cf. *coksuvorovae* Uschakova, *Ammomarginulina* cf. *brevis* (Lipman), *Ammoscalaria* sp. indet., *Recurvoidella* cf. *lamella* (Grzybowski), *Adercotrima* aff. *horrida* (Grzybowski), *Trochammina* cf. *intacta* Podobina, *Trochammina* aff. *pentacamerata* Lipman.

Кроме того, здесь присутствуют характерные бентосные секреторно-известковые формы: *Cibicidoides* cf. *proprius* (Brotzen) и *Discorbinella* aff. *limbata* (Brotzen). Определены с некоторой долей условности и два вида планктонных форм: *Acarinina* aff. *spiralis* Bolli и *Morosovella* aff. *angulata* (White).

Необходимо отметить, что в составе агглютированных форм можно выделить виды, характерные для одноименного комплекса зоны *Ammoscalaria friabilis*. Однако зональный вид недостаточно хорошей сохранности и определен только до родового таксона. Присутствуют здесь и виды, в том числе вид-индекс *Cibicidoides* cf. *proprius* (Brotzen), соответствующие комплексу, широко распространенному в прибрежных фациях западносибирского зеландского бассейна.

Единичные (два вида) характерные планктонные формы также указывают на зеландский (среднепалеоценовый) возраст вмещающих пород. Кроме перечисленных видов фораминифер, присутствуют их многочисленные окварцованные псевдоморфозы. Псевдоморфозы раковин и их плохая сохранность определяют их обитание в прибрежной полосе Западно-Сибирского бассейна. Чередование по разрезу глинистых и песчаных пород можно объяснить миграцией береговой линии вследствие наступления и отступления трансгрессий под влиянием вертикальных тектонических движений.

Темно-серые алевритовые глины (мощность более 3 м), вмещающие указанный комплекс, местами слоистые или оскольчатые, жирные на ощупь. Они относятся к талищкой свите, формировавшейся в прибрежных условиях и отличающейся увеличенным содержанием алевритового и песчаного материала, местами включающей тонкие прослои светло-желтого песка и сидеритизированной глины.

Исследованный в разрезе скв. Т-29 зеландский комплекс фораминифер с *Cibicidoides proprius* впервые встречен на юго-востоке Западной Сибири. Он указывает на расширение трансгрессии морского бассейна в этот период, поскольку содержит срав-



Система	Отдел	Ярус	Горизонт	Глубина, м	Колонка	Глубина находок фораминифер, м	Литологическая характеристика пород	Комплексы фораминифер	Зоны фораминифер
Палеогеновая	Олигоцен	Приабон(?) – рюпель(?)	Тавдинский	200,0	197,0 200,0 204,5 206,0 208,0 208,2	197,0 200,0 204,5 206,0 208,0 208,2	Глина серая с зеленоватым оттенком, алевритовая, комковатая, жирная на ощупь	Nonion graniferum	Cibicoides psevdoungerianus, Evolutononion decoratum Labrospira honesta
	Лютетский	215,0	214,6 215,2 216,2 217,5 218,4	214,6 215,2 216,2 217,5 218,4	Глина желтовато-серая, слоистая, с прослойками песка и растительного детрита, с галькой кварца	Eponides candidulus, Cibicides tenellus	Слои с Bolivinopsis spectabilis		
								Ипрский	220,0
	Танетский	225,0	226,0 227,0 227,5	226,0 227,0 227,5	Глина темно-серая, алевритовая, слоистая и оскольчатая, внизу с прослойками желтой глины, с окатышами светло-желтого песка и глины, с растительным детритом, со следами ожелезнения в виде прослоек и галек сидерита	Textularia sibirica, Anomalinoidea ypresiensis ovatus	Glomospira gordialiformis, Cyclamina coksuorovae		
								Зеландский	230,0
	Талицкий	235,0	230,2 230,8 231,0 231,2 231,8 232,6 233,0 234,4	230,2 230,8 231,0 231,2 231,8 232,6 233,0 234,4					

Литологическая и микропалеонтологическая характеристика разреза палеогена скв. Т-29 (г. Северск)



## Палеоцен-нижнеэоценовые фораминиферовые зоны и слои Западно-Сибирской провинции

Система	Отдел	Ярус	Свита	Районы		
				Западный и центральный (зоны)	Восточный (слои)	Юго-восточный (слои)
Палеогеновая	Эоцен	Ипрский	Серовская	Textularia sibirica, Anomalinoidea ypresiensis ovatus	Единичные фораминиферы	Textularia sibirica, Anomalinoidea ypresiensis ovatus
				Палеоцен	Танетский	Талицкая
	Зеландский	Ammoscalaria friabilis	Cyclammina coksuvorovae		Cibicidoides proprius	
	Датский	Ганькинская	Brotzenella praeacuta	Bathysiphon nodosarieformis, Glomospira charoides	Не обнаружены	

нительно хорошо сохранившиеся раковины фораминифер, в том числе и планктонные формы. Морской бассейн здесь был преимущественно мелководным или прибрежно-морским, и подобные фации ранее прослежены на западе (в Зауралье) и на востоке (Усть-Тымская впадина).

Как видно из приведенных списков фораминифер, наряду с бентосными здесь присутствуют планктонные формы родов *Globigerina*, *Acarinina*, *Morosovella*. Обнаруженные виды планктонных фораминифер указывают на соответствие отложений, включающих этот комплекс, зоне планктонных фораминифер *Morosovella angulata*, которая частично коррелируется с нижней частью зеландского яруса (стратотип находится близ Копенгагена, Дания).

В Западной Сибири к зеландию относится большая часть талицкой свиты – зона *Ammoscalaria friabilis*, в которую входят слои с *Cibicidoides proprius*, выделенные автором в окраинных районах Западной Сибири (см. таблицу).

Исследования автора показали, что вид *Cibicidoides proprius* (Brotzen) из шведского зеландского комплекса характерен и для зеландского комплекса Западно-Сибирской провинции [14], и потому мы называем его комплексом с *Cibicidoides proprius*. Как указывалось, в разрезе скв. Т-29 он встречен в инт. 233,0–230,0 м совместно с агглютированными формами комплекса зоны *Ammoscalaria friabilis* и их псевдоморфозами [8, 10, 11].

Рассматриваемый комплекс наиболее разнообразен на гл. 230,0 м в скв. Т-29, где совместно

присутствуют виды, характерные для комплекса агглютированных форм зоны *Ammoscalaria friabilis*, а также виды секреторно-известковых бентосных и планктонных раковин.

### Выводы

Приведенные данные по литологии и комплексам фораминифер в верхних слоях ганькинской свиты (горизонта) Западной Сибири показали следующее. Тектонические движения первой фазы альпийской эпохи тектогенеза начали действовать уже в конце маастрихтского века и далее привели к обмелению и осушению позднемаастрихт-датского бассейна. На востоке местами из разреза выпадают отложения не только начала дата, но и верхней зоны маастрихта (зона *Spiroplectammina kasanzevi*, *Bulimina rosenkrantzi*).

Датские отложения (видимо, самые нижние слои) по шкале планктонных фораминифер [19] соответствуют зоне *Euglobigerina taurica*. Они сохранились от размыва, лишь в понижениях рельефа Западной Сибири, в самых верхних слоях ганькинской свиты. Вышележащие датские отложения из разреза выпадают даже во впадинах этого региона.

Изменение направления трансгрессии с южного позднекампан-маастрихтского на северное с начала дата и далее привело к образованию талицкого бассейна, связанного с Арктикой, а также к резкому изменению литологии вмещающих пород и систематического состава комплексов фораминифер.



Эти сведения необходимо учесть при создании новой унифицированной региональной стратиграфической схемы палеогена Западной Сибири.

На палеонтологических табл. II–IV представлены изображения видов секретионно-известковых фораминифер, характерных для зеландского яруса (средний палеоцен) Швеции [20]. Автором они выделены в комплекс с *Cibicidoides proprius*, слои с которым соответствуют зоне *Ammoscalaria friabilis* [14]. На основании находок в окрестностях г. Северска довольно разнообразного зеландского комплекса с *Cibicidoides proprius* подтвержден данный возраст агглютинированных кварцево-кремнистых фораминифер, широко распространенных в зоне *Ammoscalaria friabilis*, составляющей основу талицкой свиты (одноименного горизонта).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Василенко В. П.** Аномалиниды. Ископаемые фораминиферы СССР. – Л.: Гостоптехиздат, 1954. – 282 с., 36 палеонт. табл. – (Тр. ВНИГРИ, вып. 80).

2. **Гурари Ф. Г., Ушакова М. В.** К стратиграфии третичных отложений Обь-Иртышского междуречья // Сов. геология. – 1959. – № 7. – С. 13–18.

3. **Дайн Л. Г.** Некоторые виды фораминифер меловых отложений Шумихинского района Челябинской области // Микрофауна СССР. Сб. 12. – Л.: Гостоптехиздат, 1961. – С. 4–42. – (Тр. ВНИГРИ; вып. 170).

4. **Еремеева А. И.** Некоторые новые виды фораминифер из меловых и третичных отложений восточного склона Урала // Вопросы стратиграфии. – 1957. – Сб. 4. – С. 9–15. – (Тр. горно-геол. ин-та УФАН СССР; вып. 28).

5. **Кисельман Э. Н.** Микрофаунистические зоны ганькинской свиты Западно-Сибирской низменности // Материалы по палеонтологии и стратиграфии Западной Сибири. – Л.: Гостоптехиздат, 1960. – С. 176–188.

6. **Новые** данные о морских палеогеновых отложениях Тургайского прогиба / В. Н. Беньямовский, А. П. Левина, Д. П. Найдин и др. // Геология и геофизика. – 1989. – № 9. – С. 47–55.

7. **Подобина В. М.** Датский ярус Западной Сибири // Материалы по палеонтологии и стратиграфии Западной Сибири. – Томск: ТГУ, 1992. – С. 80–83, 3 палеонт. табл.

8. **Подобина В. М.** Новые данные по стратиграфии и фораминиферы морского палеогена юго-востока Западной Сибири // Вестн. ТГУ. Геология и полезные ископаемые Южной Сибири. – Томск: ТГУ, 2006. – С. 17–21.

9. **Подобина В. М.** Новые данные по биостратиграфии палеогена восточной части Западной Сибири // Среда и жизнь на рубежах эпох кайнозоя в Сибири и на Дальнем Востоке. – Новосибирск: Наука, 1984. – С. 66–69.

10. **Подобина В. М.** Палеогеновые фораминиферы южного района Западной Сибири // Изв. Бий-

ского отд-ния Русского геогр. об-ва. Вып. 28. – Бийск: БГПУ, 2007. – С. 31–35.

11. **Подобина В. М.** Фораминиферы, биостратиграфия верхнего мела и палеогена Западной Сибири. – Томск: ТГУ, 2009. – 432 с., 73 палеонт. табл.

12. **Подобина В. М.** Фораминиферы верхнего мела и палеогена Западно-Сибирской низменности, их значение для стратиграфии. – Томск: ТГУ, 1975. – 163 с., 40 палеонт. табл.

13. **Подобина В. М.** Фораминиферы датского яруса нижнего палеогена Западной Сибири, их значение для стратиграфии // Горные ведомости. – 2018. – № 5. – С. 32–43, 5 палеонт. табл.

14. **Подобина В. М.** Фораминиферы и биостратиграфия палеогена Западной Сибири. – Томск: ТГУ, 1998. – 327 с., 62 палеонт. табл.

15. **Ренгартен В. П.** Стратиграфия меловых и третичных отложений Восточного Приуралья // Тр. ИГН – 1951. – Вып. 133. Сер. геол. (№ 54). – 136 с.

16. **Фораминиферы** меловых и палеогеновых отложений Западно-Сибирской низменности / под ред. Н. Н. Субботиной. – Л., 1964. – 321 с., 66 табл. – (Тр. ВНИГРИ; вып. 234).

17. **Стратиграфия** мезозоя и кайнозоя Западно-Сибирской низменности / З. И. Булатова, З. А. Войцель, А. Н. Горбовец и др. – М.: Гостоптехиздат, 1957. – 148 с.

18. **Унифицированная** региональная стратиграфическая схема палеогеновых и неогеновых отложений Западно-Сибирской равнины / Ф. Г. Гурари, В. С. Волкова, А. Е. Бабушкин и др. – Новосибирск: СНИИГиМС, 2001. – 84 с.

19. **Berggren W. A., Pearson P. N.** Tropical to subtropical Paleocene planktonic foraminiferal zonation // Journal of Foraminiferal Research. – 2005. – Vol. 35, no. 4. – P. 279–298.

20. **Brotzen F.** The Swedish Paleocene and its foraminiferal fauna // Arsbok Sver. Geol. Undersök. – 1948. – Ser. C, vol. 42, no. 493(2). – 140 p., 19 pls.

### REFERENCES

1. Vasilenko V.P. *Anomaliniidy. Iskopayemyye foraminifery SSSR* [Anomalinids. Fossil foraminifera of the USSR]. Leningrad, Gostoptekhizdat Publ., 1954. 282 p., 36 pls. (In Russ.).

2. Gurari F.G., Ushakova M.V. [On the stratigraphy of Tertiary deposits of the Ob-Irtysh interfluvium]. *Sovetskaya geologiya*, 1959, no. 7, pp. 13–18. (In Russ.).

3. Dain L.G. [Some species of foraminifera of Cretaceous deposits of the Shumikhinsky district of the Chelyabinsk region]. *Mikrofauna SSSR. Sb. 12* [Microfauna of the USSR, issue 12]. Leningrad, Gostoptekhizdat Publ, 1961, pp. 4–42, pls. 1–2. (In Russ.).

4. Eremeeva A.I. [Some new species of foraminifera from the Cretaceous and Tertiary deposits of the eastern slope of the Urals]. *Voprosy stratigrafii. Sb. 4* [Problems of stratigraphy, issue 4], 1957, pp. 9–15. (In Russ.).

5. Kisel'man E.N. [Microfaunistic zones of the Gankinskaya formation of the West Siberian lowland].





*Materialy po paleontologii i stratigrafii Zapadnoy Sibiri*. [Materials on paleontology and stratigraphy of Western Siberia]. Leningrad, Gostoptekhizdat Publ., 1960, pp. 176–188. (In Russ.).

6. Benyamovsky V.N., Levina A.P., Naydin D.P., et al. [New data on marine paleogene deposits of the Turgai trough]. *Geologiya i geofizika*, 1989, no. 9, pp. 47–55. (In Russ.).

7. Podobina V.M. [Danish stage of Western Siberia]. *Materialy po paleontologii i stratigrafii o Zapadnoy Sibiri* [Materials on paleontology and stratigraphy of Western Siberia]. Tomsk, University Publ., 1992, pp. 80–83, 3 pls. (In Russ.).

8. Podobina V.M. [New data on stratigraphy and foraminifera of the marine paleogene in the southeast of Western Siberia] *Geologiya i poleznyye iskopayemyye Yuzhnoy Sibiri* [Geology and minerals of Southern Siberia. State University Journal, no. 104], Tomsk, 2006, pp. 17–21. (In Russ.).

9. Podobina V.M. [New data on paleogen biostratigraphy of the eastern part of Western Siberia]. *Sreda i zhizn na rubezhakh epokh kaynozoya v Sibiri i na Dalnem Vostoke* [Environment and life at the turn of the Cenozoic era in Siberia and the Far East]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1984, pp. 66–69. (In Russ.).

10. Podobina V.M. [Paleogenous foraminifera of the southern region of Western Siberia]. *Izvestiya Biyskogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva, vyp. 28* [News of the Biysk branch of the Russian Geographical Society, vol. 28]. Biysk, 2007, pp. 31–35. (In Russ.).

11. Podobina V.M. *Foraminifery, biostratigrafiya verkhnego mela i paleogena Zapadnoy Sibiri* [Foraminifera, biostratigraphy of the Upper Cretaceous and Paleogene of Western Siberia]. Tomsk, University Publ., 2009. 432 p., 73 pls. (In Russ.).

12. Podobina V.M. *Foraminifery verkhnego mela i paleogena Zapadno-Sibirskoy nizmennosti, ikh znacheniye dlya stratigrafii* [Foraminifera of the Upper

Cretaceous and Paleogene of the West Siberian Lowland, their significance for stratigraphy]. Tomsk, University Publ., 1975. 163 p., 40 pls. (In Russ.).

13. Podobina V. M. [Foraminifera of the Danish Stage of the Lower Paleocene of Western Siberia, their importance for stratigraphy]. *Gornyye vedomosti*, 2018, no. 5, pp. 32–43, 5 pls. (In Russ.).

14. Podobina V.M. *Foraminifery i biostratigrafiya paleogena Zapadnoy Sibiri* [Foraminifera and biostratigraphy of the Paleogene of Western Siberia]. Tomsk, University Publ., 1998. 327 p., 62 pls.

15. Rengarten V.P. *Stratigrafiya melovykh i tretichnykh otlozheniy Vostochnogo Priuralya* [Stratigraphy of Cretaceous and Tertiary deposits of the Eastern Urals]. *Trudy IGN – IGN Proceedings*, 1951, issue 133, ser. geol., no. 54, 136 p. (In Russ.).

16. Subbotina N.N., ed. *Foraminifery melovykh i paleogenovykh otlozheniy Zapadno-Sibirskoy nizmennosti* [Foraminifera of Cretaceous and Paleogene deposits of the West Siberian Lowland]. Leningrad, VNIIGRI Publ., 1964. 332 p., 66 pls. (In Russ.).

17. Bulatova Z.I., Wojtsel Z.A., Gorbovets A.N., et al. *Stratigrafiya mezozoya i kaynozoya Zapadno-Sibirskoy nizmennosti* [Mesozoic and Cenozoic stratigraphy of the West Siberian lowland]. Moscow, Gostoptekhizdat Publ., 1957. 148 p. (In Russ.).

18. *Unifitsirovannaya regional'naya stratigraficheskaya skhema paleogenovykh i neogenovykh otlozheniy Zapadno-Sibirskoy ravniny* [Unified regional stratigraphic scheme of Paleogene and Neogene deposits of the West Siberian Plain]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 2001. 84 p. (In Russ.).

19. Berggren W. A., Pearson P. N. Tropical to subtropical Paleocene planktonic foraminiferal zonation. *Journal of Foraminiferal Research*, 2005, vol. 35, no. 4, pp. 279–298.

20. Brotzen F. The Swedish Paleocene and its foraminiferal fauna. *Arsbok Sver. Geol. Undersök.*, 1948, ser. C, vol. 42, no. 493(2). 140 p., 19 pls.

© В. М. Подобина, 2020



УДК 552.578.2.061.43:550.822(571.1)

## ПРИЧИНЫ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОИСКОВО-РАЗВЕДОЧНОГО БУРЕНИЯ ПРИ ОСВОЕНИИ ТРЕЩИННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РЕСУРСНУЮ БАЗУ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СТРУКТУР

О. В. Шиганова, Л. М. Дорогиницкая, В. В. Сапьяник, Е. Ю. Лаптева

Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия.

Недостаточное внимание к технологическим процедурам вскрытия и испытания низкоемких порово-трещинных и трещинных коллекторов в Западной Сибири в прошлом столетии стало одной из главных причин выведения из бурения с отрицательным результатом потенциально нефтегазоперспективных площадей. Проведенные расчеты показали, что баланс между пластовым давлением, депрессией на пласт и тангенциальным напряжением в околоскважинном пространстве существенно влияют на приток продукта к скважине. На примере отдельных опоискованных структур показано, что учет влияния технологических процедур бурения и испытания скважин на результат поисково-оценочного бурения позволяет обоснованно увеличить ресурсную базу углеводородов при выполнении геолого-геофизической оценки потенциально перспективного фонда структур.

**Ключевые слова:** трещинный коллектор, напряженно-деформированное состояние, приток, геологические ресурсы углеводородов, Западная Сибирь.

## REASONS FOR NEGATIVE RESULTS OF EXPLORATION DRILLING DURING THE DEVELOPMENT OF FRACTURED RESERVOIRS AND THEIR INFLUENCE ON THE RESOURCE BASE OF PROSPECTIVE STRUCTURES

O. V. Shiganova, L. M. Doroginitskaya, V. V. Sapyanik, E. Yu. Lapteva

Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGIMS), Novosibirsk, Russia

Lack of attention to technological procedures for opening and testing low-capacity pore-fractured and fractured reservoirs in Western Siberia in the last century has become one of the leading reasons for the withdrawal of potentially oil and gas prospective areas from drilling with a negative result. The calculations showed that the balance between reservoir pressure, depression on the reservoir and the tangential stress in the near well space significantly affect the inflow of the product to the well. Using the example of selected structures examined, it is shown that taking into account the influence of technological drilling and well testing procedures on the results of prospecting and appraisal drilling can reasonably increase the hydrocarbon resource base when performing a geological and geophysical assessment of a potentially promising fund of structures.

**Keywords:** fractured reservoir, stress-strain state, tributary, geological resources of hydrocarbons, Western Siberia.

DOI 10.20403/2078-0575-2020-2-26-31

Ревизия фонда подготовленных к глубокому бурению объектов и тщательный контроль качества выполненных геолого-разведочных работ (ГРП), в том числе и технологических параметров строительства поисково-разведочных скважин, обосновывающих списание ресурсов категории Д<sub>0</sub>, весьма актуальны на фоне общего падения прироста запасов углеводородов для всех нефтегазоносных провинций Российской Федерации.

На стадии активного освоения ресурсной базы углеводородов в Западной Сибири в конце прошлого столетия основное внимание уделялось высокоемким хорошо проницаемым поровым коллекторам, при вскрытии которых дебиты скважин достигали десятков и сотен кубометров в сутки. При таком подходе уделялось недостаточно внимания к технологическому обеспечению проводки и испытания ствола скважин при поисково-оценочном

бурении, особенно при получении низких дебитов или отсутствии продукта. Высокая плотность буровых растворов и завышенные депрессии (нередко более 50 % от пластового давления) при освоении потенциально продуктивных пластов приводили к выводу из бурения площадей с отрицательной оценкой их нефтегазоперспективности. Применение для порово-трещинных коллекторов теоретически необоснованной технологии вскрытия и испытания, на наш взгляд, стало одной из причин вывода потенциально продуктивных площадей из фонда перспективных.

В настоящее время проблема трещинных коллекторов все больше привлекает внимание геологов-нефтяников. Растет доказательная база распространения трещинных коллекторов в глубоководных отложениях юрского возраста. При анализе петрофизических характеристик кол-

лекторов юрских отложений Западно-Сибирской НГП отмечается нарушение корреляции между пористостью, проницаемостью и остаточной водонасыщенностью пород. Последнее свидетельствует о широком распространении трещинно-поровых коллекторов, что требует изменения технологий их освоения с предварительным расчетом состава притоков по петрофизическим данным и с учетом геомеханики.

Так, например, в юго-восточной части Западно-Межовской структурно-литологической ловушке (СЛЛ) пробурена одна поисковая скважина (Межовская 8) глубиной 2241 м, вскрывшая 29 м пород палеозоя. Испытание скважины проводилось в открытом стволе и в колонне. Из объектов в отложениях киялинской и тарской свит получены притоки воды 722,2 и 176,4 м<sup>3</sup>/сут соответственно. Основное внимание при испытании в колонне было уделено отложениям ачимовской толщи. При испытании в открытом стволе в инт. 2132–2195 м приток не получен. Испытание в колонне интервала 2174–2183 м дало приток безводной нефти дебитом 0,41 м<sup>3</sup>/сут. Для увеличения притока дополнительно проведена перфорация в инт. 2160–2169 м. Испытание в колонне двух интервалов дало приток 1,473 м<sup>3</sup>/сут. После дополнительной перфорации (увеличения числа отверстий со 190 до 588) и проведения разрыва пласта (ПГД-БК-100) объект обводнился. Предположительно, последнее увеличило проницаемость зоны трещиноватости коллектора (скважина находится в краевой зоне залежи) и спровоцировало прорыв пластовых вод.

Рассмотрим влияние технологии освоения призабойной зоны на примере группы пластов Нх Пайяхской площади. Пласты Нх IV(1–3) НхIV(0) залегают на глубинах более 3400 м, представлены алевролитами, во втором пласте преобладает мелкоалевритовая фракция. Общее содержание цемента изменяется в пределах 6–15 %. Это означает, что породы имеют угнетенное поровое пространство.

Лабораторные исследования показали, что средняя пористость пласта Нх IV(0) изменяется в пределах 6–12,1 %, в среднем составляет 9 %. Пласт содержит тонкослоистые интервалы, в которых глинистые слойки перемежаются с песчанистыми. Избирательная пористость и проницаемость песчанистых слойков может оказаться больше средней по интервалу. Абсолютная проницаемость по газу у всех отобранных из пласта образцов изменяется от 0,02 до 0,25 мкм<sup>2</sup>. Пористость матрицы коллекторов пласта Нх IV(1–3), за исключением прослоев с базальным карбонатным цементом, равна 12,2–17,1 %, в среднем 15,3 %; проницаемость пород 0,21–0,78 мкм<sup>2</sup>, только у образца с микротрещиной 1,8 мкм<sup>2</sup>. Таким образом, матрица пород сохранила пористость, но имеет очень низкую проницаемость, которая не обеспечивает притоков УВ (рис. 1). Их фильтрация, оче-

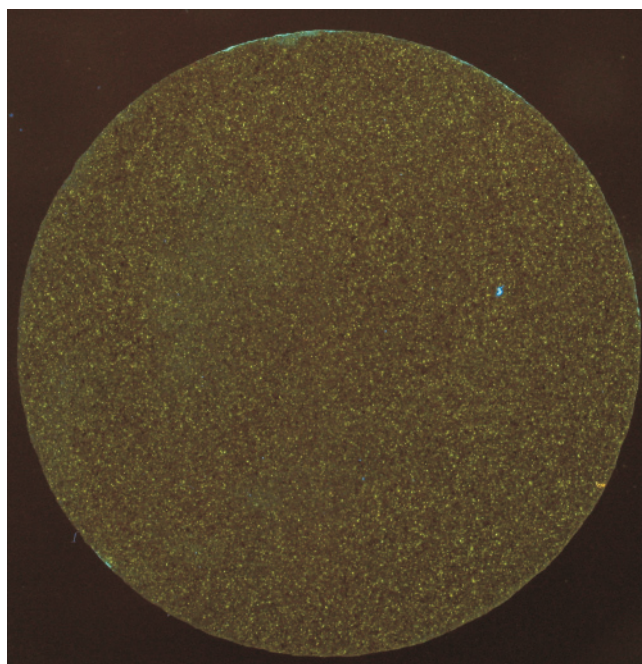


Рис. 1. Матрица коллектора пласта Нх IV(1–3) (желтые вкрапления – нефть)



Рис. 2. Типичная для порово-трещинного коллектора картина разрушения керна при бурении и выносе на поверхность. Пласт Нх IV(0)

видно, происходит преимущественно по системе трещин.

В связи с этим основным при освоении пластов Нх на депрессии становится вопрос существования и сохранности открытых «проницаемых» трещин.

На рис. 2 показана типичная для порово-трещинного коллектора пласта Нх IV(0) картина разрушения породы при бурении и выносе керна на поверхность пород. КERN распался по слоистости и по участкам вертикальной трещиноватости. Те и другие



трещины являются каналами фильтрации пластовых флюидов.

Теоретически вопрос напряженного состояния пород в околоскважинном пространстве рассмотрен детально [3–5, 7, 8]. Согласно публикациям, можно принять следующие тезисы.

1. Осадочные бассейны, к которым приурочены нефтяные и газовые месторождения, представляют собой последовательность протяженных слоев, нагруженных собственным весом.

2. Тектонические напряжения, обусловленные современными тектоническими процессами, отсутствуют, но могут сохраняться в породах как *остаточные напряжения*, которые возможны прежде всего в зонах разломной тектоники [1].

3. Трещины, наблюдаемые в породах, – результат разгрузки напряженного состояния пород в течение геологического времени.

4. Необходимо оценивать предел прочности пород, поскольку при *запредельных* нагрузках наблюдается пластическая деформация, образование новых трещин и связанные с ними изменения физических свойств пород [6]. Особый интерес представляет случай, когда предел прочности пород преодолевается в процессе бурения.

5. Флюид, насыщающий породу, и пластовое давление являются активными участниками ее структурных преобразований и напряженного состояния.

Главные ортогональные напряжения в *пористой среде* определяются системой уравнений:

$$\begin{aligned}\sigma_r &= -k\rho gH \left(1 - \frac{R^2}{r^2}\right) - \gamma gH \frac{R^2}{r^2} + nP_{пл}; \\ \sigma_\theta &= -k\rho gH \left(1 + \frac{R^2}{r^2}\right) + \gamma gH \frac{R^2}{r^2} + nP_{пл}; \\ \sigma_z &= -\rho gH + nP_{пл}; \\ \tau_{\max} &= \frac{1}{2}(\sigma_r - \sigma_\theta) = -gH(\rho - \gamma) \frac{R^2}{r^2},\end{aligned}\quad (1)$$

где  $\sigma_r$ ,  $\sigma_\theta$ ,  $\sigma_z$ ,  $\tau_{\max}$  – радиальное, тангенциальное, осевое ортогональное и максимальное касательное напряжения соответственно;  $k$  – коэффициент бокового отпора в рамках *упругой* или *вязко-упругой* модели породы;  $\rho$  – средняя плотность пород исследуемого массива до глубины залегания  $H$ ;  $\gamma$  – плотность промывочной жидкости;  $R$  – радиус скважины;  $r$  – текущий радиус;  $n$  – коэффициент разгрузки напряжений в матрице пород под воздействием пластового давления  $P_{пл}$ .

Из формул (1) следует, что при  $r \gg R$  (т. е. вдали от стенки скважины) отношение  $(R^2/r^2) \rightarrow 0$  и, следовательно:

$$\sigma_r = \sigma_\theta = -k\rho gH + nP_{пл}, \quad (2)$$

а касательные напряжения отсутствуют.

При  $r = R$  (т. е. на стенке скважины)

$$\begin{aligned}\sigma_r^0 &= -\gamma gH + nP_{пл}; \\ \sigma_\theta^0 &= -2k\rho gH + \gamma gH + nP_{пл}; \\ \tau_{\max}^0 &= \frac{1}{2}(\sigma_r - \sigma_\theta) = -gH(\rho - \gamma).\end{aligned}\quad (3)$$

Из формул (1) следует также, что инвариант напряженного состояния  $\sigma_{\text{эф}} = \sigma_z + \sigma_r + \sigma_\theta$  равен  $\sigma_{\text{эф}} = -\rho gH(2k+1) + 3nP_{пл}$ , не зависит от веса жидкости, заполняющей скважину, и не имеет горизонтального градиента [7]. За приток отвечает радиальное напряжение  $\sigma_r$ , которое изменяется в направлении от скважины вглубь массива. Радиальное напряжение на скелет породы у стенки скважины равно  $-\gamma gH + nP_{пл}$ , а в глубине массива  $-k\rho gH - nP_{пл}$ . Их разность  $gH(k\rho - \gamma)$  в отсутствие депрессии определяет градиент радиального напряжения. В зависимости от плотности  $\gamma$  и коэффициента бокового отпора он может иметь как положительный знак, так и отрицательный, т. е. приток флюида в скважину без депрессии может не состояться.

В общем случае поровое пространство пород представлено порами, кавернами и трещинами. Многочисленные эксперименты показывают, что сжимаемость трещин на порядок больше, чем пор и каверн. Следовательно, если в породе существовала система раскрытых вертикальных и субвертикальных трещин, то тангенциальное (кольцевое сжимающее) напряжение  $\sigma_\theta$  прежде всего деформирует эти трещины. Когда тангенциальное напряжение  $\sigma_\theta^0 = -2k\rho gH + nP_{пл} + \gamma gH$  превысит величину пластового давления  $P_{пл}$ , произойдет значительное уменьшение раскрытости вертикальных и субвертикальных трещин и снижение гидродинамической связи коллектора со скважиной. При этом чем *больше депрессия на пласт* (уменьшение компоненты  $\gamma gH$ ), тем больше возрастает тангенциальное напряжение и снижается проницаемость по трещинам.

Однако такой простой сценарий, как уже отмечалось выше, имеет место, если напряжение пород в околоскважинном пространстве не превышает предела их прочности. В противном случае в зависимости от свойств пород и варианта напряженного состояния начинается разрушение пород пристволенной зоны. При этом предельные нормальные напряжения ответственны за переуплотнение твердой матрицы породы, за нарушение ее конструкции. Под действием предельных касательных напряжений происходит процесс дилатансии (рассеянного накопления микротрещин и увеличение объема породы без разрушения) и пластическая деформация (изменение кристаллической решетки минералов, скольжение ее слоев относительно друг друга и др.). Перечисленные процессы протекают локально и массово, а в результате проницаемость пород в околоскважинном пространстве может как уменьшиться, так и увеличиться [6, 8].



Для нефтепромысловой практики существенное значение имеют тангенциальное и радиальное напряжения в интервале (2–3) R от стенки скважины. Радиальное и тангенциальное напряжения зависят от плотности промысловой жидкости, используемой для бурения. При ее увеличении возрастает роль радиального напряжения и снижение влияния тангенциального. При уменьшении плотности промысловой жидкости имеет место обратная картина. Изменяя забойное давление, можно регулировать значения радиального и тангенциального напряжений.

Итак, если в породе существует система раскрытых вертикальных трещин, то тангенциальное (кольцевое сжимающее) напряжение будет уменьшать их раскрытость, т. е. снижать трещинную проницаемость. Когда забойное давление в скважине станет таким, что тангенциальное напряжение превысит величину пластового давления, произойдет закрытие трещин и потеря гидродинамической связи коллектора со скважиной. При испытании коллектора чем ниже забойное давление, тем больше возрастает тангенциальное напряжение.

Решающие правила сохранности трещин можно найти в работах Ю. А. Ильинского и В. М. Лимбергера, Ю. Я. Брылкина [3 и др.]. Авторы считают, что:

при  $\sigma_{\theta} < P_{пл}$  раскрытые вертикальные и субвертикальные трещины возможны, так же как и раскрытые микротрещины;

при  $\sigma_{\theta} > P_{пл}$  возможны только раскрытые микротрещины небольшой протяженности;

при  $\sigma_{\theta} \ll P_{пл}$  возможны интенсивные перетоки флюидов.

Авторами данной статьи проведены расчеты условий сохранности открытости трещин для центральной части пластов Нх IV(1–3), Нх IV(0), Нх III на Пайяхской площади.

Определение геостатического давления  $P_{геос}$  на расчетных глубинах проводилось по общепринятой формуле:

$$P_{геос} = \rho_n g H,$$

где  $\rho_n$  – средний объемный вес водонасыщенных пород;  $g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;  $H$  – глубина залегания точки расчета, км.

Коэффициент Пуассона  $\nu$  взят по данным лабораторных определений акустических скоростей при эффективном давлении 30 МПа и принят равным 0,26. Градиент пластового давления установлен по результатам испытания в колонне на глубинах 3320 и 3450 м, где давления равны 587,12 и 599,9 атм соответственно. Принято, что в рассматриваемом интервале разреза градиент постоянный (см. таблицу).

Расчеты показали, что для пластов Нх  $\sigma_{\theta}^0$  существенно меньше пластового давления, а  $P_{геос}$  больше  $P_{пл}$ . Таким образом, для разреза указанных пластов подтверждается наличие раскрытых вертикальных

Геостатическое давление, боковой отпор и тангенциальное напряжение на стенках скважин для пластов Нх, атм

Пласт	Глубина, м	$P_{геос}$	$P_{бок}$	$\sigma_{\theta}^0$ при $\gamma$ , г/см <sup>3</sup>		$P_{пл}$
				1,11	1,51	
Нх-III	3338–3376	788	276	394	441	590,7
Нх-IV <sub>0</sub>	3435–3444	808	283	400	533	598,8
Нх-IV <sub>1-3</sub>	3459–3473	817	286	286	534	601,4

и субвертикальных трещин и микротрещин, по которым возможно движение пластовых флюидов, а их движение по квазигоризонтальным трещинам маловероятно.

Следует отметить, что если при технологических операциях при бурении возникали большие репрессии, то сжатие трещин могло произойти уже в процессе бурения. Учитывая, что в коллекторах Нх большое количество (n·10 %) пластичных компонентов (пелитизированных полевых шпатов, гидратированных слюд, слюдистых обломков, обломков эффузивов), при критических депрессиях на пласт, «схлопывание» тонких канальцев между порами может иметь необратимый характер.

Представленный алгоритм влияния технологических процедур бурения и испытания скважин на результат поисково-оценочного бурения был реализован при анализе геолого-геофизической обоснованности перспективного фонда ресурсной базы УВ Томской, Новосибирской и Омской областей, в том числе опосредованных структур, выведенных из бурения. Проведенные исследования показали, что недооценка напряженного состояния пород при вскрытии и испытании коллекторов привела к слабому притоку продукта в скважину, а то и полному его отсутствию.

Представленные расчеты проведены еще на Сергеевской (Новосибирская область) и Парбигской (Томская область) площадях. Ревизия материалов бурения и испытания поисково-оценочных скважин сопровождала обобщающую переинтерпретацию сейсмических данных и структурные построения.

Сергеевская структурно-литологическая ловушка с тектоническим экранированием приурочена к локальному поднятию, расположенному на северном окончании Тебисского мегавала, в зоне его сочленения с Муромцевской впадиной (рис. 3). Пласт Ю<sub>1</sub> испытан в скв. 1, где получен приток пластовой воды (1,46 м<sup>3</sup>/сут) с нефтью (4 %) плотностью 0,861 г/см<sup>3</sup>. По лабораторным данным  $K_n$  пород в интервале испытания в среднем 8,2 %,  $K_{np} = 0,2$  мД, что характеризуют пласт как низкопористый, предположительно порово-трещинный. Испытание пласта проводилось с депрессией 19,5 МПа при  $P_{пл} = 25,15$  МПа, расчетное значение тангенциального напряжения на стенке скважины 7,88 МПа. Следовательно, изначально  $P_{пл}$  значитель-

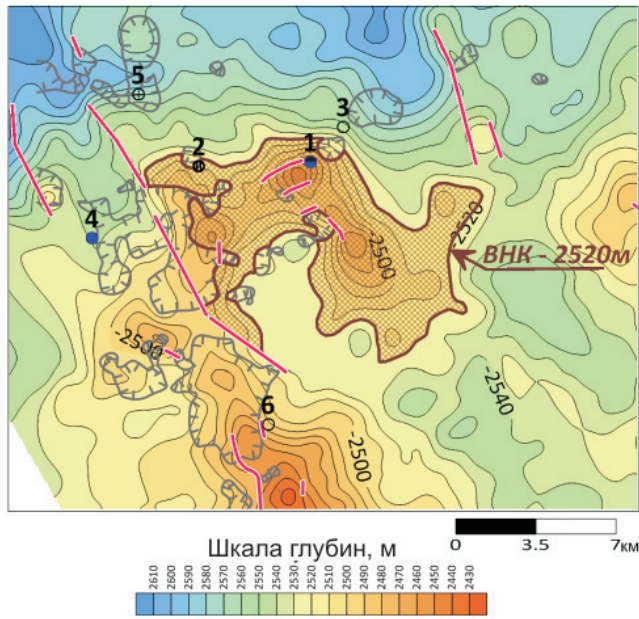


Рис. 3. Сергеевская структурно-литологическая ловушка. Пласт Ю<sub>1</sub>

но больше кольцевого сжатия – на 17,27 МПа. Но пластовое давление было снижено до 25,15–19,5 = -5,95 МПа и стало меньше кольцевого тангенциального напряжения в приствольной зоне. Таким образом, депрессия выбрана неудачно. По результатам испытаний площадь была выведена из бурения с отрицательным результатом и в подсчет потенциальных ресурсов УВ не вошла. При переоценке ресурсов нефти по категории Д<sub>0</sub> прирост геологических ресурсов составил 14,33 млн т, в том числе извлекаемых 5,73 млн т.

Структурно-стратиграфическая ловушка Парбигская 2 (рис. 4) приурочена к Парбигской группе локальных поднятий, расположенных на Чаговском куполовидном поднятии в пределах Казанского выступа, который, в свою очередь, осложняет северо-западный склон Чулымской моноклинали – крупной структуры первого порядка. Пласт Ю<sub>15</sub> (надояхский НГК) в 1976 г. был испытан в скв. 1 (Парбигское нефтяное месторождение), получен приток жидкости дебитом 0,8 м<sup>3</sup>/сут с нефтью (50 %). По лабораторным данным К<sub>п</sub> пород в интервале испытания в среднем 8 %, К<sub>пр</sub> = 0, К<sub>во</sub> = 42,4–55 %. Данные характеризуют пласт как низкоемкий порово-трещинный. Испытание пласта проводилось с депрессией 17,1 МПа при P<sub>пл</sub> = 26,06 МПа. Их разница составляет 8,96 МПа, а расчетное значение тангенциального напряжения на стенке скважины (8,32 МПа) несколько меньше, т. е. испытание проводилось на пределе технологически допустимого воздействия на прискважинную зону. В 2008 г. после ремонтно-восстановительных работ было проведено вторичное вскрытие пласта Ю<sub>15</sub> и освоение путем плавного запуска скважины. В результате испытания из инт. 2650–2668 м получен безводный промышленный приток нефти дебитом 12 м<sup>3</sup>/сут. Оценка ресурсов нефти по категории Д<sub>0</sub> на выявленной юго-западнее Парбигского месторожде-

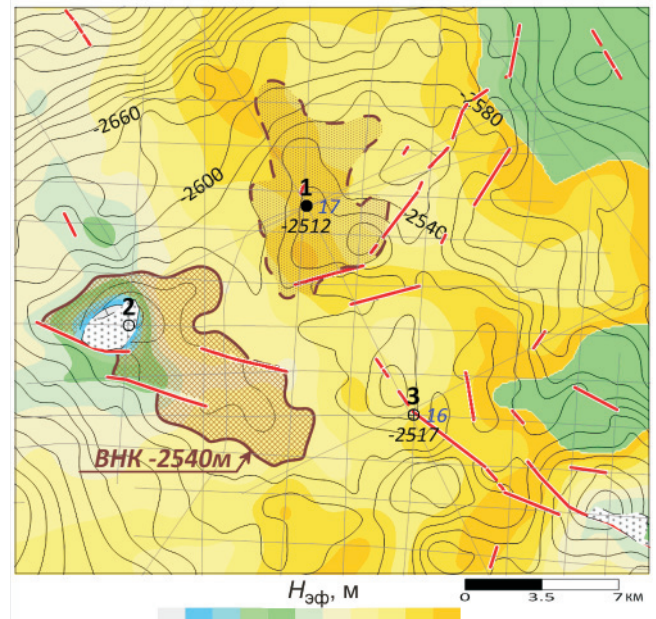


Рис. 4. Парбигская структурно-стратиграфическая ловушка. Пласт Ю<sub>15</sub>

ния ловушке в пласте Ю<sub>15</sub> показала геологические ресурсы в объеме 10,89 млн т, в том числе извлекаемые 2,72 млн т.

Рассмотренные материалы показали, что при испытании низкоемких порово-трещинных коллекторов не следует превышать критических значений депрессий на пласт. Необходимо также периодически восстанавливать структуру пласта, снимая депрессию.

Создание значительных депрессий исключает обменные процессы между поровыми блоками и трещинами. Это приводит к опережающей «выработке» трещинных коллекторов и формированию остаточных запасов, сосредоточенных в поровой матрице коллектора. При этом извлекаемые запасы из трещин вырабатываются в короткий срок и скважина обводняется.

Результаты ретроспективного анализа ГРП двух структур южных районов Западной Сибири, в том числе одной выведенной из бурения с отрицательным результатом, позволил обоснованно расширить перспективный фонд ресурсной базы углеводородов.

В заключение отметим, что существует две категории причин отрицательных результатов бурения на нефтегазоперспективных структурах или АТЗ:

- геолого-геофизические – уровень детальности и полноты геолого-геофизической изученности территории и достоверность геологической (тектонно-седиментационной) модели;
- горно-геологические условия и технико-технологическое обеспечение проводки, испытания и опробования скважин на нефть и газ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глухманчук Е. Д., Крупницкий, В. В., Лентьевский А. В. Трещинно-блоковая структура



месторождений как основная причина низкой эффективности геолого-динамических моделей // Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала ХМАО-Югры. – Ханты-Мансийск, 2014. – С. 60–68.

2. **Дорогоницкая Л. М., Шиганова О. В., Стомпелев И. Е.** Выделение приточных пород-коллекторов в венд-кембрийских отложениях Сибирской платформы (на примере параметрической Чайкинской скв. 367) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2016. – № 2(26). – С. 50–64.

3. **Ильинский В. М., Лимбергер Ю. А.** Геофизические исследования коллекторов сложного строения. – М.: Недра, 1981. – 207 с.

4. **Карев В. И.** Влияние напряженно-деформированного состояния горных пород на фильтрационный процесс и дебит скважин: автореф. дис. ... д. т. н. – СПб.: Институт проблем механики РАН, 2010. – 34 с.

5. **Лехницкий С. Г.** Определение напряжений в упругом изотропном массиве вблизи вертикальной цилиндрической выработки круглого сечения // Изв. АН СССР. – 1938. – № 7. – С. 60–71.

6. **Лотарев В., Зорина М., Филатова З.** Дилатанция и аспекты преобразования пластовых систем // Технологии ТЭК. – 2007. – № 4. – С. 6–12. – Точка доступа: <https://oilcapital.ru/news/markets/11-10-2007/dilatansiya-i-aspekty-preobrazovaniy-plastovyh-sistem/print>.

7. **Сибiryakov Б. П.** Напряженное состояние горных пород в окрестности скважины (на примере пород Сибирской платформы) // Геология и геофизика. – 1993. – Т. 34, № 9. – С. 73–80.

8. **Эволюция** геомеханических и электромеханических полей в массиве горных пород при бурении глубоких скважин / Л. А. Назарова, Л. А. Назаров, М. И. Эпов, И. Н. Ельцов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2013. – № 5. – С. 37–49

## REFERENCES

1. Glukhmanchuk E.D., Krupnitskiy V.V., Leontyevskiy A.V. [Fractured-block structure of deposits as the

main reason for the low efficiency of geological and dynamic models]. *Puti realizatsii neftegazovogo i rudnogo potentsiala KHMAO-Yugry* [Ways of realization the oil and gas and ore potential of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug-Yugra]. Khanty-Mansiysk, 2014, pp. 60–68. (In Russ.).

2. Doroginitskaya L.M., Shiganova O.V., Stompelev I.E. [Isolation of inflow reservoir rocks in the Vendian-Cambrian deposits of the Siberian platform (by the example of the parametric Tchaikinskaya well 367)]. *Geologiya i mineralno-syryevyye resursy Sibiri – Geology and Mineral Resources of Siberia*, 2016, no. 2 (26), pp. 50–64. (In Russ.).

3. Ilyinskiy V.M., Limberger Yu.A. *Geofizicheskiye issledovaniya kollektorov slozhnogo stroeniya* [Geophysical studies of reservoirs of complex structure]. Moscow, Nedra Publ., 1981. 207 p. (In Russ.).

4. Karev V.I. *Vliyaniye napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya gornyx porod na filtratsionnyy protsess i debit skvazhin. Avtoref. dokt. dis.* [Effect of stress-strain state of rock in the filtration process and the production rate of wells. Author's abstract of DSC thesis]. Saint Petersburg, 2010. 34 p. (In Russ.).

5. Lekhnitskiy S.G. [Determination of stresses in an elastic isotropic massif near a vertical cylindrical working of circular cross section]. Moscow, *Izvestiya AN SSSR*, 1938, no. 7, pp. 60–71. (In Russ.).

6. Lotarev V., Zorina M., Filatova Z. [Dilatancy and aspects of the transformation of reservoir systems]. *Tekhnologii TEK*, 2007, no. 4, pp. 6–12. Available at: <https://oilcapital.ru/news/markets/11-10-2007/dilatansiya-i-aspekty-preobrazovaniy-plastovyh-sistem/print>. (In Russ.).

7. Sibiryakov B.P. [Stress of rocks in the vicinity of the well (for example, the rocks of the Siberian platform)]. *Geologiya i geofizika*, 1993, vol. 34, no. 9, pp. 73–80. (In Russ.).

8. Nazarova L.A., Nazarov L.A., Epov M.I., Eltsov I.N. [Evolution of geomechanical and electromechanical fields in a rock mass during drilling of deep wells]. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*, 2013, no. 5. pp. 37–49. (In Russ.).

© О. В. Шиганова, Л. М. Дорогоницкая, В. В. Сапьяник, Е. Ю. Лаптева, 2020



УДК 550.98.044:550.834.05(571.56)

## ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ КЮТИНГДИНСКОГО ГРАБЕНА ПРЕДВЕРХОЯНСКОГО ПЕРИКРАТОННОГО ПРОГИБА ПО АНАЛОГИИ С НЕФТЕГАЗОНОСНЫМИ РИФТОГЕННЫМИ БАССЕЙНАМИ ЗЕМНОГО ШАРА

Ф. А. Мигурский, Е. М. Якупова

Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт им. А. П. Карпинского, Москва, Россия

В результате геологической интерпретации сейсмических материалов 2014–2016 гг. получены новые данные о геологическом строении Кютингдинского грабена, который расположен на северо-востоке Сибирской платформы, частично в пределах Предверхоаянского прогиба. С использованием метода аналогий путем сопоставления данных по различным нефтегазоносным грабенам земного шара построена зависимость геологических параметров и масштабов нефтегазоносности. На ее основе выполнена оценка прогнозных ресурсов углеводородов Кютингдинского грабена, необходимая для планирования дальнейших геолого-разведочных работ.

**Ключевые слова:** Предверхоаянский перикратонный прогиб, Кютингдинский грабен, нефтегазоносные бассейны, нефтегазогенерационный потенциал, нефтегазовая система, прогнозные ресурсы.

## PROSPECTS OF OIL AND GAS POTENTIAL OF THE KYUTINGDINSKY GRABEN OF THE PRE-VERKHROYANSKY PERICRATON TROUGH BY ANALOGUE WITH OIL AND GAS-BEARING RIFTOGENIC BASINS OF THE EARTH

F. A. Migurskiy, E. M. Yakupova

All-Russian Scientific Research Geological Petroleum Institute, Moscow, Russia

As a result of the geological interpretation of seismic materials from 2014 to 2016 new data were obtained on the geological structure of the Kyutingdinsky graben, which is located in the northeast of the Siberian platform, partly within the Pre-Verkhoyansky trough [4]. In order to plan further exploration, it is necessary to assess the oil and gas prospects of the graben. Based on the method of analogies, by comparing data on various oil and gas bearing grabens of the globe, the dependence of geological parameters and scales of oil and gas potential is constructed. Based on it, the estimated hydrocarbon resources of the Kyutingdinsky graben are estimated.

**Keywords:** Pre-Verkhoyansky pericraton trough, Kyutingdinsky graben, oil and gas basins

DOI 10.20403/2078-0575-2020-2-32-46

Предверхоаянский прогиб интенсивно изучался с целью обнаружения скоплений углеводородов в 1950–1960 гг. Тогда в его пределах были открыты Усть-Вилуйское газовое и Собо-Хаинское (не было поставлено на государственный баланс) газоконденсатное месторождения. После этого относительно неудачно пробуренные скважины (четыре параметрические и одна опорная) в меридиональной части Предверхоаянья затормозили активные геолого-разведочные исследования на территории прогиба более чем на 30 лет. Тем не менее доказанная нефтегазоносность других перикратонных прогибов (Предкордильерского, Предуральского, Предкавказского, Предкарпатского и др.) позволяет рассматривать перспективы нефтегазоносности Предверхоаянья достаточно оптимистично.

Имеются отечественные количественные оценки начальных суммарных ресурсов углеводородного сырья Предверхоаянского прогиба. Нами проанализирована динамика изменения таких оценок начиная с 1971 г. на основе результатов официальных (принятых государственными заказчиками) количественных оценок, доступных в отчетах ВНИГНИ,

а также СНИИГГиМС и ВНИГРИ. Структура начальных суммарных ресурсов углеводородов (НСР УВ) (нефть, свободный газ, конденсат) показана в табл. 1.

Вероятно, выделение самостоятельных нефтегазоносных областей (НГО) на востоке Восточно-Сибирской мегапровинции было проведено впервые при количественной оценке ресурсов УВ по состоянию на 01.01.1988 г. Среди прочих на востоке в пределах предгорных прогибов были выделены три НГО: Предверхоаянская (Лено-Вилуйская НГП), Северо-Алданская и Предпатомская (Лено-Тунгусская НГП) НГО. Основным методом подсчета прогнозных ресурсов – объемно-генетический (ОГМ), однако в связи с недостаточной геохимической изученностью и благодаря развитию вычислительной техники широко применялся и метод генетических (внутренних) аналогий (МГА, МВА).

В рамках последней государственной количественной оценки для Предверхоаянской НГО были приняты начальные суммарные ресурсы в количестве 918,3 млн т УУВ.

На фоне этих оценок особняком стоит карта прогноза на нефть и газ к листу R-(50)-52 за автор-





Таблица 1

Ретроспективный обзор структуры НСР УВ (млн т н. э.) Предверхоанской НГО по результатам количественных оценок разных лет (первая строка – геологические, вторая – извлекаемые)

Дата оценки	Накопленная добыча	Запасы по категориям		Ресурсы по категориям				НСР
		A+B+C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> +D	
01.01.1988	1,5	0,8	24	0	20	815	835	861,3
		0,8	24	0	15	605	620	646,3
01.01.1993	1,5	1,3	24	0	0	830	830	856,8
		1,3	24	0	0	720	720	746,8
01.01.2002	1,5	0,8	0	0	0	917	917	919,3
		0,8	0	0	0	726	726	728,3
01.01.2009	1,5	0,8	0	0	0	916	916	918,3
		0,8	0	0	0	726	726	728,3

ством П. С. Пука [2], показанная на рис. 1: на ней приводится совершенно другое распределение прогнозных ресурсов, близко соответствующее нашим сегодняшним представлениям о геологическом строении территории. Крайне важна приуроченность наибольших плотностей прогнозных ресурсов УВ к зоне Кютингдинского грабена, прогнозные геологические ресурсы которого, возможно, составляют почти 250 млн т нефтяного эквивалента (н. э.) [2].

Наши последние работы показали существенно более глубокое залегание основания этой отрицательной структуры [4], чем представлялось в процессе составления соответствующего листа геологической карты. И уж тем более чехол намного более мощный, чем по данным достаточно странного геологического разреза к новой (2013 г.) геологической карте третьего поколения по листу R-51 (рис. 2).

Для дальнейшего геолого-разведочного изучения Предверхоанского прогиба, принятия решений о постановке нефтегазопроисковых работ необходимы обоснованные представления о его нефтегазовом потенциале. Точность и обоснованность таких представлений зависят от степени геолого-геофизической изученности, наличия данных по емкостно-фильтрационным свойствам, структурным планам основных осадочных толщ, нефтегазоматеринскому потенциалу и степени его реализации. Изученность Предверхоанского прогиба позволяет нам вслед за П. С. Пуком выделить Кютингдинский грабен в качестве наиболее перспективного участка для постановки работ на УВ сырье. Однако для оценки его нефтегазовых прогнозных ресурсов объемно-генетическим методом недостаточно геолого-геохимических данных. Внутренние аналоги в Лено-Виллюйской провинции также не известны.

В связи с этим для прогнозной оценки Кютингдинского грабена на данном этапе мы предлагаем применить метод внешних аналогий. С этой целью из множества разнообразных нефтегазоносных бассейнов мира выбраны те, которые локализованы в пределах грабенов близкого строения (Реконкаво, Камбейский, Суэцкий, Верхнерейнский, Викинг

и Экофиск (Центральный), Евфратский и Днепровско-Донецко-Припятский.

**Грабен Реконкаво (Бразилия)** входит в состав Восточно-Бразильской рифтовой системы, сформированной в середине мезозоя в результате процессов раскола единого палеоматерика и образования Атлантического океана (рис. 3) [17]. Это одна из трех кулисообразно расположенных частей более крупного грабена – южная, примыкающая к океаническому бассейну Атлантики, две другие его части – Северный и Южный Тукано.

Площадь нефтегазоносного бассейна грабена Реконкаво около 10200 км<sup>2</sup>. Он ориентирован с северо-востока на юго-запад субпараллельно береговой линии. Мощность осадочного чехла около 7000 м. По различным данным грабен начал формироваться в поздней юре – раннем мелу. Дорифтовые комплексы представлены пермскими и, возможно, юрскими отложениями мощностью около 1 км. Общая толщина синрифтовых неоконских (вероятно, верхнеюрских) слоев достигает почти 5 км. Завершают разрез пострифтовые палеогеновые (возможно, частично верхнемеловые) отложения мощностью около 1 км.

Нефтегазогенерационные процессы максимально проявились в конце раннего мела. На конец 2012 г. в бассейне открыты 92 нефтяных и газовых месторождения. Геологические ресурсы углеводородов оцениваются в 1083,76 млн т н. э., накопленная добыча на декабрь 2012 г. 1,6 млрд баррелей нефти и 69,5 млрд м<sup>3</sup> газа, а доказанные извлекаемые запасы на то же время – 33,22 млн т нефти и 19,967 млрд м<sup>3</sup> газа [15].

Длина **Камбейского грабена** 462 км, средняя ширина 67 км, площадь около 30000 км<sup>2</sup>. Он под косым углом осложняет северо-западную периферию Индийской платформы (рис. 4). Возраст грабена кайнозойский. Его заложению предшествовали позднемеловые излияния деканских базальтовых траппов. Толщина палеогеновых синрифтовых отложений 4000 м, неогеновых пострифтовых 2500 м [13]. Стратиграфия Камбейского бассейна представлена на рис. 4.

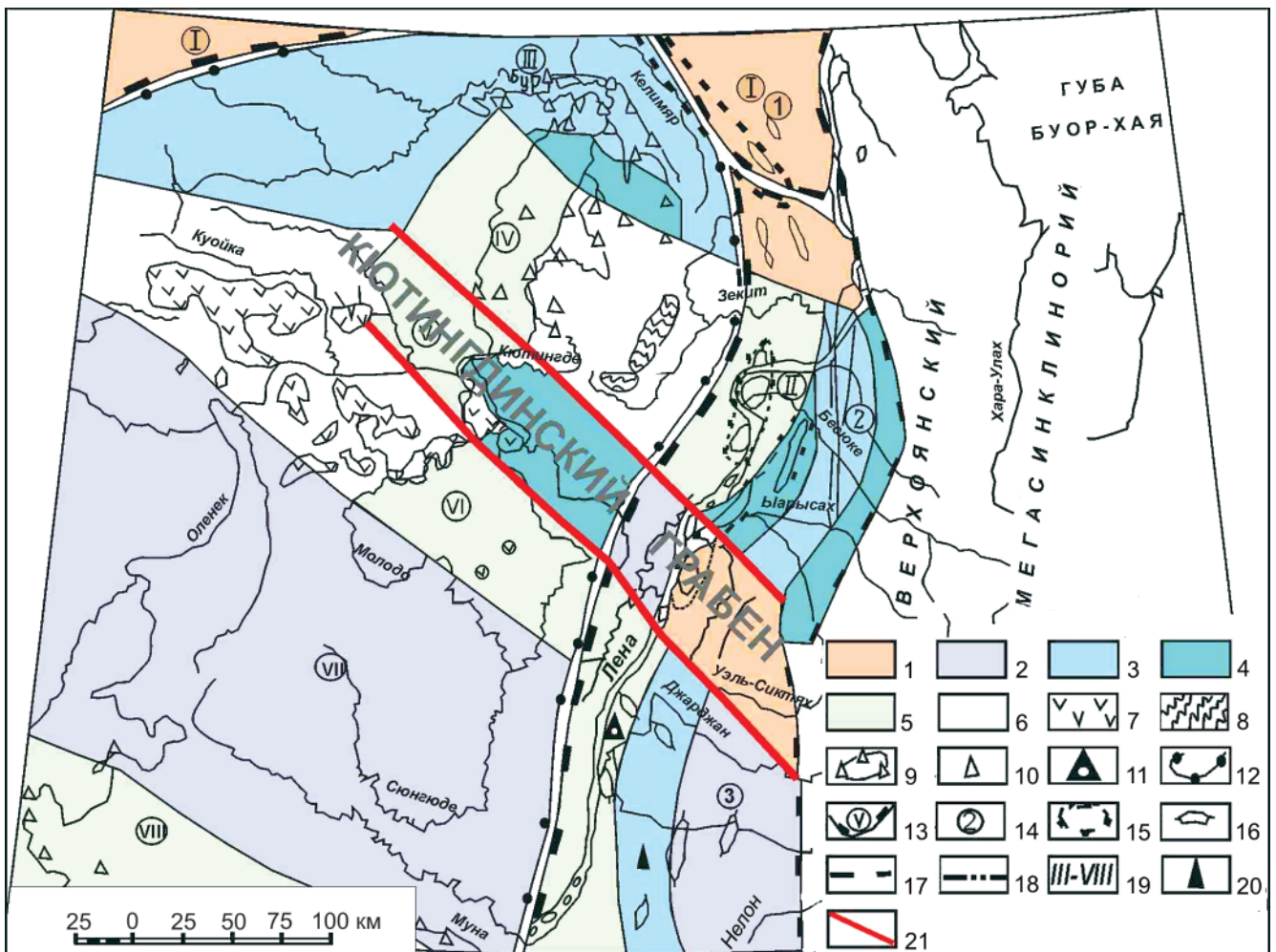


Рис. 1. Карта прогноза на нефть и газ лист R-(50)-52 (по П. С. Пуку, с дополнениями) [2]

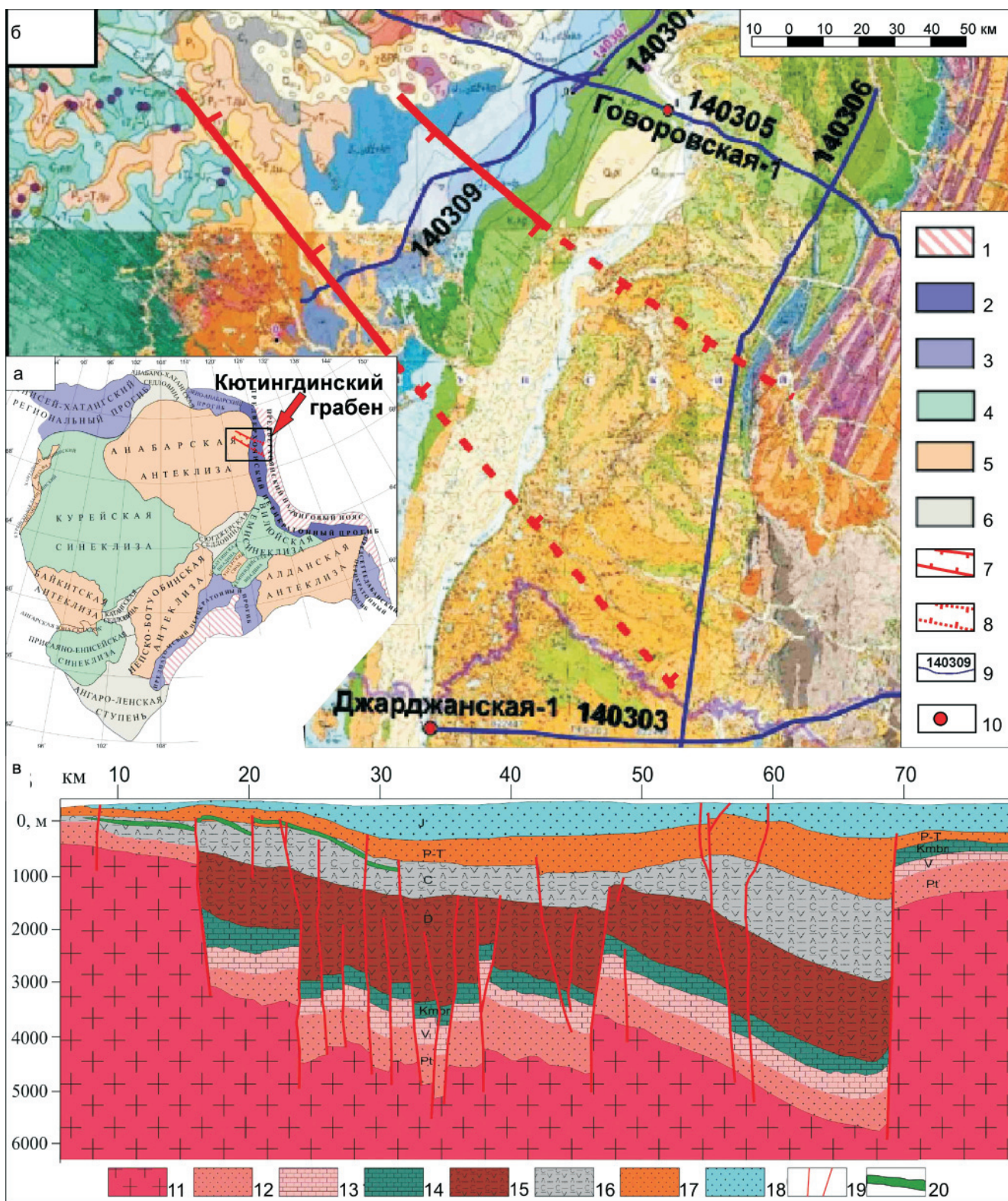
1–6 – плотность первоначальных геологических запасов нефти и газа (тыс. т/км<sup>2</sup>): 1 – от 50 до 30, 2 – от 30 до 20, 3 – от 20 до 10, 4 – от 10 до 5, 5 – не менее 5, 6 – бесперспективные площади; 7 – интрузии траппов; 8 – выход складчатого фундамента; 9–10 – битумы, приуроченные: 9 – к стратиграфическим горизонтам, 10 – к кавернам и трещинам; 11 – Джарджанская глубокая скважина без проявления нефти и газа; 12 – преимущественно перспективные площади; 13 – площади прогибов перспективные (I – Лено-Анабарский, II – Приверхоянский); 14 – впадины (1 – Нижнеленская, 2 – Булунская, 3 – Собопольская); 15 – валы; 16 – локальные поднятия; 17 – региональные разломы; 18 – региональные разломы по геофизическим данным; 19 – структурные платформы: III – IV – Сололийское поднятие (III – севернее Хардахского разлома, IV – южнее Хардахского разлома), V – Кютингдинский грабен, VI – Куойско-Далдынское поднятие, VII – Суханская впадина, VIII – Мунское поднятие и Жиганская зона магнитных аномалий; 20 – выход газа, 21 – границы Кютингдинского грабена

Согласно данным вебсайта Министерства нефти и природного газа (National data repository, Ministry of Petroleum & Natural Gas) по состоянию на 21.04.2019 г. геологические ресурсы углеводородного сырья **Камбейского бассейна** составляли 2050 млн т н. э. Соотношение жидких и газообразных углеводородов в структуре геологических ресурсов приблизительно равно четырем [5].

Нефтегазоносный бассейн Суэцкого залива административно расположен на северо-востоке Египта и структурно приурочен к **Суэцкому грабену**, входящему в состав Суэцко-Красноморской рифтовой системы [3]. Грабен вытянут на 350 км, его площадь примерно 28000 км<sup>2</sup>. Основные события, связанные с его формированием происходили в кайнозое. Мощность чехла достигает 8000 м. Предрифтовые отложения представлены палеозой-кайнозойским

карбонатно-терригенным интервалом чехла с перерывами в осадконакоплении общей мощностью около 2400 м, синрифтовых олигоцен-плейстоценовых – до 4650 м [3]. Стратиграфия и некоторые характеристики нефтегазоносности осадочной толщи в грабене Суэцкого залива представлены на рис. 5.

Как указывают авторы обобщающего исследования (по материалам журнала Oil and Gas за 1994 г.) [3], начальные потенциальные геологические ресурсы УВ Суэцкого НГБ составляют 3173,3 млн т н. э. или несколько выше. Согласно расчетам объемным методом, выполненным в 1992 г. Б. А. Соколовым и Е. Л. Ларченковым [3], извлекаемые прогнозные ресурсы жидких УВ в бассейне достигают 830 млн т, газа 400 млрд м<sup>3</sup>. По некоторым оценкам, средняя плотность извлекаемых ресурсов оценивается в 53,5 тыс. т/км<sup>2</sup> [3].



**Рис. 2.** Положение Кютингдинского грабена на карте структурного районирования Сибирской платформы (а), на геологической карте (б) и его геологический разрез по сейсмическому профилю 140309 (в)

1 – зоны складчато-надвигового обрамления платформы; 2 – Предверхоянский перикратонный прогиб; 3 – другие перикратонные прогибы; 4–6 – структуры: 4 – отрицательные, 5 – положительные, 6 – сочленяющие; 7–8 – сбросы, ограничивающие Кютингдинский грабен: 7 – картируемые, 8 – предполагаемые; 9 – новые сейсмические профили и их номера; 10 – глубокие скважины; 11–18 – геологические образования: 11 – архейские и нижнепротерозойские, 12 – рифейские, 13 – вендские, преимущественно карбонатные, 14 – кембрийские преимущественно карбонатные, 15 – девонские существенно эвапоритовые, 16 – каменноугольные существенно эвапоритовые, 17 – карбон-пермтриасовые терригенные, верхоянский комплекс (терригенный флиш), 18 – юрские терригенные, верхоянский комплекс (терригенный флиш); 19 – разломы; 20 – пермтриасовый силл

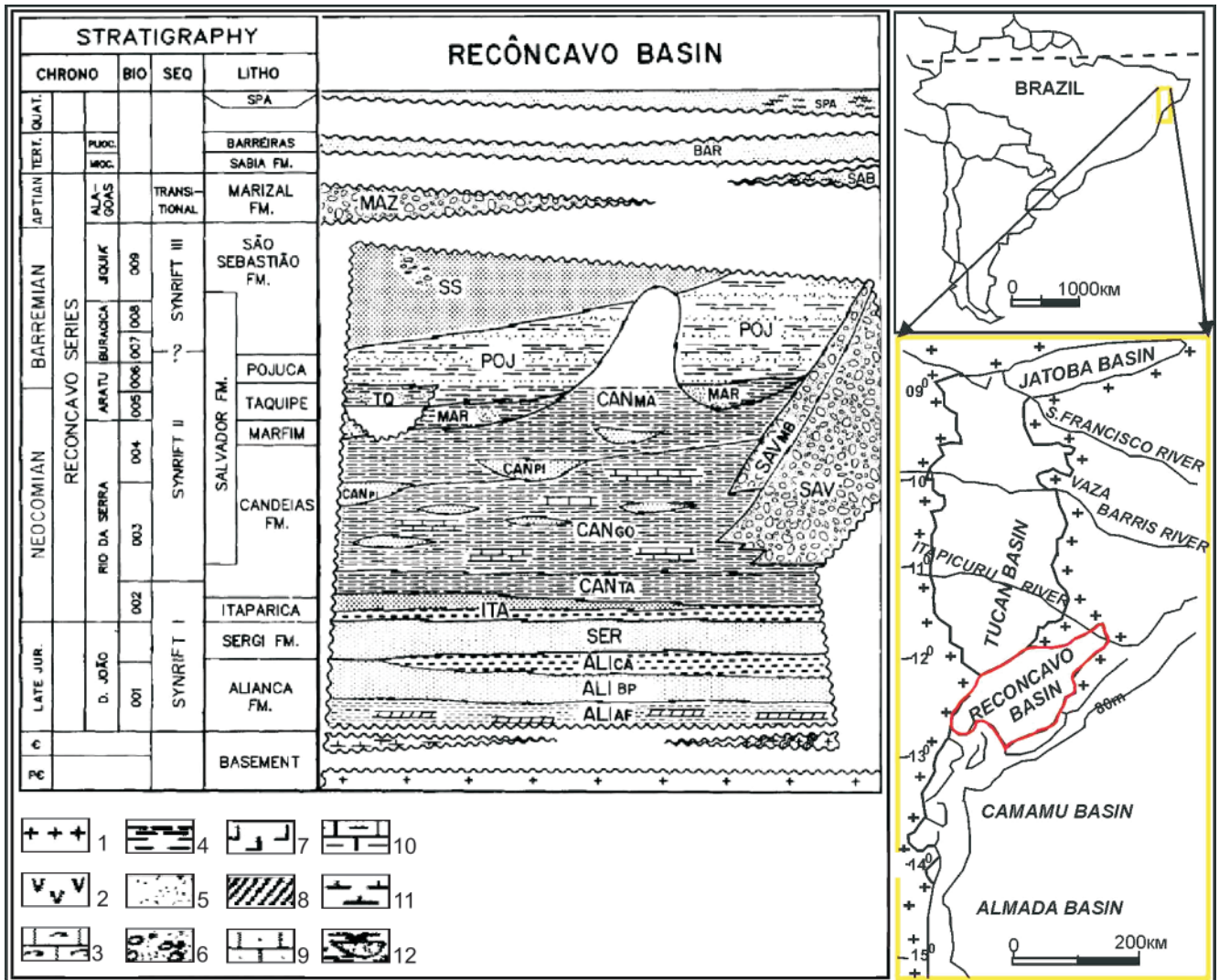


Рис. 3 Стратиграфическая колонка синрифтовых комплексов грабена Реконкаво [17] и его расположение [15]

1 – фундамент; 2 – вулканиты; 3 – ракушечник; 4 – сланец; 5 – песчаник; 6 – конгломерат; 7 – галит; 8 – ангидрит; 9 – известняк кристаллический; 10 – известняк пелитоморфный; 11 – мергель; 12 – турбидитный песчаник

Длина **Верхнерейнского грабена** 250 км, ширина 40 км по р. Рейн от района Базеля (Швейцария) до Франкфурта (Германия) (рис. 6). Грабен образовался в эоцен-олигоценное время, на отдельных участках развитие продолжалось в четвертичном периоде.

Дорифтовые отложения представлены породами от нижнекарбовых до нижнепермских и преимущественно размытых мезозойских (триас, мел), суммарная их мощность до 1500 м (см. рис. 6) [18], синрифтовые – кайнозойскими. Прогибание началось в эоцене. Максимальные толщины кайнозойского заполнения грабена более 3000 м [15].

Нам не удалось найти актуальных опубликованных данных по ресурсной оценке всего бассейна Верхнерейнского грабена. При этом известно, что накопленная добыча суммарно во французской и немецкой его частях составляет 12,67 млн т нефти и 1,01 млрд газа [10]. Извлекаемые ресурсы нефтяных углеводородов для немецкой части оцениваются примерно в 17 млн т, из них накопленная добыча 8,6 млн т. Таким об-

разом, если немецкая и французская части грабена имеют приблизительно одинаковую степень освоённости, суммарные начальные извлекаемые ресурсы нефти Рейнского грабена должны оцениваться в 25 млн т. С учетом того что коэффициент извлечения нефти можно для удобства счета принять равным 33 %, геологические ресурсы нефти должны составить около 75 млн т. Геологические ресурсы УУВ 77 млн т н. э. Именно эту сумму мы примем как оценку суммарных начальных ресурсов углеводородов грабена.

**Североморский осадочный бассейн** по размерам и промышленной нефтегазоносности резко выделяется как среди других бассейнов атлантической окраины Евразии, так и среди нефтегазоносных бассейнов, связанных с грабенами. При значительной площади (свыше 500 тыс. км<sup>2</sup>) и начальных геологических ресурсах 21–25 млрд т он является основной нефтегазодобывающей провинцией Западной Европы [3].

В структурном плане бассейн представляет собой Североморскую синеклизу [1], осложняющую

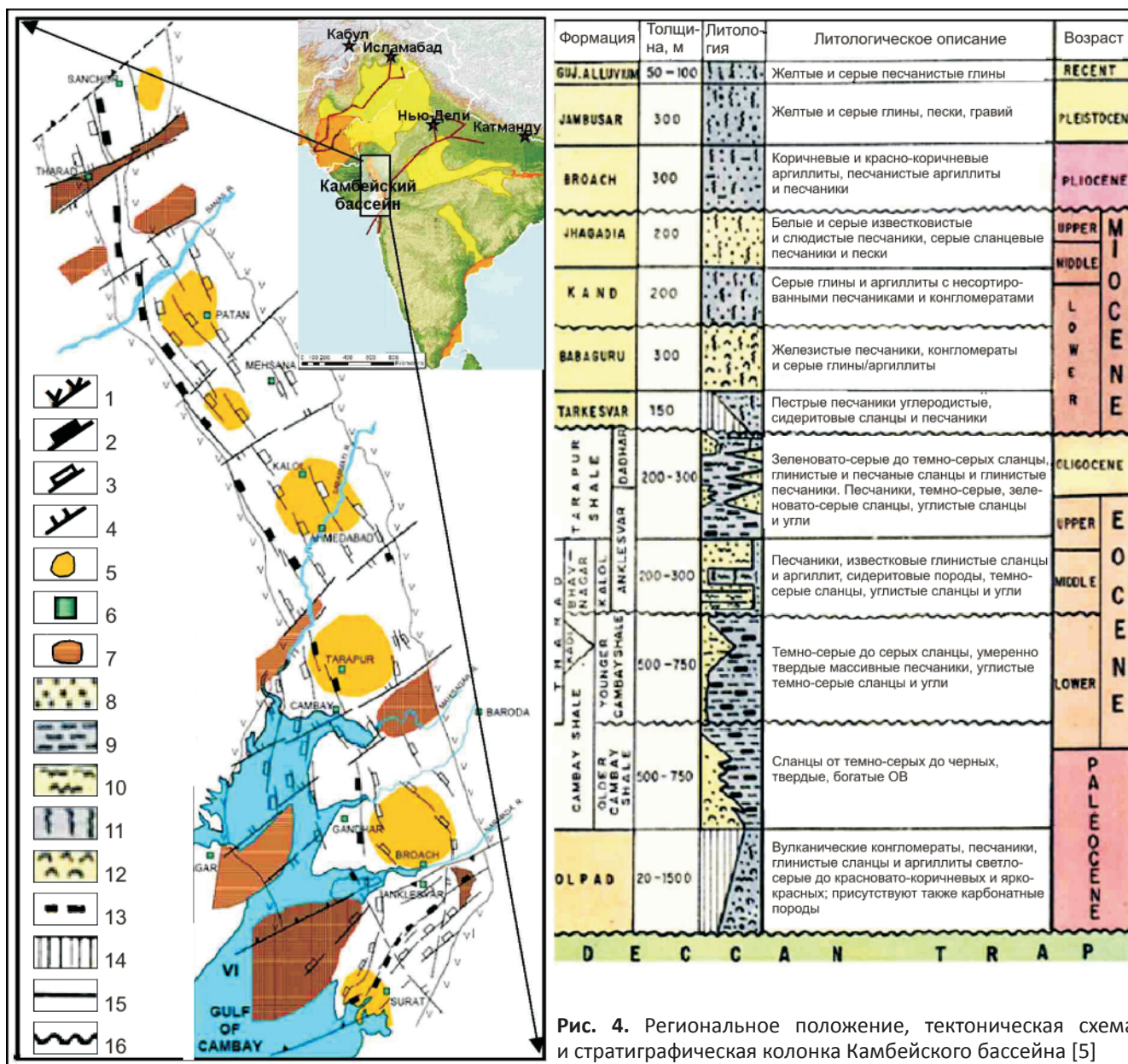


Рис. 4. Региональное положение, тектоническая схема и стратиграфическая колонка Камбейского бассейна [5]

1 – границы синрифтового осадочного комплекса; 2 – главные разломы; 3 – листрические сбросы; 4 – трансформные разломы; 5 – депоцентры осадконакопления; 6 – города; 7 – выступы фундамента; 8 – песок; 9 – сланец; 10 – осадок; 11 – глина; 12 – конгломерат/гравий; 13 – уголь; 14 – отсутствие отложений/эрозия; контакт: 15 – согласный, 16 – несогласный

Восточно-Европейскую платформу и современную байкальско-герцинскую Западно-Европейскую плиту, которая, в свою очередь, наращивает древнюю Восточно-Европейскую платформу к западу. В основании синеклизы залегает связанная с Атлантическим океаном рифтогенная система, объединяющая несколько крупных грабенов. Самые крупные и интересные в плане нефтегазоносности – **Экофиск (Центральный)** и **Викинг** (рис. 7). Так же как грабены Реконкаво, Камбейский, Рейнский, Днепровско-Донецко-Припятский, Кютингдинский, они расположены под углом к краевым линейным структурам континентальной плиты. Синрифтовую стадию осадконакопления грабены прошли с начала поздней юры до начала позднего мела (см. рис. 7). Толщины осадочных пород в их пределах достигают более

10000 м, из них более 5000 м (в зависимости от геодинамики отдельных блоков) может приходиться на синрифтовый или синрифтовый и посткаледонский дорифтовый комплексы суммарно. Толщина пострифтового синеклизного интервала осадочного чехла может составлять до 3500 м.

К 1994 г. Североморском бассейне было добыто 263 млн т нефти и 182 млрд м<sup>3</sup> газа. Основная часть (70 % разведанных запасов) приурочена к юрским отложениям, 15 % – к меловым, 15 % – к палеоценовым и доюрским. Таким образом, главная промышленная нефтегазоносность сконцентрирована в юрско-нижнекайнозойском интервале осадочного чехла [3]. Характерный для грабенов Северного моря разрез по одному из сечений представлен на рис. 7.

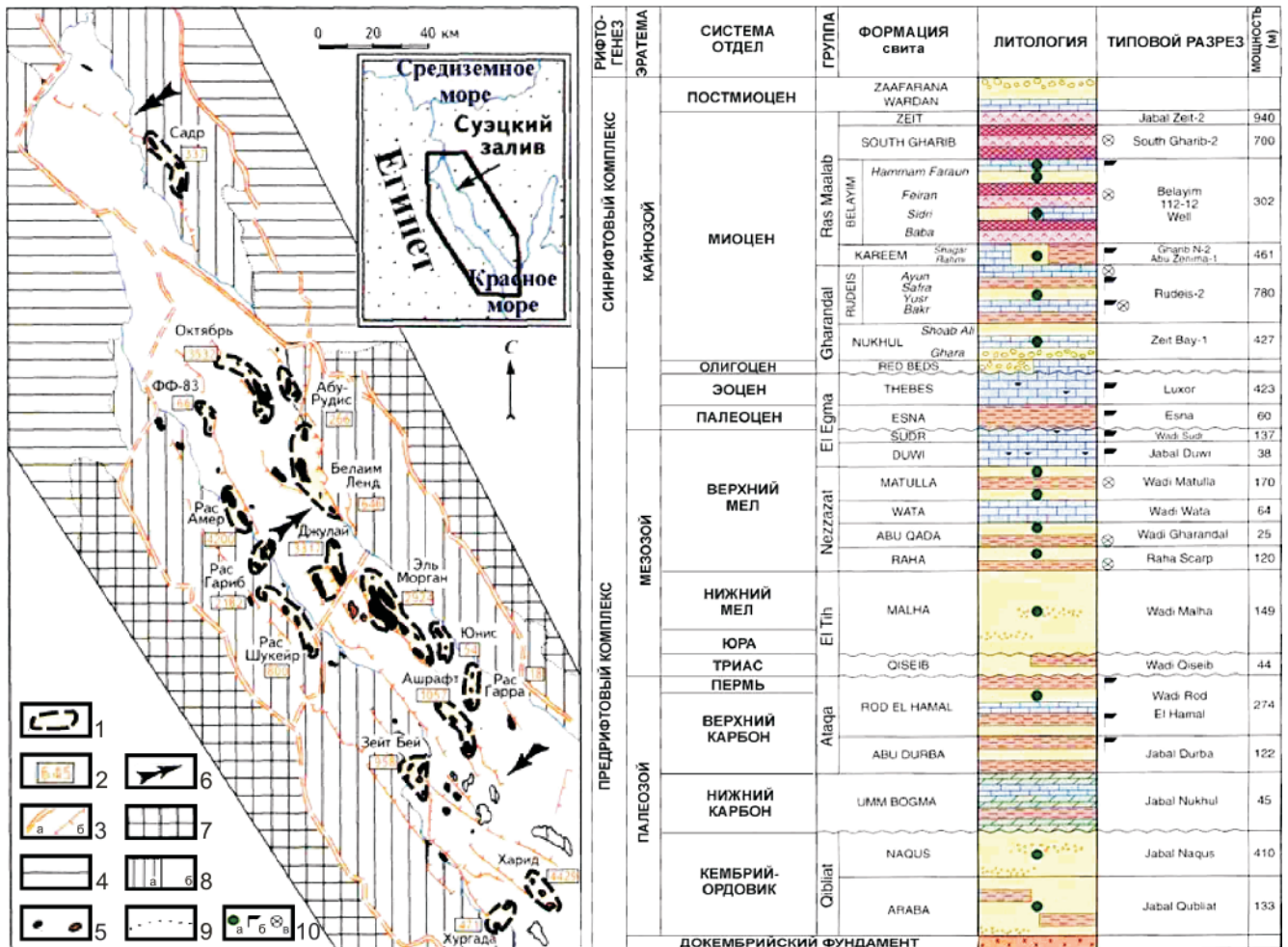


Рис. 5. Региональное положение (врезка), зоны нефтегазоаккумуляции [4] и стратиграфическая колонка с некоторыми элементами углеводородной системы [15] НГБ Суэцкого залива

1 – зоны нефтегазоаккумуляции; 2 – плотность геологических ресурсов УВ в некоторых зонах, тыс. т/км<sup>2</sup>; 3 – УВ: а – нефть, б – газ; 4 – направления наклона геоблоков; 5 – разрывные нарушения: а – регионального значения, б – сбросы; 6 – докембрийский фундамент; 7 – дорифтовый комплекс (доолигоценный); 8 – рифтовый комплекс (олигоцен-плейстоценовый): а – на суше, б – на акватории; 9 – границы комплексов локального значения; 10 – нефтяные продуктивные горизонты (а), материнские породы (б), покрывки (в)

Сложно оценить общую площадь рассматриваемых грабенов. При подсчете нужно учитывать, что это делается для корреляции между нефтегазоносностью, количественными параметрами, с одной стороны, и масштабами осадочного выполнения – с другой. Поскольку у нас нет возможности разделить залежи на генетически связанные и не связанные с синрифтовыми осадочными толщами грабенов, мы делаем логичное, на наш взгляд, допущение, что грабены являлись очагами генерации для всех прилегающих к ним месторождений. Поэтому необходимо учитывать не только площадь развития синрифтового комплекса, но и синеклизный интервал разреза, вмещающий залежи УВ. Для подсчетов общей нефтегазоносной площади двух грабенов нами были использованы контуры разломов, ограничивающих грабены, и контуры нефтегазовых групп и зон из книги Ю. Н. Григоренко, И. М. Мирчинка и др. [3]. По этим контурам вычисленная с помощью палеточного метода суммарная площадь грабенов

составила 84,7 тыс. км<sup>2</sup>. Авторы работы [3] приводят начальные суммарные геологические ресурсы для двух грабенов и прилегающих площадей 17723 млн т н. э.

Разломная система **Евфратского грабена** тянется на северо-запад от границы с Ираком на юго-востоке и до центральных частей Сирии (рис. 8). Размеры грабена составляют 160×90 км, его площадь, соответственно, 14400 км<sup>2</sup>, при этом максимальные толщины осадочных пород не превышают 6 км. Евфратский грабен – это своего рода бассейн растяжения, который состоит из грабенов, полуграбенов и «тюльпановых» структур [14]. Евфратская рифтогенная система начала развиваться во время позднего мела, в позднем маастрихте прекратилось интенсивное прогибание, формировавшее синрифтовые толщи грабена из-за начавшегося континентального столкновения вдоль северной части Аравийской плиты, которое подтверждено наличием фрагментов офиолитов по ее краям [14]. В результате сформировались около 2,5 км верхнемеловых

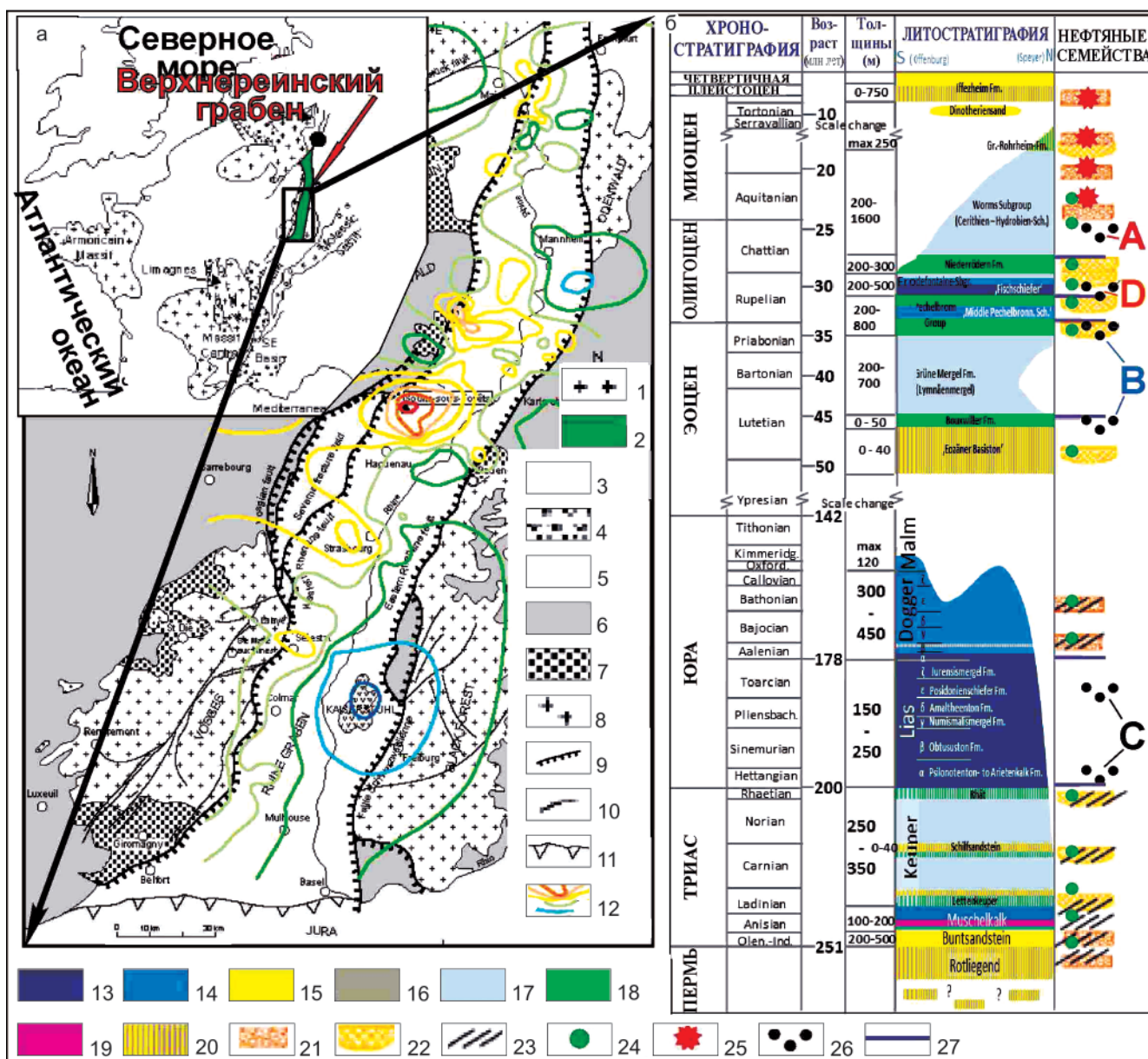


Рис. 6. Расположение, упрощенное геологическое строение (а) [18] и стратиграфическая колонка центральной части Верхнерейнского грабена, включающая элементы нефтяной системы (б) [10]

1 – герцинские массивы; 2 – осадочное выполнение Верхнерейнского грабена; 3 – кайнозойские осадочные толщи; 4 – кайнозойские вулканиты; 5–6 – осадочные породы: 5 – юрские, 6 – триасовые; 7 – пермтриасовые базальты; 8 – герцинский фундамент; 9–10 – разломы: 9 – главные, 10 – второстепенные; 11 – надвиги; 12 – изотермы на абс. отм. –1500 м: от 130 °С (красный) к 50 °С (синий); 13–19 – условия осадконакопления: 13 – морские глубоководные, 14 – морские мелководные, 15 – солоноводные, 16 – речные и озерные, 17 – грубообломочные, 18 – тонкообломочные, 19 – эвапориты; 20 – смешанные фации; 21 – стратиформные пески; 22 – русловые и дельтовые каналы; 23 – трещинные коллекторы; 24 – нефтяные резервуары; 25 – микробиальный газ; 26 – материнские породы, 27 – главные флюидоупоры; А, В, С и D – семейства нефти

синрифтовых, в определенной степени дислоцированных толщ (рис. 8).

Рифтогенный интервал чехла выглядит не слишком впечатляюще на фоне толщин палеозойского предрифтового комплекса (более 4 км) и кайнозойских пострифтовых образований (более 2 км).

Извлекаемые доказанные запасы Евфратского грабена на 1998 г. составляли не менее 1 млрд баррелей нефти [14] в 30 месторождениях. В 2012 г. прогнозные неразведанные извлекаемые ресурсы оценивались приблизительно в 25,37 млн т нефти

и 9,78 млрд м<sup>3</sup> газа [9]. Таким образом, с учетом коэффициента извлечения геологические начальные суммарные запасы Евфратского грабена должны составлять около 500 млн т н. э.

**Днепрово-Донецко-Припятский грабен** (авлакоген) состоит из двух частей (Припятской и Днепрово-Донецкой), протягивающихся на 1000 км при средней ширине около 75 км. Грабен находится между Белорусско-Мазурской и Воронежской антеклизмами на севере и Украинским щитом на юге, от которых отделен краевыми сбросами (рис. 9).

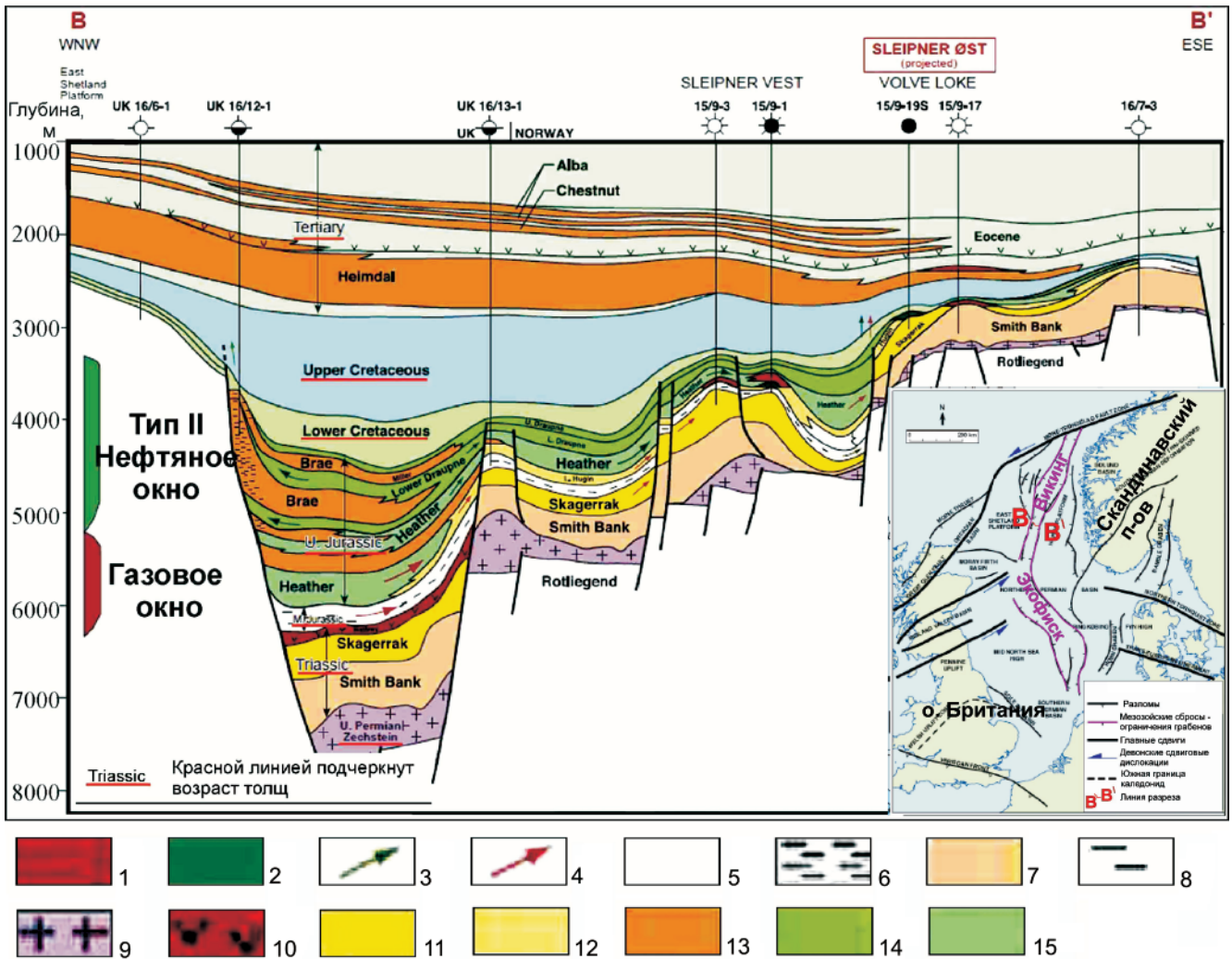


Рис. 7. Географическое положение (на врезке), нефтегазоносность и геологический разрез грабенов Экофиск и Викинг с элементами нефтегазовой системы, по [11, 12]

1 – газ; 2 – нефть; 3–4 – пути миграции: 3 – нефти, 4 – газа; 5 – неколлекторы; 6 – конгломерат; 7 – песчаник; 8 – угли; 9 – эвапориты; 10 – вулканиты; 11 – аллювий; 12 – мелководный шельф; 13 – конусы выноса; материнские толщи и типы органического вещества: 14 – Draupne, тип II; 15 – Heather, тип II/III; 8 – Sleipner/Hugin, тип III, угли

На юге его осадочные комплексы продолжают в пределах Донецкого складчатого сооружения (складчатой зоны), где в результате альпийского тектоногенеза собраны в линейные складки. Фундамент сложен метаморфическими породами архея и нижнего протерозоя, наибольшая глубина его залегания немногим более 10 км. Максимальная мощность среднедевонско-верхнекаменноугольного синрифтового комплекса достигает 9 км, пострифтовых комплексов перми – мезозоя – 1,3 км, кайнозоя – 0,6 км. Предрифтовый интервал чехла, по-видимому, практически полностью эродирован в начальной фазе рифтогенеза. Возраст отложений, характер дислоцированности толщ, толщины и эвапоритовый характер некоторых интервалов осадочного чехла, форма и положение разрывных нарушений преимущественно сбросового характера, вероятно, аналогичны характеристикам Кютингдинского грабена [4].

Общая площадь относительно слабо дислоцированных и преобразованных частей Днепрово-

Донецко-Припятского грабена, включая Припятский «прогиб», около 75000 км<sup>2</sup>. Возраст заложения рифта – средний девон. В соответствии с данными последней количественной оценки по состоянию на начало 1988 г. суммарные НСР условных углеводородов составляли 7290 млн т, а добыто к тому времени было 278 млн т жидких УВ и 1207 млрд м<sup>3</sup> растворенного и свободного газа.

### Сопоставление количественных параметров осадочного чехла грабенов

Приведенные данные показывают общие черты формирования нефтегазоносных бассейнов, связанных с грабенообразными структурами. Грабены Северного моря, Камбейский, Реконкаво, Днепрово-Донецко-Припятский, Рейнский, Кютингдинский расположены у края континентальных плит. Они имеют косой характер сочленения по отношению к осевой зоне раскрывшегося океана. При этом некоторые грабены, например Реконкаво, демонстрируют большую связь с основным океаническим бассей-



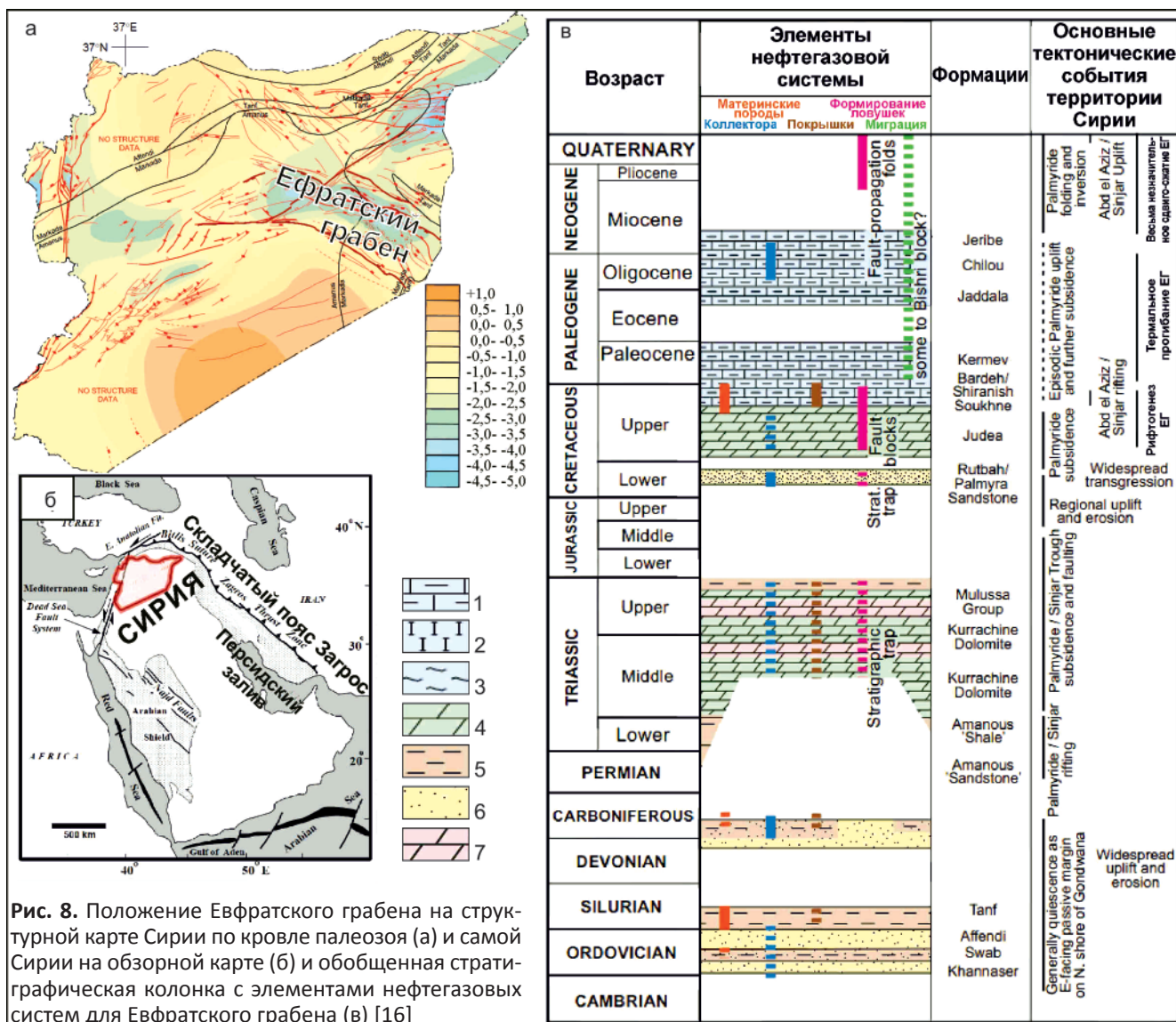


Рис. 8. Положение Евфратского грабена на структурной карте Сирии по кровле палеозоя (а) и самой Сирии на обзорной карте (б) и обобщенная стратиграфическая колонка с элементами нефтегазовых систем для Евфратского грабена (в) [16]

1 – глинистый известняк; 2 – мел; 3 – мергель; 4 – доломит; 5 – сланец; 6 – песчаник; 7 – сульфатизированный доломит

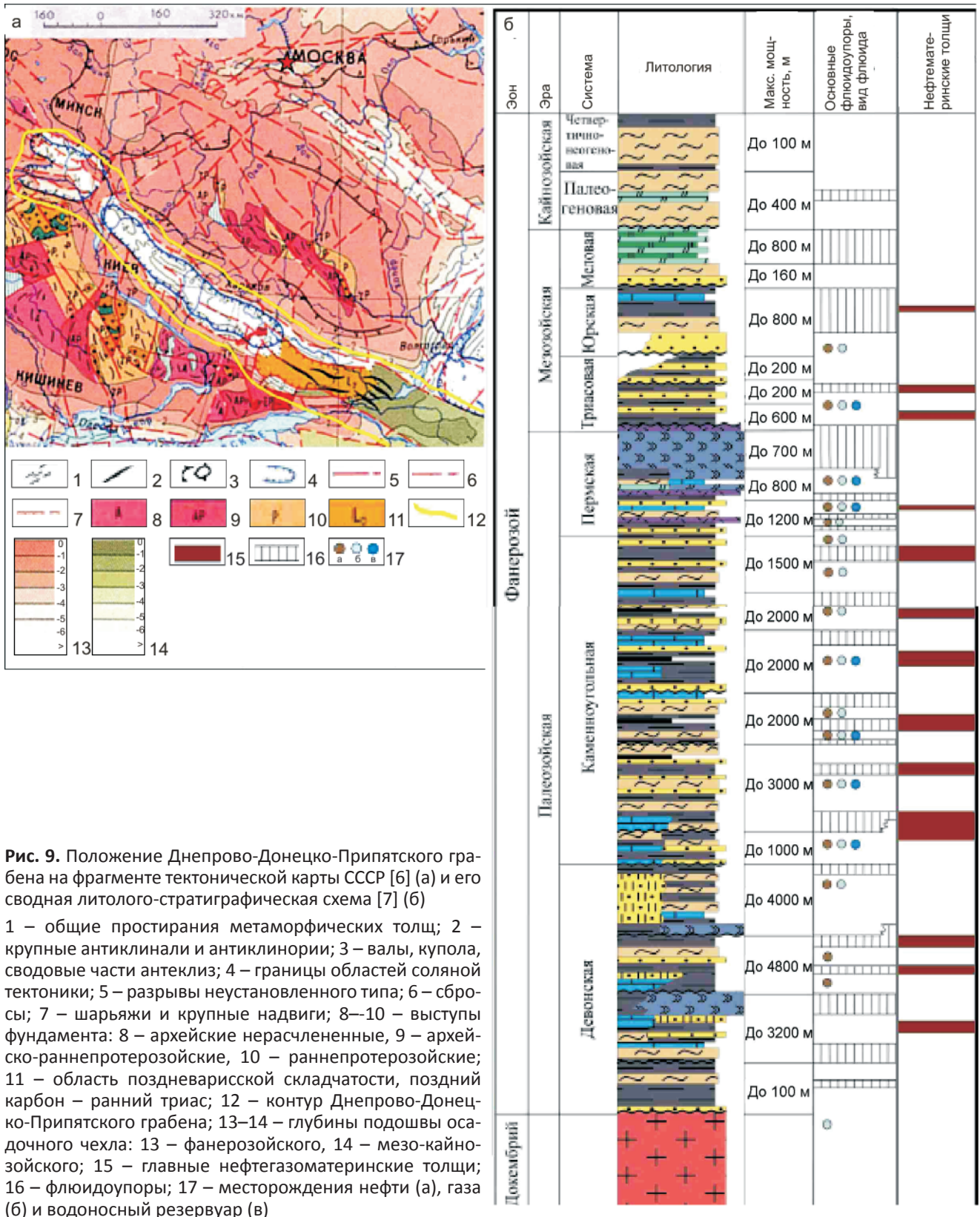
ном, являясь как бы субпараллельными клавишными бассейнами. Другие, более изолированные, также, несомненно, тесно связаны с общей рифтогенной океанической системой. Рейнский, Днепровско-Донецко-Припятский, Евфратский, Кютингдинский грабены испытали складчато-надвиговые деформации и открываются в сторону бывших пассивных континентальных окраин, в настоящее время превратившихся в предгорные прогибы. Некоторые до сих пор связаны с океаническими бассейнами различных стадий раскрытия, что, по-видимому, повышает их ресурсные возможности.

На основе анализа количественных данных была построена таблица следующих основных оценочных параметров нефтегазоносных грабенов: площади, приблизительных толщин различных интервалов осадочного чехла, их возраста, геологических начальных суммарных ресурсов и приблизительного соотношения жидких и газообразных углеводородов (табл. 2).

Из анализа площадей осадочного выполнения, толщин и возраста пред-, син- и пострифтовых

интервалов чехла можно установить их прямую корреляционную связь с масштабами ресурсов углеводородного сырья. Видимо, недоучет анализа параметров нефтегазовых систем существенно загроуляет и искажает эту связь. Весьма вероятно и то, что возраст нефтегазоматеринских, коллекторских и экранирующих толщ, время их погружения в главные интервалы глубин нефтегазовой генерации, условия и временные промежутки существования сформировавшихся залежей напрямую влияют на современные масштабы нефтегазоносности. Слишком молодые структуры при слабом тепловом потоке могли просто не успеть сформировать достаточное количество углеводородных скоплений. Древние нефтегазовые системы, полностью реализовавшие свой потенциал, наоборот, могли не сохранить промышленных скоплений до настоящего времени по разным причинам (различного рода тектонические активизации, отсутствие надежных флюидоупоров и т. п.).

Таким образом, для полностью корректного сопоставления геологических особенностей грабе-



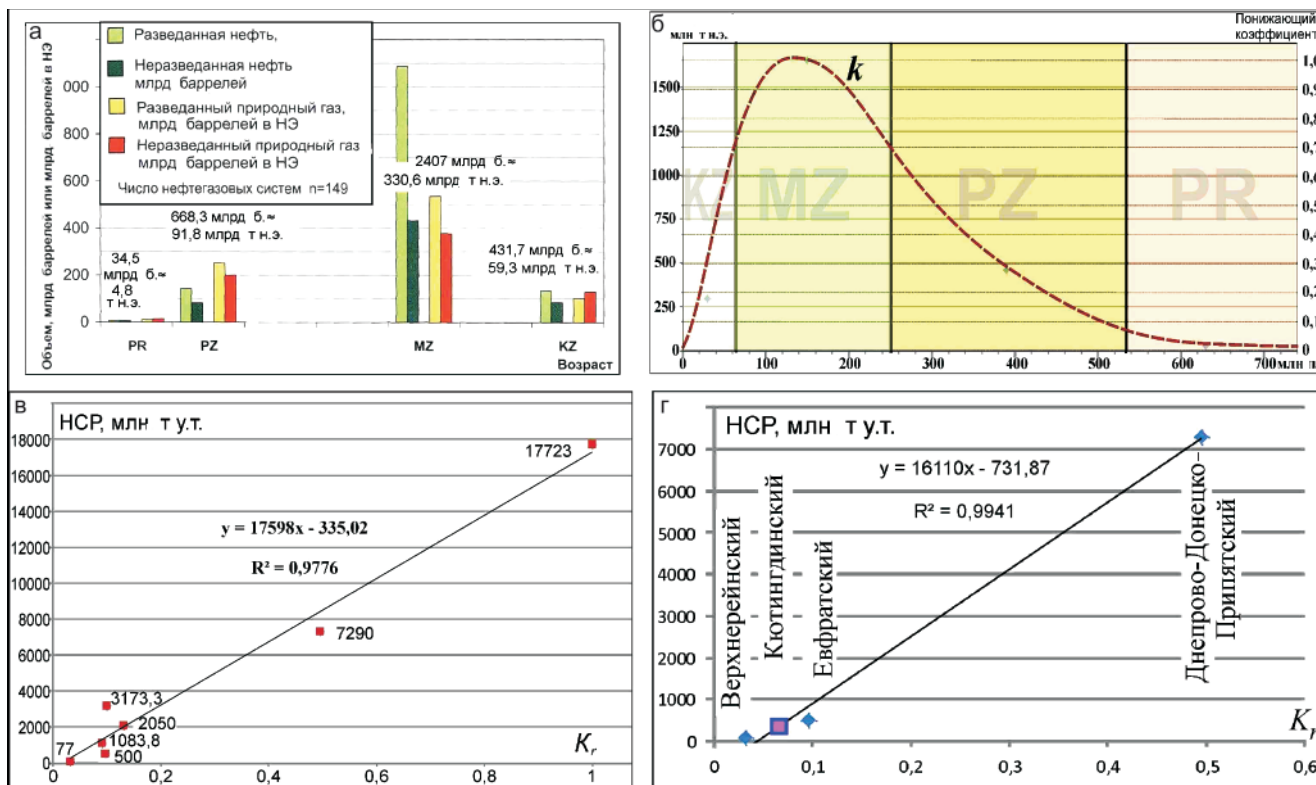
**Рис. 9.** Положение Днепровско-Донецко-Припятского грабена на фрагменте тектонической карты СССР [6] (а) и его сводная литолого-стратиграфическая схема [7] (б)

1 – общие простирания метаморфических толщ; 2 – крупные антиклинали и антиклинории; 3 – валы, купола, сводовые части антеклиз; 4 – границы областей соляной тектоники; 5 – разрывы неустановленного типа; 6 – сбросы; 7 – шарьяжи и крупные надвижки; 8–10 – выступы фундамента: 8 – архейские нерасчлененные, 9 – архейско-раннепротерозойские, 10 – раннепротерозойские; 11 – область поздневарисской складчатости, поздний карбон – ранний триас; 12 – контур Днепровско-Донецко-Припятского грабена; 13–14 – глубины подошвы осадочного чехла: 13 – фанерозойского, 14 – мезо-кайнозойского; 15 – главные нефтегазоматеринские толщи; 16 – флюидопоры; 17 – месторождения нефти (а), газа (б) и водоносный резервуар (в)

нов и масштабов их нефтегазоносности необходим анализ множества факторов, что само по себе составляет гигантский объем работы в области бассейнового моделирования углеводородных систем и может быть предметом отдельного масштабного исследования.

Попробуем упростить задачу, обратившись к статистике. Используем данные по нефтегазонос-

ности углеводородных систем различного возраста, которые, по нашему мнению, отражают результаты процессов генерации УВ, формирования и сохранения их скопления. В этом случае придется допустить определенную степень приближения, обусловленную процессом обобщения, т. е. рассматривать результаты деятельности разновозрастных и в чем-то различных нефтегазовых систем предрифтовых,



**Рис. 10.** Связь ресурсного углеводородного потенциала рифтогенных нефтегазоносных бассейнов с возрастом и размерами: а – глобальное распределение оцененных объемов нефти и газа (средние значения) в нефтегазовых системах по возрасту нефтегазоматеринских пород [5]; разведанный объем (накопленная добыча+оставшиеся запасы); неразведанный объем (оцененный в работе [5]); б – график понижающего коэффициента к ресурсной оценке УВ для разновозрастных нефтегазоносных комплексов, крупных интервалов осадочного чехла, нефтегазовых систем; в – зависимость ресурсов УВ грабенов от объемов разновозрастного осадочного выполнения (см. табл.3); г – зависимость ресурсов УВ грабенов, частично прошедших коллизионную стадию, от объемов разновозрастного осадочного выполнения; R<sup>2</sup> – достоверность аппроксимации

синрифтовых и пострифтовых стадий вместе, в суммированном виде.

Статистика по разновозрастным углеводородным системам приводится в крупном обобщающем исследовании американских ученых [5]. В несколько упрощенном виде (без данных по промежуточным комплексам) эти данные представлены на рис. 9.

Возраст нефтегазоматеринских пород можно принять такой же, как соответствующих пред-, син- или пострифтовых интервалов осадочного чехла бассейнов, связанных с грабенами.

На рис. 10, а видно, что при сравнении разновозрастных систем наибольшей современной плотностью ресурсов обладают мезозойские ком-

**Таблица 2**

Количественные параметры грабенов-аналогов

Параметр	Грабен								
	Реконка-во	Камбей-ский	Суэцкий	Верхне-рейн-ский	Викинг, Эко-фиск	Евфрат-ский	Днепров-ско-Донец-ко-Припят-ский	Кютингдин-ский	
Возраст	MZ–KZ	KZ	PZ–KZ		MZ–KZ		PZ–MZ		
НСР, млн т н.э.	1083,76	2050	3173,3	77	17723	500	7290	?	
S, тыс. м <sup>2</sup>	10,2	53,5	20	10	84,7	14,4	75	10	
Толщины интервалов чехла, км	prR	1 (0,77)	–	2,9 (0,5)	1,5 (0,6)	1,5 (0,84)	4 (0,43)	–	1
	sR	5 (1)	4 (0,65)	4,65 (0,25)	3 (0,5)	5 (1)	2,5 (0,9)	9 (0,33)	5 (0,33)
	psR	1 (0,8)	2,5 (0,25)	–	–	3,5 (0,7)	2 (0,5)	1,9 (1)	3 (0,95)
Жидкие/газообразные	5	4	6	30	4	7,5	0,3	?	

**Примечания.** 1. Суммарный возраст всех интервалов осадочной толщи в пределах грабена. 2. Интервалы чехла: prR – предрифтовый, sR – синрифтовый, psR – пострифтовый, в скобках – понижающий коэффициент. 3. ? – параметры, которые необходимо установить; прочерк – практически отсутствует.



Таблица 3

Зависимость ресурсов УВ грабенов от объемов разновозрастного осадочного выполнения

Параметр	Грабен							
	Реконкаво	Камбейский	Суэцкий	Верхнерейнский	Викинг, Экофиск	Евфратский	Днепровско-Донецко-Припятский	Кютингдинский
НСР, млн т УУВ	1083,76	2050	3173,3	77	17723	500	7290	?
$K_r$	0,091	0,131	0,099	0,033	1	0,097	0,495	0,064
Жидкие/газообразные	5	4	6	70	4	7,5	0,3	?

Примечание: ? – параметры, которые необходимо установить

плексы, поскольку в них оптимально сочетаются степень реализации материнского потенциала и условия сохранности залежей. Древние комплексы, пройдя максимум генерации, потеряли значительную часть ресурсов вследствие разрушающих залежи миграции, диффузии и, особенно, активности тектонических процессов, а молодые комплексы еще только входят в главные фазы нефтегазобразования.

Понижающий коэффициент (см. рис. 10,б) используется нами для учета этой закономерности. Мы предполагаем наличие прямой связи между геологическими НСР и относительным комплексным показателем  $K_r$ , представляющим собой отношение показателя  $K_i$  отдельного грабена к максимальному  $K_{max}$ , обобщающему параметры суммы толщины разновозрастных интервалов, возраста интервалов и площади наибольшего бассейна грабенов Северного моря (Викинг и Экофиск):  $K_r = K_i / K_{max}$ .

Комплексный показатель  $K_i$  для каждого из грабенов рассчитан по формуле  $K_i = S(H_{pr}k + H_s k + H_p k)$ , где  $S$  – площадь грабена;  $H_{pr}$ ,  $H_s$  и  $H_p$  – толщины предрифтового, синрифтового и пострифтового интервалов соответственно;  $k$  – понижающий коэффициент (см. рис. 9, б).

Данные сведены в табл. 3

Построим по полученным данным график зависимости (рис. 10, в), демонстрирующий линейную зависимость масштабов НСР от геологического строения осадочного чехла. Коэффициент достоверности аппроксимации равен 0,9776, что свидетельствует о высокой вероятности прямой связи. Получим оценку геологических прогнозных ресурсов по уравнению линейной зависимости, подставив в него комплексный показатель Кютингдинского грабена (0,064), – 791 млн т УУВ. Учитывая весьма близкое строение Кютингдинского и Днепровско-Донецко-Припятского грабенов, по аналогии можно принять отношение жидких УВ к газообразным 0,3. В таком случае геологические прогнозные ресурсы нефти и конденсата составят около 240 млн т, извлекаемые около 80 млн т.

Однако к результатам обобщения можно подойти критичнее. Из анализа полученных данных (несложная статистика, полученная в программе Excel) отметим, что восемь рассмотренных грабенов

условно делятся на три группы. К *первой* можно отнести грабены, которые ложатся в главный тренд и демонстрируют примерно одинаковый прирост ресурсной базы на единицу объема чехла (Реконкаво, Камбейский, Викинг, Экофиск и условно Днепровско-Донецко-Припятский). На наш взгляд, их объединяют геодинамическое положение и история, приуроченность к современной границе континента, открытие в океан или нахождение возле него и, что наиболее важно, отсутствие складкообразования как результата соседства со складчатой зоной. Днепровско-Донецко-Припятский грабен отнесен к этой группе условно, поскольку при похожей статистике по чехлу и нефтегазоносности в настоящей статье он рассмотрен без Донецкого складчатого сооружения, подвергнувшегося активному альпийскому тектоногенезу.

Ко *второй* группе можно отнести грабены на континентах, прилегающие к складчатым областям и в какой-то мере преобразованные складчатостью (Верхнерейнский и Евфратский). Возможно, их пониженная ресурсная база на фоне достаточно мощного и зрелого чехла объясняется дислоцированностью. Об этом может свидетельствовать и аномально низкое присутствие газовых скоплений в Верхнерейнском грабене – в 5–10 раз ниже, чем в других. К этой группе должен был бы относиться Днепровско-Донецко-Припятский грабен. Его высокая ресурсная оценка, вероятно, связана с тем, что мы рассматривали его без Донецкого складчатого сооружения, а также с широким развитием в нем галогенных флюидоупоров, обусловивших хорошую сохранность залежей в палеозойских толщах на фоне относительно высокой степени реализованности. Может быть, по этой причине и отношение жидких к газообразным УВ в его пределах аномально низко – 0,3.

В *третьей* группе особняком стоит Суэцкий грабен, ресурсная оценка которого при относительно скромных параметрах чехла аномально высока. Получается, что его молодые нефтегазовые синрифтовые системы демонстрируют высокую степень реализации. Неясны причины этого на фоне относительно невысокого теплового потока, составляющего в его «горячих точках», по данным [8], 3,64 °C/100 м, тогда как в Верхнерейнском



грабене тепловой поток достигает 8,67 °С/100 м (см. рис. 6).

Таким образом, если рассмотреть грабены, определенные части которых прошли коллизивную стадию (Кютингдинский, сходные с ним по геологическому строению Верхнерейнский и Евфратский, а также Днепровско-Донецко-Припятский), мы получим несколько другую картину (см. рис. 10, г).

В уравнение линейной зависимости (см. рис. 10, г) подставим комплексный показатель Кютингдинского грабена (0,064). В этом случае оценка геологических прогнозных ресурсов гораздо меньше – 299,17 млн т УУВ, из которых приблизительно 90 млн т – геологические ресурсы нефти и конденсата.

## Выводы

1. Устанавливается прямая статистическая связь между количественными параметрами осадочного выполнения грабенов (мощность и возраст отдельных интервалов осадочного чехла и т. п.) и НСР углеводородного сырья, вероятно, определяемая степенью реализации нефтегазоматеринского потенциала.

2. Нефтегазоносные рифтогенные осадочные бассейны разделяются на нормальные, не испытывавшие тектонической активизации и обладающие повышенными плотностями ресурсов, и на частично дислоцированные процессами сжатия. Важную положительную роль играют галогенные флюидопоры.

3. Кютингдинский грабен имеет черты геологического строения, свойственные другим рифтогенным структурам земного шара и позволяющие оптимистично оценить ресурсный углеводородный потенциал его осадочного чехла – 791 млн т УУВ геологических прогнозных ресурсов, а геологические ресурсы нефти и конденсата – около 240 млн т.

4. Если допустить широкое проявление тектонической дислоцированности в Кютингдинском грабене и отсутствие значимых галогенных покровов, НСР могут составить 299,17 млн т условных углеводородов, из которых приблизительно 90 млн т – геологические ресурсы нефти и конденсата.

5. Выполненные статистические исследования с определенной степенью достоверности позволяют оценить ресурсный углеводородный потенциал других рифтогенных структур, таких как Кемпедняйская впадина, Байкальский грабен, грабен Красного моря и т. п.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Высоцкий И. В., Высоцкий В. И., Оленин В. Б.** Нефтегазоносные бассейны зарубежных стран. – М.: Недра, 1990. – 405 с.  
2. **Государственная** геологическая карта СССР. М-б 1:1 000 000 (новая серия). Объяснительная за-

писка. Лист R-(50)-52 – Тикси. – Л.: ВСЕГЕИ, 1984. – С. 5–26.

3. **Зоны** нефтегазонакопления окраин континентов / Ю. Н. Григоренко, И. М. Мирчинк, М. Д. Белонин и др. – М.: Геоинформцентр, 2002. – 432 с.

4. **Мигурский Ф. А., Якупова Е. М.** Новые данные о геологическом строении Кютингдинского грабена (северо-восток Сибирской платформы) // Разведка и охрана недр. – 2018. – № 6. – С. 10–17.

5. **Оценка** ресурсов нефти и газа в нефтегазовых системах мира [Global Resource Estimates from Total Petroleum Systems]. Пер. с англ. / Т. С. Альбрандт, Р. Р. Карпентер, Т. Р. Клетт и др. – СПб.: ВНИГНИ, 2008. – 352 с.

6. **Тектоническая** карта СССР. М-б: 1:16 000 000. Атлас СССР. Карты природы. Тектоническая карта. – М.: Гл. упр. геодезии и картографии при Совете Министров СССР, 1983. – С. 88–89.

7. **Углеводородный** потенциал девон-каменноугольных отложений Днепровско-Донецкой впадины / Н. П. Фадеева, Е. Н. Полудеткина, И. М. Натитник, И. Х. Ахуньянов // Георесурсы. – 2017. – Спецвыпуск. Ч. 2. – С. 240–248.

8. **Alsharhan A.** Petroleum geology and potential hydrocarbon plays in the Gulf of Suez rift basin, Egypt // American Association of Petroleum Geologists Bulletin. – 2003 – No. 87. – P. 143–180.

9. **Assessment** of undiscovered conventional oil and gas resources of the Arabian Peninsula and Zagros Fold Belt / J. K. Pitman, C. J. Schenk, M. E. Brownfield, et al. // U.S. Geological Survey Fact Sheet. – 2012 – No. 3115. – 4 p.

10. **Bocker J. J.** Petroleum system and thermal history of the Upper Rhine Graben. Implications from organic geochemical analyses, oil-source rock correlations and numerical modeling: Doktors der Naturwissenschaften genehmigte Dissertation. – Available at: [https://pdfs.semanticscholar.org/152e/fd771f16465eeb858847579911c2b69f6c03.pdf?\\_ga=2.231822806.871487384.1586774698-167571238.1586774698](https://pdfs.semanticscholar.org/152e/fd771f16465eeb858847579911c2b69f6c03.pdf?_ga=2.231822806.871487384.1586774698-167571238.1586774698).

11. **Gautier D.L.** Kimmeridgian shales total petroleum system of the North Sea Graben Province: U.S. Geological Survey Bulletin, 2005, 2204-C. –24 p.

12. **Noble** gases solubility models of hydrocarbon charge mechanism in the Sleipner Vest Gas Field / P. Barry, M. Lawson, W. P. Meurer et al. // Geochim. et Cosmochim. Acta. – 2016. – 194.10.1016/j.gca.2016.08.021.

13. **Petroliferous** Basins and shale gas – an unconventional hydrocarbon asset of India / Z. H. Syed, M. Y. Farooqui, P. H. Rao, et al. // Geosciences. – 2013. – No. 3(4). – P. 108–118.

14. **Structure** and evolution of the petroliferous Euphrates Graben system, Southeast Syria / R. K. Litak, M. Barazangi, G. Brew, et al. // AAPG Bull. – 1998. – Vol. 82, No. 6 (June). – P. 1173–1190.

15. **Tarso Araripe P.** Brasil Round 4: Reconcavo Basin. ANP, Block Definition Superintendency, Seminario Juridico / Fisical e Workshop Tecnico da Quarta Rodada

de Licitacoes, 2003. – Available at: <https://docplayer.net/12727146-Brasil-round-4-reconcavo-basin.html>.

16. **Tectonic** and Geologic Evolution of Syria / G. Brew, M. Barazangi, A. K. Al-Maleh, T. Sawaf // *GeoArabia*. – 2001. – Vol. 6, No. 4. – P. 573–616.

17. **Tectonics** and stratigraphy of the East Brazil Rift system: an overview / H. K. Chang, R. O. Kowsmann, A. M. F. Figueiredo, A. A. Bender // *Tectonophysics*. – 1992. – Vol. 13. – P. 97–138.

18. **Toward** a better understanding / Ch. Dezayes, C. Lerouge, B. Sanjuan, et al. // *Proceedings World Geothermal Congress 2015*. Melbourne, Australia, 19–25 April. – Available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/52722724.pdf>.

## REFERENCES

1. Vysotskiy I.V., Vysotskiy V.I., Olenin V.B. *Neftegazonosnyye basseyny zarubezhnykh stran* [Oil and gas basins of foreign countries]. Moscow, Nedra Publ., 1990. 405 p. (In Russ.).

2. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta SSSR. M-b 1:1 000 000 (novaya seriya). Obyasnitelnaya zapiska. List R-(50)-52 – Tiksi*. [State geological map of the USSR. Scale 1: 1,000,000 (new series). Explanatory note. Sheet R- (50) -52. Tiksi. Leningrad, VSEGEI Publ., 1984, pp. 15–26. (In Russ.).

3. Grigorenko Yu.N., Mirchink I.M., Belonin M.D., et al. *Zony neftegazonakopleniya okrain kontinentov* [Zones of oil and gas accumulation on the margins of the continents]. Moscow, Geoinformatsentr Publ., 2002. 432 p. (In Russ.).

4. Migurskiy F. A., Yakupova E.M. [New data on the geological structure of the Kütingdinsky graben (north-east of the Siberian platform)]. *Razvedka i okhrana nedr*, 2018, no. 6, pp. 10–17. (In Russ.).

5. Ahlbrandt T.S., Charpentier R.R., Klett T.R., et al. *Otsenka resursov nefti i gaza v neftegazovykh sistemakh mira* [Assessment of oil and gas resources in the oil and gas systems of the world]. Translation from English (Global Resource Estimates from Total Petroleum Systems), Saint Petersburg, VNIGNI Publ., 2008. 352 p. (In Russ.).

6. *Tektonicheskaya karta SSSR. M-b: 1:16 000 000. Atlas SSSR. Karty prirody*. [Tectonic map of the USSR. Scale: 1: 16 000 000. 1983. Atlas of the USSR. Maps of nature. Tectonic map]. Moscow, 1983, pp. 88–89 (In Russ.).

7. Fadeeva N.P., Poludetkina E.N., Natitnik I.M., Akhunyanov I.Kh. *Uglevodородnyy potentsial devonkamennougol'nykh otlozheniy Dneprovo-Donetskoj vpadiny* [The hydrocarbon potential of the Devonian-Carboniferous deposits of the Dnieper-Donetsk

depression]. *Georesoursy*, 2017, special issue, part 2, pp. 240–248. (In Russ.).

8. Alsharhan A. Petroleum geology and potential hydrocarbon plays in the Gulf of Suez rift basin, Egypt. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 2003, No. 87, pp. 143–180.

9. Pitman J.K., Schenk C.J., Brownfield M.E., et al. Assessment of undiscovered conventional oil and gas resources of the Arabian Peninsula and Zagros Fold Belt. *U.S. Geological Survey Fact Sheet*, 2012, No. 3115, 4 p.

10. Bocker J.J. Petroleum system and thermal history of the Upper Rhine Graben. Implications from organic geochemical analyses, oil-source rock correlations and numerical modeling: Doktors der Naturwissenschaften genehmigte Dissertation. – Available at: [https://pdfs.semanticscholar.org/152e/fd771f16465eeb858847579911c2b69f6c03.pdf?\\_ga=2.231822806.871487384.1586774698-167571238.1586774698](https://pdfs.semanticscholar.org/152e/fd771f16465eeb858847579911c2b69f6c03.pdf?_ga=2.231822806.871487384.1586774698-167571238.1586774698).

11. Gautier D.L. Kimmeridgian shales total petroleum system of the North Sea Graben Province: *U.S. Geological Survey Bulletin*, 2005, 2204-C. 24 p.

12. Barry P., Lawson M., Meurer W.P., et al. Noble gases solubility models of hydrocarbon charge mechanism in the Sleipner Vest Gas Field. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 2016, 194.10.1016/j.gca.2016.08.021.

13. Syed Z.H., Farooqui M.Y., Rao P.H., et al. Petro-liferous Basins and shale gas – an unconventional hydrocarbon asset of India. *Geosciences*, 2013, No. 3(4), pp. 108–118.

14. Litak R.K., Barazangi M., Brew G., et al. Structure and Evolution of the Petroliferous Euphrates Graben System, Southeast Syria. *AAPG Bull.*, 1998, vol. 82, no. 6 (June), pp. 1173–1190.

15. Tarso Araripe P. Brasil Round 4: Reconcavo Basin. ANP, Block Definition Superintendency, Seminario Juridico / Fisical e Workshop Tecnico da Quarta Rodada de Licitacoes, 2003. – Available at: <https://docplayer.net/12727146-Brasil-round-4-reconcavo-basin.html>.

16. Brew G., Barazangi M., Al-Maleh A.K., Sawaf T. Tectonic and Geologic Evolution of Syria. *GeoArabia*, 2001, vol. 6, no. 4, pp. 573–616.

17. Chang H.K., Kowsmann R.O., Figueiredo A.M.F., Bender A.A. Tectonics and stratigraphy of the East Brazil Rift system: an overview. *Tectonophysics*, 1992, vol. 13, pp. 97–138.

18. Dezayes Ch., Lerouge C., Sanjuan B., et al. Toward a better understanding. *Proceedings World Geothermal Congress 2015*. Melbourne, Australia, 19–25 April. Available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/52722724.pdf>.

© Ф. А. Мигурский, Е. М. Якупова, 2020



## УТОЧНЕНИЕ ГРАНИЦ РАСПРОСТРАНЕНИЯ БАЖЕНОВСКОЙ И МАРЬЯНОВСКОЙ СВИТ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО ПОДХОДА К АНАЛИЗУ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ (НА ПРИМЕРЕ БАКЧАРСКОЙ МЕЗОВПАДИНЫ)

Е. Ю. Лаптева, Н. В. Щигорева

Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия

Выполнен комплексный анализ данных сейсморазведочных работ, каротажных кривых, геохимических и литологических исследований в интервале отложений баженовской и марьяновской свит. На примере зональных работ подтверждены региональные зависимости содержания  $C_{org}$  от значений кажущегося сопротивления. Существенно уточнена фациальная граница перехода отложений баженовской свиты в марьяновскую.

**Ключевые слова:** юго-восток Томской области, баженовская и марьяновская свиты, динамический и кинематический анализы, органический углерод, генерационный потенциал.

## REFINING THE BOUNDARIES OF THE DISTRIBUTION OF THE BAZHENOVSKAYA AND MARYANOVSKAYA FORMATIONS ON THE BASIS OF AN INTEGRATED APPROACH TO THE ANALYSIS OF THE GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL DATA (ON THE EXAMPLE OF THE BAKCHARIAN MEZODEPRESSION)

E. Yu. Lapteva, N. V. Shchigoreva

Siberian Research Institut of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia

A comprehensive analysis of seismic data, logs, geochemical and lithological studies in the sediment interval of the Bazhenovskaya and Maryanovskaya suites was performed. On the example of zonal work, regional dependences of the  $C_{org}$  content on the values of apparent resistance are confirmed. The facies boundary of the transition of sediments of the Bazhenovskaya Formation to the Marianovskaya Formation has been substantially refined.

**Keywords:** southeast of the Tomsk region, Bazhenovskaya and Maryanovskaya formations, dynamic and kinematic analyzes, organic carbon, generation potential.

DOI 10.20403/2078-0575-2020-2-47-54

На территории Западно-Сибирской плиты основной нефтематеринской толщей большинство исследователей признают отложения баженовской свиты, аномально обогащенные органическим веществом (ОВ), которое выступает в качестве одного из породообразующих компонентов и определяет высокий генерационный потенциал свиты.

Район исследования расположен на юго-востоке Томской области в Омско-Чулымской структурно-фациальной области (СФО) на границе Сильгинского и Ажарминского структурно-фациальных районов (СФР) в зоне фациального замещения битуминозных отложений баженовской свиты марьяновскими глинами. Далее в восточном и северо-восточном направлениях последние переходят в песчано-глинисто-алевролитистые породы максимоярской свиты (Чулымо-Тасеевский СФР). В юго-восточном направлении район исследования граничит с Тебисским СФР, где развиты отложения марьяновской свиты, замещающиеся далее в Баганском СФР песчаниками, глинами и алевролитами баганской свиты [6, 7].

Напомним, что отложения баженовской свиты соответствуют одноименному стратиграфическому горизонту волжского яруса и перекрывают породы

георгиевской свиты (георгиевский стратиграфический горизонт, киммериджский ярус). Марьяновская свита включает отложения баженовского и георгиевского стратиграфического горизонтов, официально на подсвиты не делится [6]. В настоящей работе георгиевский и баженовский горизонты рассматриваются как единый стратиграфический уровень.

В тектоническом отношении площадь исследования охватывает Бакчарскую мезовпадину и сопредельные территории.

Отложения баженовской свиты в районе исследования выделены в скважинах Болтной, Верхнекомбарской, Сомовской, Олимпийской и Горело-Ярской площадей; марьяновской – Парбигской, Кенгской, Западно-Крыловской, Крыловской, Тигинской, Западно-Колпашевской, Колпашевской, Овражной и Поскоевской. Таким образом, по скважинным данным установлено, что осадки баженовской свиты формировались на западе и северо-западе изучаемой территории, тогда как на подавляющей ее части отлагались породы марьяновской свиты.

В юрском интервале разреза на площади исследования в зоне развития отложений баженов-

ской свиты открыты Болтное (пласт Ю<sub>1</sub>) и Сатпаевское (пласт Ю<sub>4</sub>) нефтяные месторождения; несколько далее – Пинжинское, Селимхановское, Ондатровое и Рыбальное, залежи в которых сосредоточены в васюганском горизонте (пласт Ю<sub>1</sub>).

На площади распространения пород марьяновской свиты выявлено только одно нефтяное месторождение – Парбигское с залежью в пласте Ю<sub>15</sub> надояхского горизонта (нижняя юра). Нефтематеринской толщей для этого уровня, как показывают результаты бассейнового моделирования, являются обогащенные ОВ глины тогурской свиты. На Колпашевской площади в горизонте Ю<sub>1</sub> отмечены нефтепроявления в скважинах 2 и 7 (пленка нефти). Итак, вопрос пространственного соотношения баженновской и марьяновской свит с различным генерационным потенциалом напрямую влияет на оценку нефтегазоносности территории. Соответственно, актуально уточнение границы фациального замещения отложений баженновской и георгиевской свит на марьяновские.

### Анализ содержания $C_{орг}$ в скважинах

Различный генерационный потенциал свит определяется в первую очередь концентрацией в них ОВ и его качеством. Среднее содержание ОВ в породах баженновской свиты 5–12 %, марьяновской 1–3 % [1]. В юго-восточных районах Западной Сибири наблюдаются устойчивые связи между содержанием ОВ и значениями КС и ГК [3, 4].

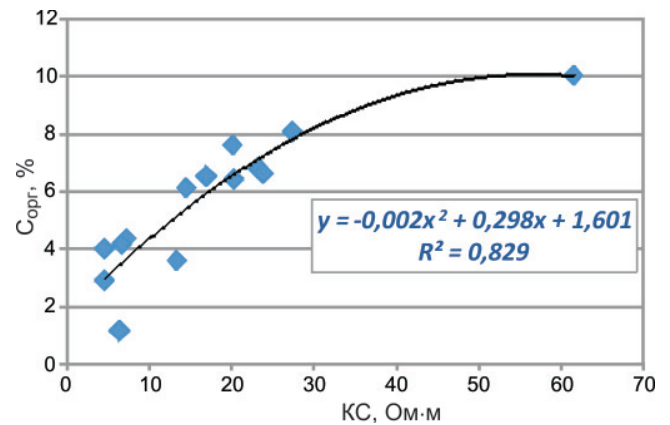


Рис. 1. Зависимость содержания  $C_{орг}$  от средних значений КС в объеме баженновского и георгиевского горизонтов

По материалам 60 глубоких скважин, расположенных на территории исследования, установлено, что концентрация  $C_{орг}$  в скважинах Армической, Болтной, Верхнекомбарской, Горело-Ярской, Новосомовской, Казанской, Олимпийской площадей в отложениях баженновской свиты составляет 5,0–10,0 %, георгиевской – 2–4 %. В скважинах Западно-Крыловской, Парбигской, Колпашевской площадей в верхах марьяновской свиты (волжский ярус) содержится около 3,0 %  $C_{орг}$ , в нижней части разреза (киммериджский ярус) – 1,2–1,4 %. Выявлена прямая зависимость с высоким коэффициентом корреляции содержания  $C_{орг}$  от значений кажущегося сопротивления (КС) в интервале баженновского

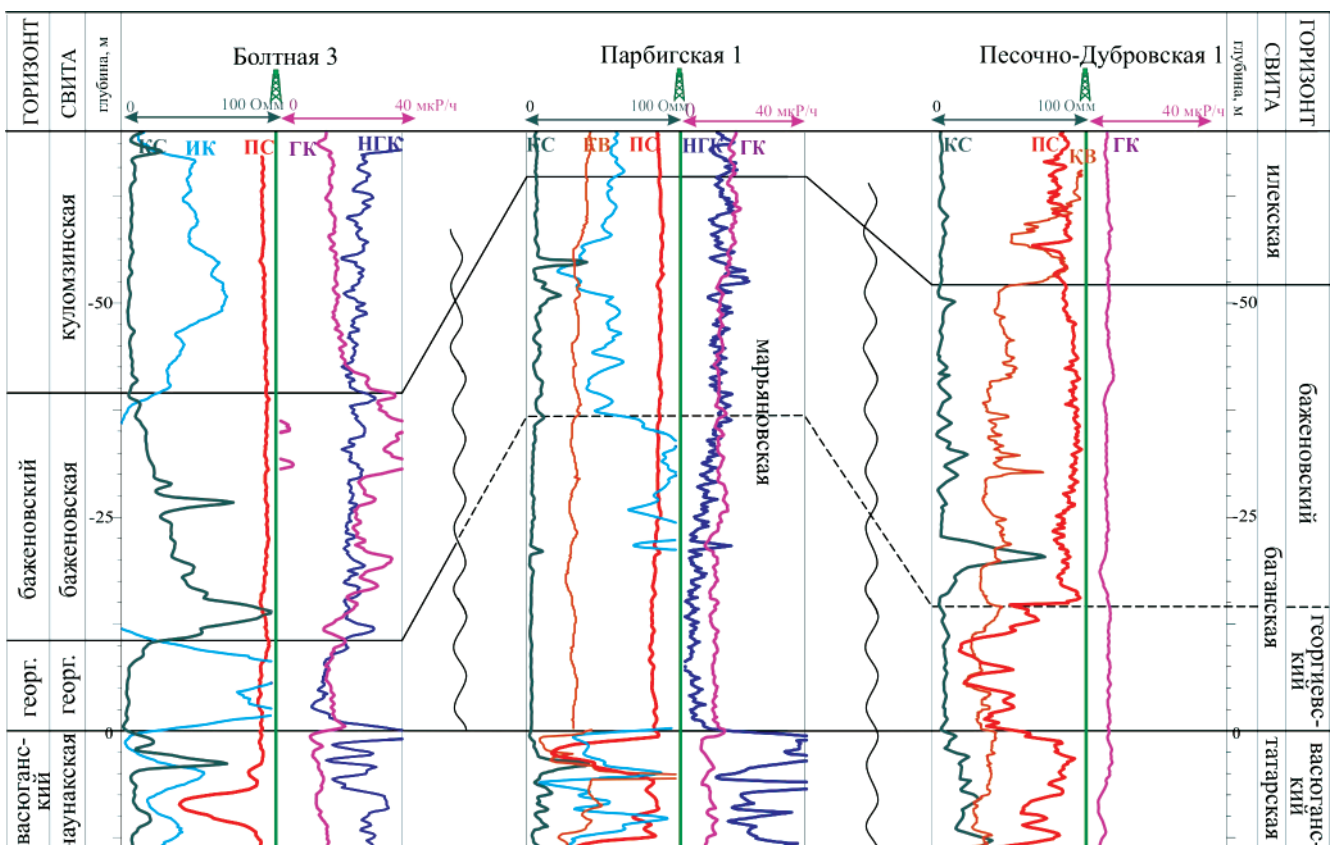


Рис. 2. Изменение характера записи кривых ГИС в интервалах баженновского и георгиевского горизонтов для отложений баженновской, марьяновской и баганской свит



и георгиевского горизонтов (рис. 1). Аналогичные зависимости с близкими коэффициентами корреляции получены и при рассмотрении этих горизонтов раздельно.

Отложения баженовской и марьяновской свит заметно различаются на диаграммах кажущегося электрического сопротивления (КС) и гамма-каротажа: для баженовской свиты КС – до 100–200, в единичных случаях до 300 Ом·м; для верхов марьяновской свиты (аналог баженовского горизонта) – до 50 Ом·м. Удельное сопротивление в низах марьяновской свиты (георгиевский горизонт) и в георгиевской свите примерно одинаково – в среднем 2–5 Ом·м. Значения ГК в породах баженовской свиты достигают 40–50 мкР/ч, марьяновской – 20–25 мкР/ч (рис. 2).

Следовательно, по значениям КС в скважинах можно с высокой долей вероятности прогнозировать содержание в них  $C_{орг}$  и, соответственно, оценивать генерационный потенциал отложений.

**Кинематический анализ данных сейсморазведки (использование данных о палеорельефе)**

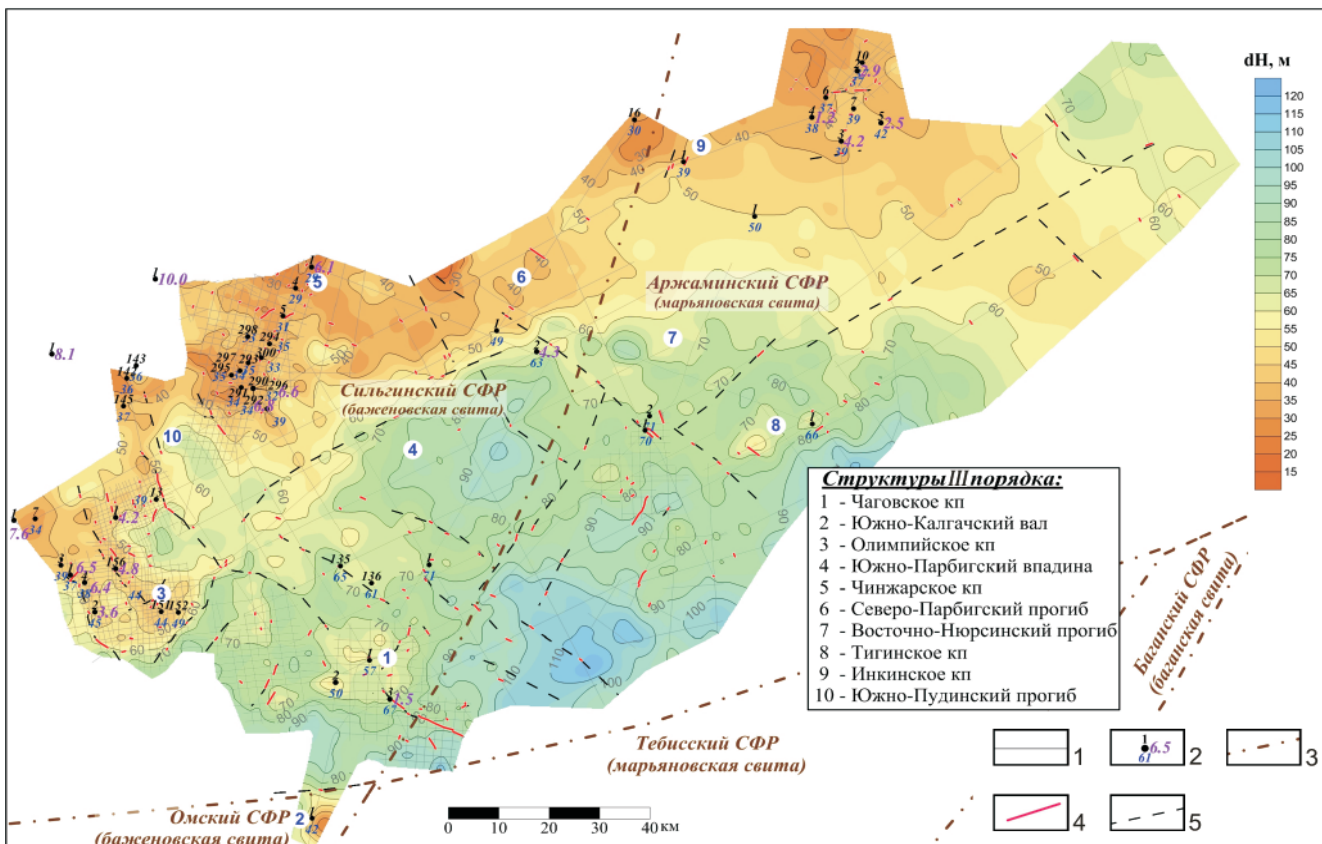
Для уточнения границы фациального замещения отложений баженовской свиты на марьяновские анализировались толщины киммеридж-волжских осадков. Установлено, что минимальными значениями характеризуются контрастные куполовидные

поднятия (к. п.), осложняющие структуры первого порядка, что говорит о высокой скорости их роста в позднеюрское время (рис. 3). На Чинжарском (Пудинский мегавал) и Инкинском (Парабельский мегавал) к. п. суммарные мощности баженовского и георгиевского горизонтов составляют 30–40 м, на Олимпийском (Казанский выступ) наблюдается их незначительное увеличение – до 40–50 м. При этом на Чинжарском и Олимпийском к. п. развиты отложения баженовской и георгиевской свит, а на Инкинском, находящемся в аналогичных тектонических условиях, – марьяновской свиты (некоторые исследователи выделяют здесь отложения переходного типа).

В скважинах Олимпийского к. п. значения КС 70–100 Ом·м, ГК до 40 мкР/ч  $C_{орг}$  6–7,5 %; Чинжарского – до 150 Ом·м, 20–30, реже до 40–50 мкР/ч, около 7 %; Инкинского – до 30 Ом·м (обычно около 20 Ом·м), до 27 мкР/ч, примерно 2,5 % соответственно. Следовательно, генерационный потенциал пород, слагающих последнее поднятие, невысок.

Таким образом, опираясь только на кинематический анализ, единой изопакиты, разделяющей территорию изучения на области с развитием баженовской и марьяновской свит, установить не удалось.

Палеотектонический анализ показал, что северо-западный и северный районы исследования



**Рис. 3.** Карта суммарных толщин баженовского и георгиевского горизонтов по данным сейсморазведки и ГИС 1 – сейсмические профили МОГТ 2D; 2 – скважины (в числителе номер скважины, в знаменателе – мощность, справа – среднее содержание  $C_{орг}$ ); 3 – границы СФР в соответствии с [6]; тектонические нарушения, выделенные по результатам работ: 4 – сейсморазведочных, 5 – региональных

в целом испытывали рост структур; центральный и юго-восточный интенсивно погружались с образованием крупной палеодепрессии, раскрывающейся в юго-восточном направлении, в пределах которой происходило накопление отложений марьяновской свиты. Максимальная толщина в скважинах составляет 79 м (Парбигская скв. 3). Мощность отложений согласно структурным построениям в центре палеодепрессии, не разбуренной скважинами, достигает 110 м. Повышение толщин наблюдается также и в северо-восточном направлении в сторону Восточно-Пайдугинского мегапрогиба.

Толщины всего киммеридж-волжского интервала разреза увеличиваются в основном за счет изменения мощности отложений георгиевского горизонта, при практически постоянной мощности баженновского (см. рис. 2). На долю отложений киммериджского яруса в местах развития баженновской свиты приходится 26 % общей мощности киммеридж-волжских отложений, тогда как на площади, где развиты породы марьяновской свиты, – 47 %.

Далее в юго-восточном направлении в скважинах Песочно-Дубровской, Татьяновской, Пихтовской площадей (Баганский СФР), расположенных на периферии Западно-Сибирской плиты (ЗСП), мощность киммеридж-волжских отложений начинает сокращаться до 40–52 м, причем происходит это в первую очередь также за счет изменения толщин георгиевского горизонта. В этом же направлении повышается и степень опесчанивания всего киммеридж-волжского интервала разреза за счет привноса терригенного материала с краевого обрамления ЗСП. По форме кривой ПС отложения диагностируются как фации головных частей разрывных течений [5].

### Особенности фациальных обстановок

В целом на территории юго-востока Западной Сибири существует обратная корреляционная связь между содержанием  $S_{org}$  и мощностью киммеридж-волжских отложений. Доля органического углерода заметно уменьшается по направлению от центральных областей к востоку и северу при переходе отложений баженновской свиты в марьяновские глины и глины и аргиллиты яновстанской свиты в Тазо-Хетском СФР с увеличением мощности последних стратонах [2]. Аналогичная зависимость с коэффициентом корреляции 0,77 установлена и на площади исследования. По-видимому, это связано со сменой морских обстановок формирования образований баженновской свиты с сапропелевым ОВ на более мелководные с накоплением осадков марьяновской свиты, содержащих в том числе и гумусовое ОВ.

По данным изотопного исследования ОВ, выполненного в Томском отделении СНИИГиМС под руководством Н. Л. Падалко, установлено, что в скважинах Болтных 1, 4, Верхнекомбарской 296, Новосомовской 1, Олимпийской 156 ОВ из отложе-

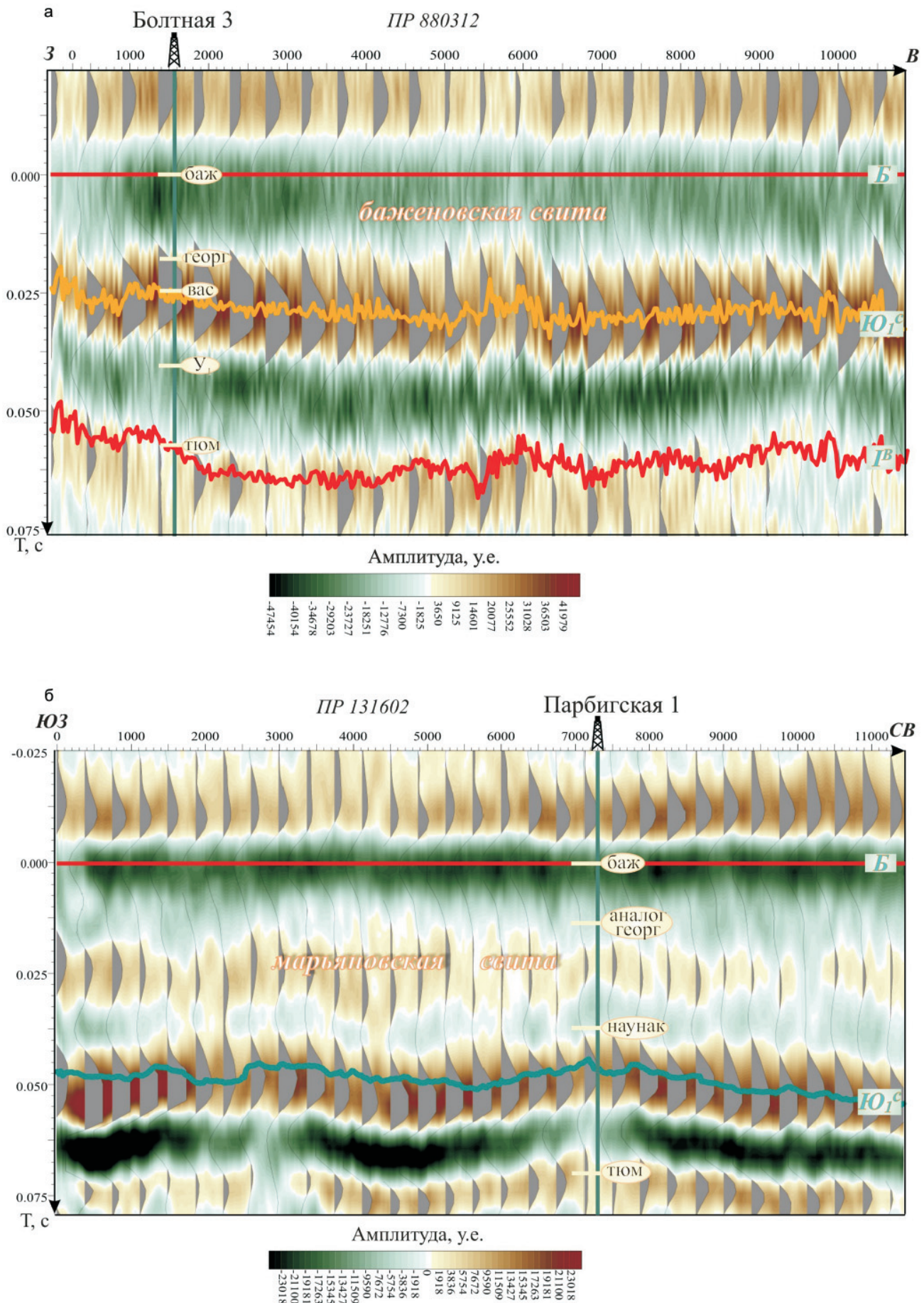
ний баженновской и георгиевской свит относится к сапропелевому типу. В Болтной скв. 2, расположенной ближе всего к фациальной границе смены свит, отмечено присутствие гумусовой составляющей; здесь ОВ соответствует смешанному типу с преобладанием сапропелевой органики. Карбонатные составляющие пород по изотопным данным свидетельствуют, что осадконакопление в скважинах Болтных 1, 2, 4, Новосомовской 1, Олимпийской 156 происходило в окислительно-восстановительных морских условиях. В Болтной скв. 4 по образцу из отложений георгиевской свиты определено, что осадки формировались из воды разной степени солености. Таким образом, характер изотопного состава ОВ и карбонатной составляющей пород указывает на накопление осадков баженновской и георгиевской свит в условиях моря и его прибрежной зоны (присутствие гумусовой составляющей и разная степень солености вод). Отложения марьяновской свиты в районе изучения изотопными исследованиями ОВ, к сожалению, не охарактеризованы.

### Динамический анализ данных сейсморазведки

При визуальном анализе сейсмических разрезов МОГТ-2D хорошо заметна латеральная и вертикальная изменчивость характера волнового поля в зависимости от состава и мощности киммеридж-волжских отложений. В областях, занятых породами баженновской свиты, в кровле одноименного стратиграфического горизонта (ОГ Б) формируется отрицательный экстремум сейсмической записи; следующий положительный экстремум соответствует кровле васюганского горизонта (ОГ Ю<sub>1</sub><sup>с</sup>). В интервале развития отложений марьяновской свиты временная мощность между сейсмическими горизонтами увеличивается, на разрезах хорошо заметно появление мало- и среднеамплитудных положительных отражений разной степени протяженности (рис. 4).

Характер изменения сейсмической записи, его усложнение в зависимости от фациальной принадлежности отложений в пределах одного сейсмического профиля показан на рис. 5. Видно, что в юго-восточном направлении происходит увеличение временной мощности между ОГ Б и Ю<sub>1</sub><sup>с</sup> с появлением дополнительных положительных отражений, амплитуда которых возрастает. Изменение характеристик волнового поля происходит постепенно, что позволяет в пределах развития отложений марьяновской свиты выделить переходную зону, характеризующуюся на сейсмических разрезах увеличением временной мощности при слабом повышении значений амплитуд.

На карте средних амплитуд (окно ОГ Б –5 мс, Ю<sub>1</sub><sup>с</sup> –10 мс) наблюдается повышение значений от –25000 до –5000 усл. ед. в юго-восточном направлении. Такая зональность соответствует погружению палеоструктурного плана в сторону киммеридж-волжской палеодепрессии и замещению отложе-



**Рис. 4.** Фрагменты временных разрезов, отражающие характер сейсмической записи в интервалах: базеновской и георгиевской свит (а), марьяновской свиты (б)

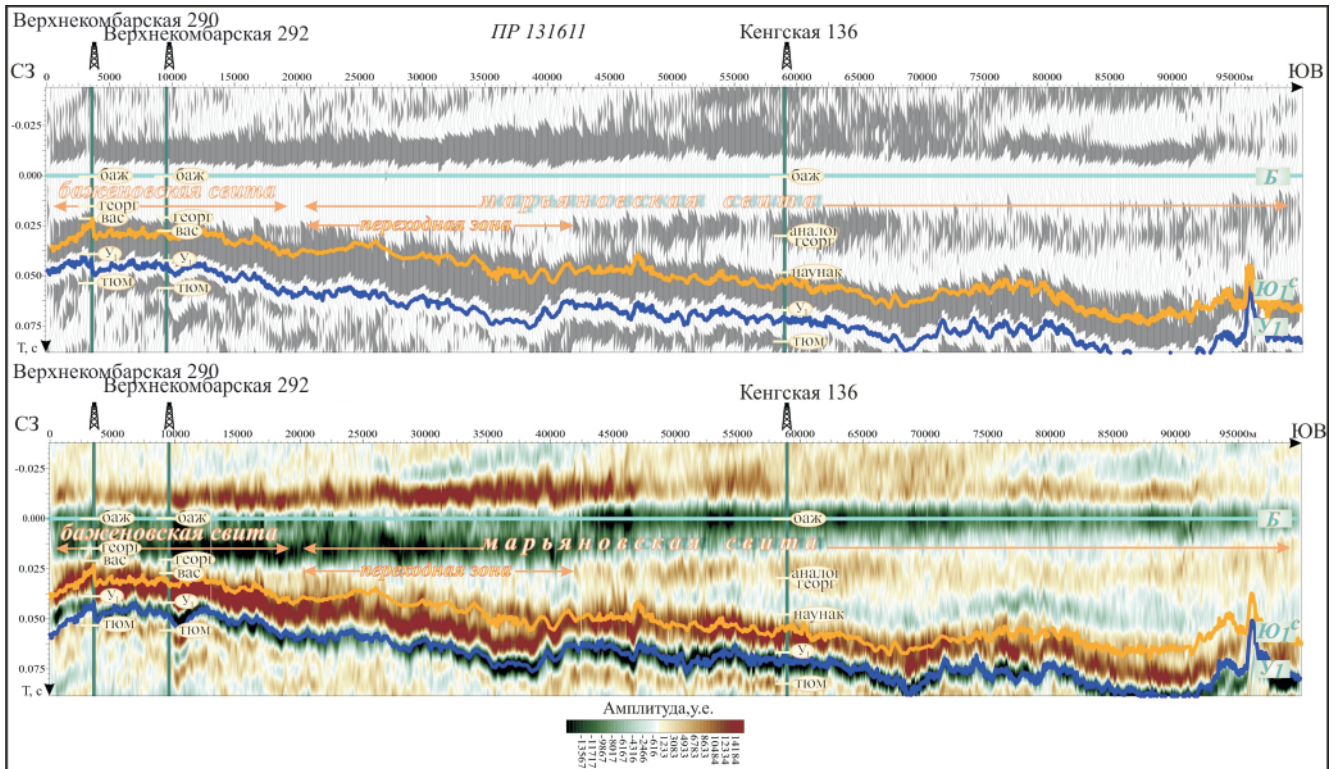


Рис. 5. Изменение характера сейсмической записи при фациальном замещении отложений баженовской свиты породами марьяновской

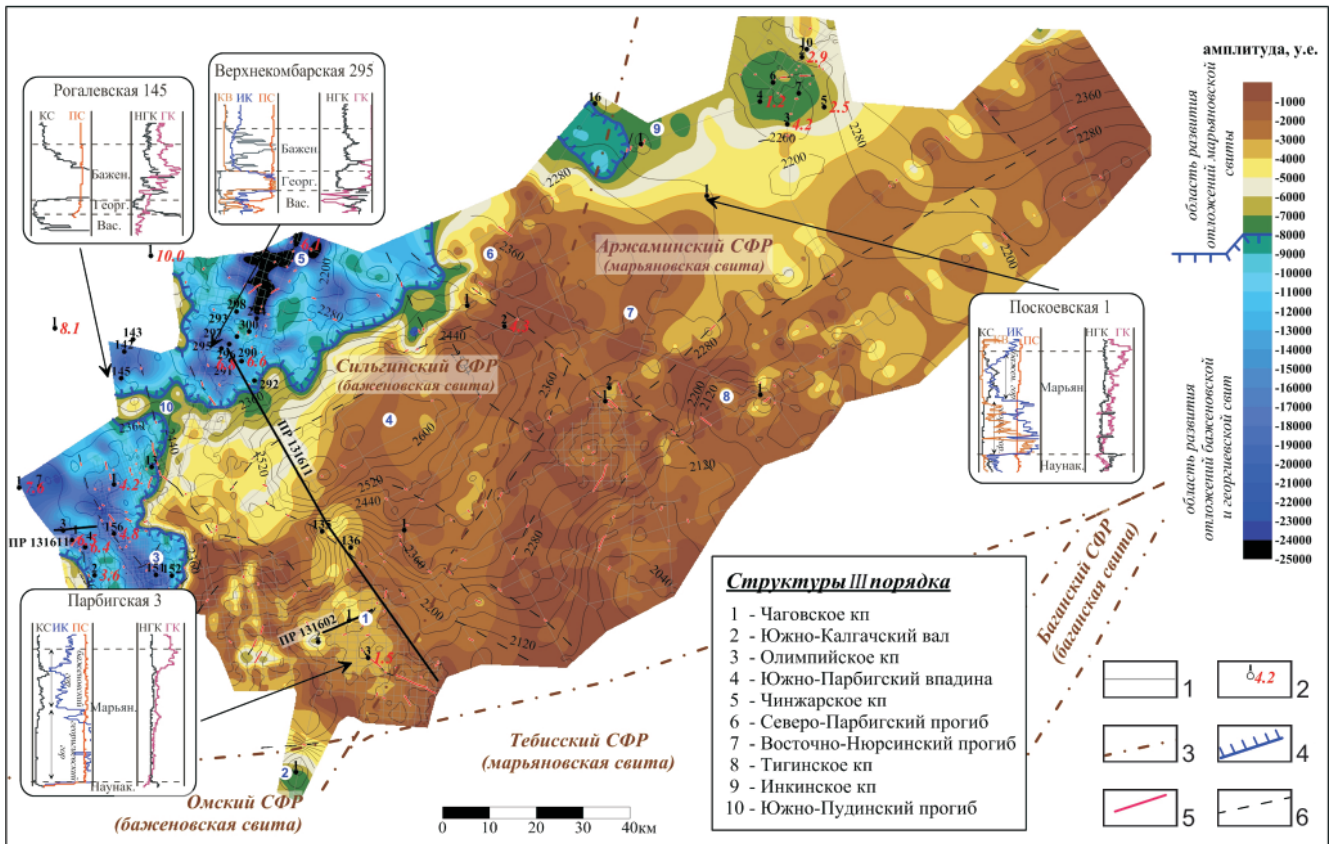


Рис. 6. Отображение строения отложений баженовского горизонта на карте амплитуд сейсмической записи  
 1 – сейсмические профили МОГТ-2D; 2 – скважины (в числителе номер скважины, справа среднее содержание  $S_{орг}$ ); 3 – границы структурно-фациальных районов в соответствии с [6]; 4 – уточненная граница распространения баженовской свиты; тектонические нарушения, выделенные по результатам работ: 5 – сейсморазведочных, 6 – региональных

ний баженовской свиты марьяновскими глинами. Границей разделения фациальных зон с учетом всех скважинных данных выбрана условная изолиния  $-8000$  усл. ед. (рис. 6). Предлагаемая граница существенно смещена в северо-западном направлении относительно официально принятой границы распространения отложений баженовской свиты (в соответствии с [6]).

Скважины Колпашевской площади, расположенные на Инкинском к.п. и представленные, по мнению ряда исследователей, отложениями переходного типа, находятся в области средних значений амплитуд (от  $-8000$  до  $-5000$  усл. ед.). Поднятие по динамическим характеристикам резко отличается от Чинжарского и Олимпийского, в которых значения амплитуд ниже  $-10000$  усл. ед. Из-за низкого содержания  $S_{орг}$  в скважинах Инкинского к. п. и, соответственно, низкого генерационного потенциала киммеридж-волжских отложений на этой территории картирование переходной области как самостоятельного объекта авторы считают нецелесообразным.

Анализ амплитуд вдоль ОГ Б и в небольших временных окнах, характеризующих верхи баженовского стратиграфического горизонта, не выявил каких-либо значимых изменений по латерали. Следовательно, при фациальном переходе от баженовской свиты в марьяновскую основные изменения в волновом поле приходятся на временной интервал, соответствующий георгиевскому стратиграфическому горизонту и низам баженовского, что подтверждает закономерность, установленную по скважинным данным.

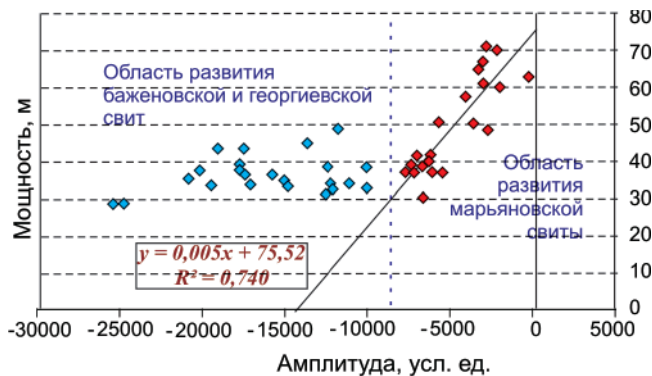
Кроме того, замечено, что суммарная мощность баженовской и георгиевской свит не зависит от значений средних амплитуд, а для отложений марьяновской свиты такая закономерность с высоким коэффициентом корреляции выявлена (рис. 7).

Установленная зависимость позволяет прогнозировать толщину отложений марьяновской свиты по динамическим характеристикам сейсмических разрезов.

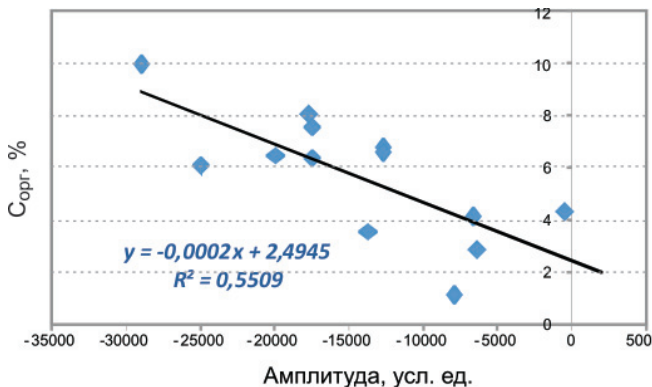
Выявлена обратная связь содержания органического углерода и значений амплитуд сейсмической записи в соответствующем окне (рис. 8). Следовательно, по результатам динамического анализа можно делать выводы о нефтегазогенерационном потенциале пород баженовского горизонта.

**Выводы**

В интервале баженовского и георгиевского горизонтов найдены зависимости с высокими коэффициентами корреляции содержания  $S_{орг}$  от значений КС, амплитуд сейсмической записи и, в меньшей степени, от толщин киммеридж-волжских отложений. Указанные зависимости позволяют на качественном уровне оценивать генерационный потенциал отложений, слагающих территорию исследования, даже не имея представительной выборки обучения по аналитическим исследованиям.



**Рис. 7.** Зависимость толщин отложений баженовского и георгиевского горизонтов от средних значений амплитуд в окне ОГ Б – 5мс – ОГ Ю<sub>1</sub><sup>с</sup> – 10 мс



**Рис. 8.** Зависимость содержания  $S_{орг}$  от средних амплитуд

Показано, что увеличение толщин киммеридж-волжского интервала разреза происходит в основном за счет изменения мощности георгиевского горизонта, при этом изменяются и динамические атрибуты сейсмической записи.

На основе комплексного подхода, включающего кинематический и динамический анализы, данные ГИС и аналитические геохимические исследования в скважинах, проведено стратиграфическое районирование отложений георгиевского и баженовского горизонтов. В результате фациальная граница замещения битуминозных пород баженовской свиты марьяновскими глинами существенно уточнена: смещена в северо-западном направлении, что снижает нефтеперспективность киммеридж-волжских отложений Бакчарской мезовпадины.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Брадучан Ю. В., Гурари Ф. Г., Захаров А. В. Баженовский горизонт Западной Сибири (стратиграфия, палеогеография, экосистема, нефтеносность). – Новосибирск: Наука, 1986. – 216 с.
2. Девятков В. П., Сапьяник В. В., Шиганова О. В. Ресурсный потенциал баженовского нефтеносного комплекса на юго-востоке Западной Сибири // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2018 – № 2. – С. 18–22.
3. Конторович В. А. Генерационный потенциал волжских отложений в юго-восточных районах За-



падной Сибири // Геология нефти и газа. – 2001. – № 1. – С. 26–32.

4. **Конторович В. А., Калинина Л. М.** Модель строения и генерационный потенциал волжских отложений в зоне сочленения Каймысовского свода и Нюрольской мегавпадины // Геология нефти и газа. – 2009. – № 1. – С. 34–44.

5. **Муромцев В. С.** Электрометрическая геология песчаных тел – литологических ловушек нефти и газа. – Л.: Недра, 1984. – 260 с.

6. **Решение VI Межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири (Новосибирск, 2003).** Региональные стратиграфические схемы триасовых и юрских отложений Западной Сибири / гл. ред. Ф. Г. Гурари. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2004. – 113 с.

7. **Стратиграфический словарь мезозойских и кайнозойских отложений Западно-Сибирской низменности / под ред. Н. Н. Ростовцева.** – Л.: Недра, 1978. – 183 с.

#### REFERENCES

1. Braduchan Yu.V., Gurari F.G., Zakharov A.V. *Bazhenovskiy gorizont Zapadnoy Sibiri (stratigrafiya, paleogeografiya, ekosistema, neftenosnost)* [The Bazhenovsky horizon of Western Siberia (stratigraphy, paleogeography, ecosystem, oil content)]. Novosibirsk. Nauka Publ., 1986. 216 p. (In Russ.).

2. Devyatov V.P., Sapyanik V.V., Shiganova O.V. [The resource potential of the Bazhenov oil complex in the southeast of Western Siberia]. *Mineralnyye resursy Rossii – Mineral resources of Russia. Economics and management*, 2018, no. 2, pp. 18–22. (In Russ.).

3. Kontorovich V. A. [Generation potential of the Volzhsky deposits in the southeastern regions of Western Siberia]. *Geologiya nefi i gaza – Oil and gas geology*, 2001, no. 1, pp. 26–32. (In Russ.).

4. Kontorovich V.A., Kalinina L.M. [The model of the structure and the generation potential of the Volzhsky deposits in the junction zone of the Kaymysovsky arch and the Nyurolskaya mega-depression]. *Geologiya nefi i gaza – Oil and gas geology*, 2009, no. 1, pp. 34–44. (In Russ.).

5. Muromtsev V.S. *Elektrometriceskaya geologiya peschanykh tel – litologicheskikh lovushek nefi i gaza* [Electrometric geology of sand bodies – lithological traps of oil and gas]. Leningrad, Nedra Publ., 1984. 260 p. (In Russ.).

6. *Resheniye VI Mezhvedomstvennogo stratigraficheskogo soveshchaniya po rassmotreniyu i prinyatiyu utochnennykh stratigraficheskikh skhem mezozoyskikh otlozheniy Zapadnoy Sibiri, Novosibirsk, 2003. Regionalnyye stratigraficheskiye skhemy triasovykh i yurskikh otlozheniy Zapadnoy Sibiri, Novosibirsk, 2003.* [Decision of the VI Interdepartmental Stratigraphic Meeting on the review and adoption of revised stratigraphic schemes of Mesozoic deposits of Western Siberia, Novosibirsk, 2003. Regional stratigraphic schemes of Triassic and Jurassic deposits of Western Siberia, Novosibirsk, 2003]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 2004. 113 p. (In Russ.).

7. *Stratigraficheskiy slovar mezozoyskikh i kaynozoyskikh otlozheniy Zapadno-Sibirskoy nizmennosti* [Stratigraphic Dictionary of the Mesozoic and Cenozoic sediments of the West Siberian Lowland. Ed. N.N. Rostovtsev]. Leningrad, Nedra Publ., 1978. 183 p. (In Russ.).

© Е. Ю. Лаптева, Н. В. Щигорева, 2020



## РАЗЛОЖЕНИЕ И ФИЛЬТРАЦИЯ ПРОНИ

Г. М. Митрофанов<sup>1,2,3</sup>, С. Н. Смолин<sup>1</sup>, Ю. А. Орлов<sup>1</sup>, В. Н. Беспечный<sup>4</sup><sup>1</sup>Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, <sup>2</sup>Новосибирский государственный университет, <sup>3</sup>Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия; <sup>4</sup>Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия

Разложение Прони отличается от хорошо известного разложения Фурье тем, что использует затухающие гармоники. В настоящее время оно успешно применяется во многих областях науки и техники при исследовании сигналов, обладающих затуханием, а также может представлять интерес и при анализе геофизических данных. На его основе создан метод Прони-фильтрации, способный выделять затухающие гармонические компоненты из регистрируемого сейсмического волнового поля, что иллюстрируется модельными импульсами Берлаге. Компоненты, выделенные с помощью фильтрации Прони и представленные в виде образов сейсмических временных разрезов, могут служить основой при анализе частотно-зависимых эффектов волнового поля. Это обеспечивает возможность прямого качественного прогноза целевых объектов при поиске и разведке залежей углеводородов. Такая возможность продемонстрирована на материале, полученном с помощью физического моделирования.

**Ключевые слова:** метод Прони, отбор затухающих гармоник, фильтрация, частотно-зависимый отклик среды, сейсмическое волновое поле, физическое моделирование.

## Prony decomposition and filtering

G. M. Mitrofanov<sup>1,2,3</sup>, S. N. Smolin<sup>1</sup>, Yu. A. Orlov<sup>1</sup>, V. N. Bespechnyy<sup>4</sup><sup>1</sup>Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, <sup>2</sup>Novosibirsk State University, <sup>3</sup>Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia; <sup>4</sup>Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia

The Prony decomposition differs from the well-known Fourier decomposition in that it uses damped harmonics. Currently, it is successfully used in many fields of science and technology in the study of signals with attenuation. This decomposition may be of interest in the analysis of geophysical data. So, for example, some transformations can be created on its basis for studying frequency-dependent effects in the response of a medium. One of these transformations is the Prony filtering, which provides the separation of damped harmonic components from the recorded seismic wave field, which is shown in the work on the example of several experiments with Berlage model impulses. Components extracted using Prony filtering and presented in the form of seismic time section images can serve as the basis for the analysis of frequency-dependent effects of the wave field, which allows direct qualitative prediction of target objects in the search and exploration of hydrocarbon deposits. In this work, such an opportunity is demonstrated on the results of physical modeling.

**Keywords:** Prony method, selection of damped harmonics, filtering, frequency-dependent response of a medium, seismic wave field, physical modeling.

DOI 10.20403/2078-0575-2020-2-55-67

В различных международных журналах опубликованы сотни научных работ, связанных со многими аспектами разложения Прони, или метода Прони. Они касаются как теоретических, так и прикладных вопросов. Исходное разложение Прони было предложено французским математиком и инженером Гаспаром Рише (бароном де Прони) более двух столетий назад [14]. В отличие от другого метода анализа гармонических составляющих (разложения Фурье, предложенного на 12 лет позже в виде доклада перед Французской академией и опубликованного с еще большей задержкой [12]) разложение Прони обеспечивало представление данных в виде суммы комплексных экспонент. Экспоненты характеризовались четырьмя параметрами (амплитудой, затуханием, частотой и фазой), определение которых было достаточно трудоемким [6]. Вероятно, эта сложность ограничила его применение и послужила причиной забвения. Интерес к использованию гармонического анализа на основе Прони разложения возобновился в 1960-е гг., когда выяснилось множе-

ство ограничений разложения Фурье. Одновременно происходило развитие вычислительных методов и вычислительной техники. Все вместе создавало возможность и благоприятные условия для применения более сложных методов гармонического анализа, чем разложение Фурье, включая и нелинейные, к которым относится метод Прони.

Разложение Прони начали активно применять при изучении экспоненциально изменяющихся гармонических колебаний в разных областях науки и техники. В сейсмике его использование инициировалось вследствие понимания важности изучения процессов затухания сейсмических колебаний, распространяющихся в геологической среде. Работа В. П. Ковалева и Г. Ф. Телепнева [3] была, вероятно, одной из первых в мире, где рассматриваемое разложение успешно применялось к анализу данных сейсмического каротажа скважин. В работах Ю. И. Колесникова и А. Ю. Игнатов [4, 5] по результатам физического моделирования изучалось отличие оценок поглощения,



получаемого по первым вступлениям головных продольных волн при акустическом каротаже, от значений поглощения, которым обладают объемные  $P$ -волны. Наш первый опыт применения разложения Прони относился к задаче определения областей аномально высокого пластового давления (АВПД) по вариациям параметра затухания отраженных сейсмических волн [9, 10]. Задача была связана с исследованиями, проводимыми норвежской нефтяной компанией Norsk Hydro. Дальнейшее практическое применение разложения Прони показало, что выполнение частотно-зависимого динамического анализа волнового поля в узких полосах частот дает возможность осуществлять прямой качественный прогноз залежей флюидов и определять их тип.

Несмотря на успешные результаты, полезность использования этой процедуры долго не находила понимания со стороны специалистов из нефтяной отрасли. Основываясь на личном опыте, укажем несколько причин, которые затрудняли (да и сейчас затрудняют) широкое распространение метода в практических исследованиях.

Во-первых, оно отличается от стандартного спектрального анализа, основанного на разложении Фурье, как количеством параметров, так и их распределением в частотной области. В частности, отсутствует равномерность покрытия частотной области, которая типична для традиционного спектрального анализа. Значения параметров, в том числе частоты, могут быть сгруппированы произвольным образом. Такая особенность в получаемых значениях связана с параметрическим описанием сигналов, что не всегда воспринимается специалистами-практиками.

Во-вторых, часто наблюдается недопонимание важности частотно-зависимого анализа волнового поля с целью изучения различий в реакции целевых объектов поиска и разведки на разные частоты. Только в последнее время частотно-зависимая локализация все более широко применяется в связи с распространением методов современного спектрального анализа, и в частности используемого вейвлет-преобразования [1, 11].

В-третьих, в некоторых нефтяных компаниях отсутствовало понимание значимости изучения параметра затухания. Кроме того, в их арсенале уже имелось несколько десятков параметров, получаемых по результатам сейсмических исследований и используемых на различных этапах интерпретации. Поэтому необходимо было убедить их в полезности и эффективности использования этого параметра при решении практических задач.

В-четвертых, на начальной стадии развития метода отсутствовала наглядность представления результатов разложения Прони, что существенно усложняло увязку частотно-зависимых эффектов волнового поля с целевыми объектами поиска и разведки.

Последняя из указанных причин, возможно, была основной для восприятия и оценки степени полезности предлагаемого метода. Осознание этого и работа над способами восприятия результатов разложения Прони привело в дальнейшем к созданию и развитию технологии Прони-фильтрации. Термин «фильтрация» здесь применялся по аналогии с общепринятой полосовой фильтрацией, когда отбор из значений спектра, полученного на основе разложения Фурье, позволяет представить образ трассы, содержащий только какую-либо часть из общего числа гармонических колебаний. Эта технология оказалась эффективным инструментом для анализа частотно-зависимых особенностей в сейсмическом отклике среды, которые могут быть проинтерпретированы в терминах коллекторских свойств целевых горизонтов и прогноза месторождений углеводородов.

К настоящему времени нами опубликовано более десятка работ по практическому использованию Прони-фильтрации, но метод все еще сложен для восприятия специалистами, которые, в частности, не понимают его основы. Поэтому в рамках предлагаемой статьи объясняется переход от преобразования Прони к соответствующей фильтрации.

### Спектр Прони и отбор части его значений

В работе Г. М. Митрофанова и В. И. Приймченко [7] дана общая схема разложения Прони и указано, что к настоящему времени разработаны разнообразные алгоритмы, позволяющие выполнить соответствующее разложение. Поэтому программная реализация самого разложения не представляет трудностей. Основной же вопрос, на который мы попытаемся дать ответ в этом разделе статьи, будет звучать так: «Что дает фильтрация Прони, основанная на отборе (селекции) части параметров спектра Прони?»

Итак, из дискретно представленной сейсмической трассы со значениями  $y(t_i)$  берем некоторый интервал длительности  $T$ , содержащий четное число временных отсчетов  $N$ , т. е.  $t_i$  изменяются от  $t_1$  до  $t_N$ . Затем, по набору значений  $\{y(t_i); i = 1, \dots, N\}$  выполняется разложение Прони. Тогда для  $y(t_i)$ , относящихся к выделенному интервалу, имеем следующую формулу:

$$y(t_i) \cong \sum_{k=1}^L A_k e^{\alpha_k (i-1)\Delta t} \cos(2\pi f_k (i-1)\Delta t + \theta_k), \quad (1)$$

где  $\Delta t$  – шаг дискретизации по времени;  $L$  – число компонент разложения;  $A$ ,  $\alpha$ ,  $f$ ,  $\theta$  – параметры разложения (амплитуда, затухание, частота, фаза соответственно);  $k$  – номер компоненты разложения.

В результате выполненного преобразования Прони переходим от временного представления участка трассы к его параметрическому описанию, задаваемому набором затухающих синусоид (или косинусоид). Формально эта процедура не отличается от перехода, который выполняется при расчете



обычных спектров с помощью разложения Фурье, когда вычисляются коэффициенты синусоид (или косинусоид), участвующих в разложении. Таким образом, по аналогии с классическим спектральным анализом можно ввести понятие спектра Прони, состоящего из значений параметров разложения. Тогда сам переход из временного представления в спектральное представление Прони представим как

$$y(t) \xrightarrow{P} \mathfrak{R}_{\tau, T}(M) = \{A_k, \alpha_k, f_k, \theta_k\}_{k=1}^{k=M}, \quad (2)$$

где  $\mathfrak{R}_{\tau, T}(M)$  – спектр, получаемый на основе разложения Прони по одному из существующих алгоритмов ( $M$  определяется числом комплексных экспонент, используемых в разложении Прони [6]);  $T$  и  $\tau$  – длительность скользящего временного интервала разложения Прони и его сдвиг по сейсмической трассе соответственно.

В результате, как и при стандартном спектральном анализе, использующем преобразование Фурье, для различных сигналов будем получать различные спектры Прони [7].

При использовании аналогии со стандартным спектральным анализом необходимо помнить о существенных различиях, которые имеются между разложениями Фурье и Прони. Укажем на два из них. Первое состоит в том, что в разложении Прони параметр частоты не фиксирован, а определяется совместно с другими тремя параметрами. Второе относится к числу затухающих гармоник, определяемых величиной  $L$  в выражении (1). Она может быть вычислена на основе числа количества комплексных экспонент  $M = 2L$ , но только в том случае, когда эти экспоненты представляют собой комплексно сопряженные пары [6]. На практике это не всегда выполняется, что приводит к уменьшению значения  $L$ . Более того, исходя из практических соображений, формулу (1), как и задачу разложения Прони, лучше рассматривать не с интерполяционной, а с аппроксимационной позиции. В этом случае могут быть уменьшены величины  $M$  и  $L$ , определяющие число компонент, которые входят в сумму выражения (1). Тогда правая часть этого выражения обеспечивает лишь приближение анализируемых значений  $y(t_i)$ . Соответствующее приближение обеспечивает задаваемую точность при выполнении разложения Прони.

Несмотря на отмеченные особенности, на практике для произвольного интервала сейсмической трассы может быть обеспечен обобщенный спектр Прони, включающий большое количество параметров, отвечающих локальным спектрам Прони [7]. Так, при обработке реальных сейсмических трасс с временным интервалом до 1000 мс обычно используется от 500 до 800 локальных участков, в каждом из которых определяются значения локальных спектров Прони. При этом для каждого участка может быть использован порядок разложения  $M$  от 10 до 40, который, соответственно, будет давать такое же число точек в четырехмерном про-

странстве. В результате обобщенный спектр Прони, содержащий значения всех локальных спектров, может иметь от нескольких тысяч до десятков тысяч точек в четырехмерном пространстве с осями (амплитуда, частота, затухание, фаза). Это обеспечивает достаточно плотное заполнение требуемой области параметрами Прони по всем четырем осям. Большое количество полученных значений параметров Прони позволяет делать выборки, которые отвечают определенным интервалам изменения заданного параметра или группы параметров, например частоты и затухания, для построения образа трассы по соответствующему набору локальных затухающих синусоид (компонент). Такой образ и является результатом Прони-фильтрации.

Для лучшего понимания процесса селекции затухающих компонент проведем несколько экспериментов с модельными импульсами Берлаге. Они будут состоять из следующих шагов:

1. Построим модельные импульсы Берлаге с добавлением аддитивной помехи, чтобы получить модельные данные для разложения Прони.

2. Выполним аппроксимацию модельных данных рядом затухающих гармоник на основе выражения (1) с требованием высокой точности приближения.

3. Из полученного ряда затухающих гармоник по частоте и затуханию выделим компоненты, обеспечивающие приближение модельного сигнала Берлаге.

Последний шаг завершает процедуру фильтрации Прони.

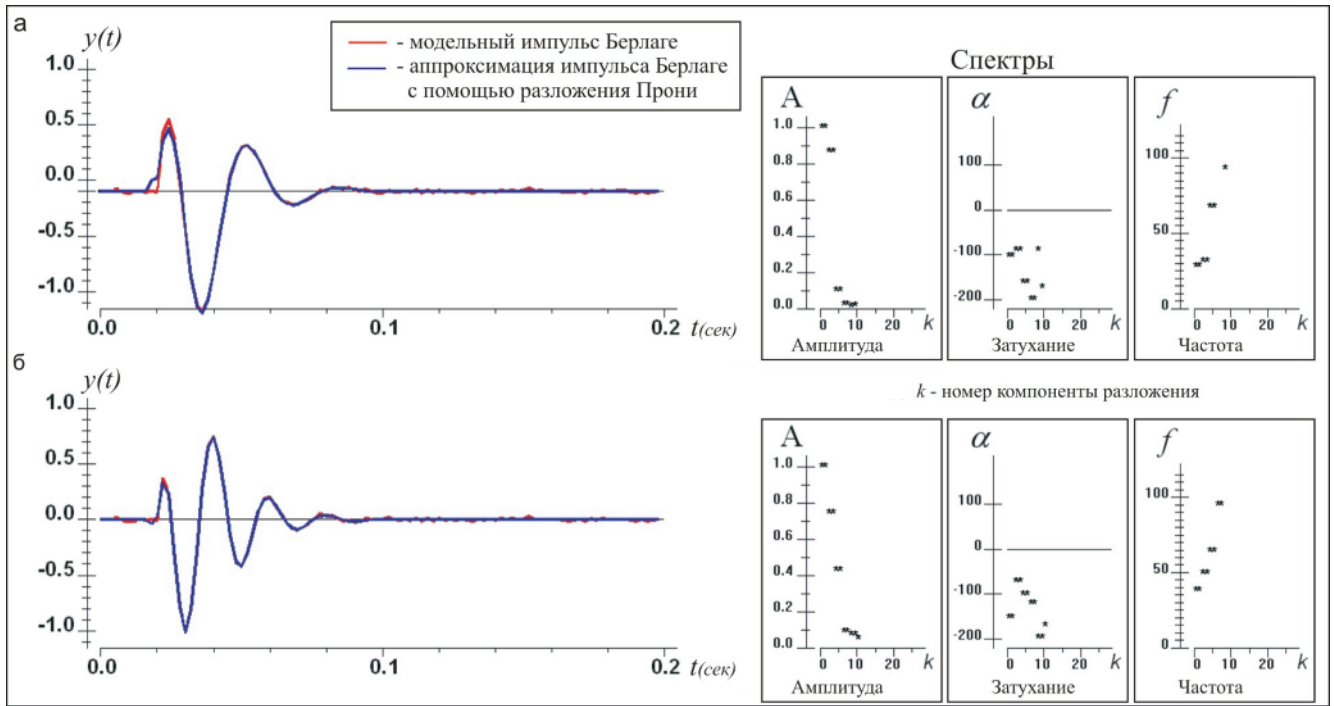
Используемый импульс Берлаге имеет вид

$$s(t) = A|t|e^{-\alpha t} \cos(\omega t + \phi),$$

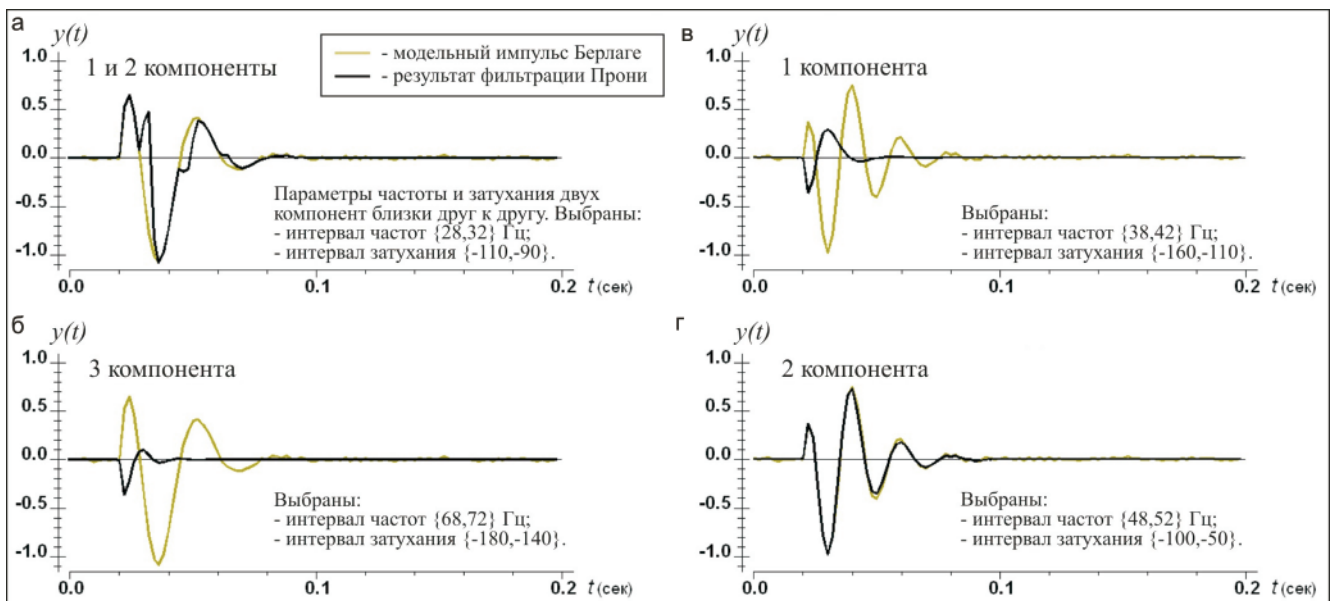
( $A$  – амплитуда,  $\alpha$  – затухание,  $\omega$  – круговая частота,  $\phi$  – фаза), который отличается от общепринятого отсутствием степени у временного множителя и наличием фазы.

Отметим, что импульс Берлаге представляет собой промежуточный вариант между затухающей синусоидой и импульсом Рикера, которые использовались в статье [7], а его вид, по нашему мнению, ближе к реальным сейсмическим импульсам. Импульсы Берлаге рассчитывались на базе тестового модуля, имеющегося в разработанной программе Прони-фильтрации. При этом в качестве аддитивной помехи был взят белый шум с уровнем 0,01 от максимальной амплитуды моделируемого импульса.

На рис. 1 показана форма двух импульсов Берлаге и значения соответствующих спектров Прони по трем параметрам: амплитуда ( $A$ ), затухание ( $\alpha$ ) и частота ( $f$ ). Значения спектров приведены в правой части рисунков и потребуются в дальнейшем при разделении компонент Прони-разложения. Для импульса на рис. 1, а принята частота 30 Гц, а на рис. 1, б – 50 Гц. Значения других параметров импульсов совпадали:  $A = 1$ ,  $\alpha = 100$ ,  $\phi = 0$  (фаза). Время вступления импульсов 20 мс.



**Рис. 1.** Модельные импульсы Берлаге с частотой 30 Гц (а) и 50 Гц (б) и их аппроксимация с помощью разложения Прони (слева). Значения спектров Прони (справа) получены при  $T = 100$  мс и  $\tau = 8$  м



**Рис. 2.** Результаты отбора части значений спектров Прони по частоте и затуханию для получения фильтрованных образов аппроксимированных импульсов Берлаге с частотой 30 Гц (а, б) и 50 Гц (в, г)

При вычислении значений спектров Прони взяты параметры  $T = 100$  мс и  $\tau = 8$  мс, требуемые для преобразования (2). По левой части рис. 1 видно, что построенные аппроксимации обеспечивают почти полное приближение к моделируемым импульсам Берлаге.

В качестве параметров, по которым будет выполняться селекция, возьмем частоту и затухание. Их выбор определяется значимостью для изучения отклика реальной среды на сейсмическое воздействие. Наш опыт показывает, что амплитуда – недостаточно устойчивый критерий для осуществления селекции. Также отметим, что компоненты разложе-

ния, приведенные на рис. 1–4, являются нормированными. Это связано с особенностью разработанного алгоритма.

На рис. 2 показаны результаты фильтрации Прони, которые представляют собой отбор части значений спектров, приведенных на рис. 1, и соответствующих им компонент разложения. Такой отбор совпадает с отбором части затухающих гармоник из формулы (1). Для рис. 2 и всех последующих компоненты разложения упорядочены по значениям параметров спектра Прони следующим образом: первая пара значений параметров спектра отвечает первой компоненте, вторая – второй и т. д.

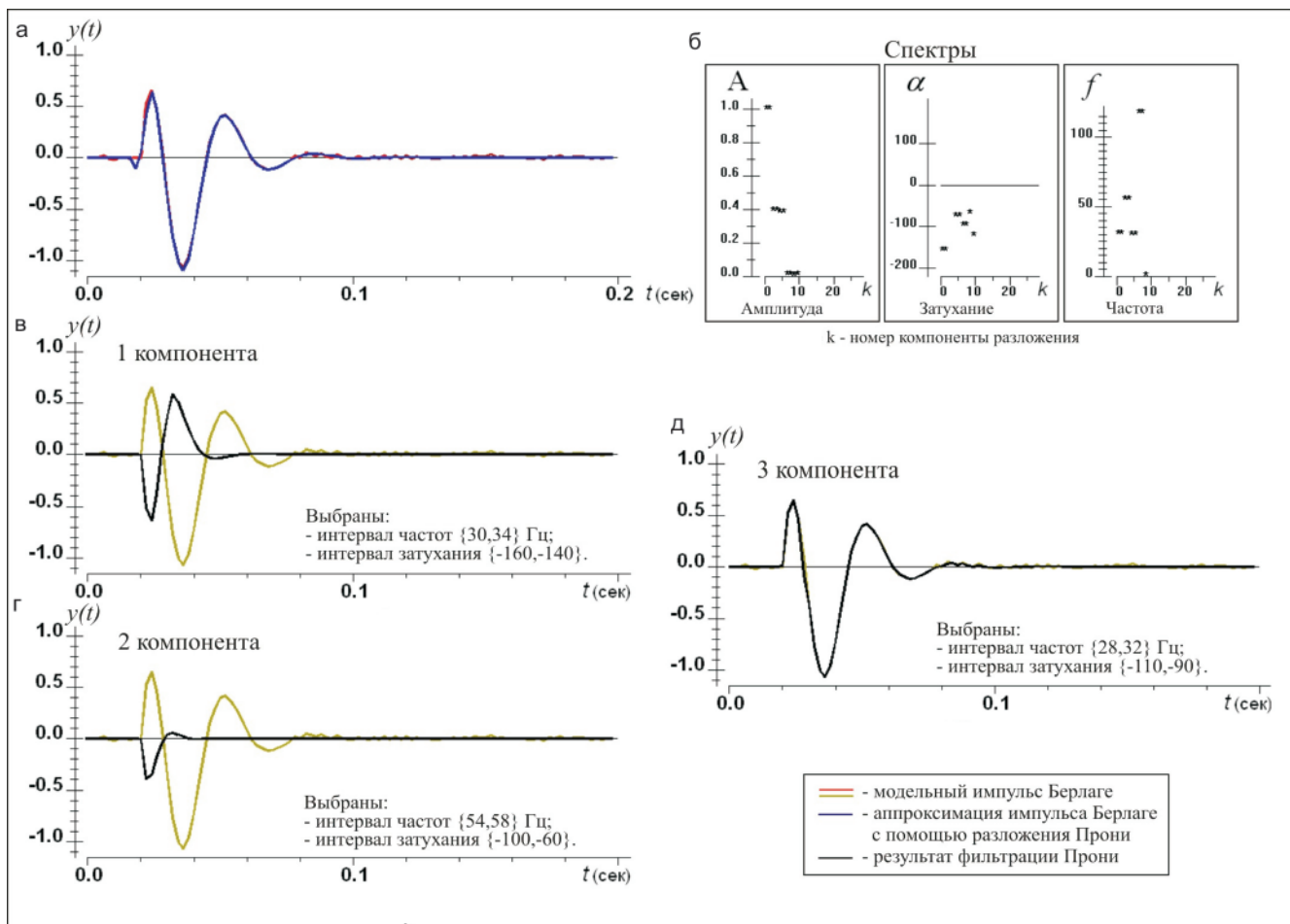
Попытка выделения какой-либо одной компоненты для случая, когда присутствуют две компоненты с близкими значениями частот и затуханий, продемонстрирована на рис. 2, а. В этом случае выделение только одной компоненты невозможно даже при максимально допустимых в расчетном модуле узких интервалах частот {28, 32} Гц и затуханий {-110, -90}. Следующая гармоника (см. рис. 2, б) хорошо отделяется от других, если выбрать интервалы частот от 68 до 72 Гц, затухания от -180 до -140 (см. спектр на рис. 1, а). На рис. 2, г демонстрируется, что в случае импульса Берлаге с частотой 50 Гц фильтрация Прони, выполняемая по интервалам частоты {48, 52} Гц и затухания {-100, -50} (см. спектр на рис. 1, б), позволяет успешно выделить вторую компоненту, которая наиболее точно представляет модельный импульс Берлаге. При этом первая гармоника, обладающая меньшей частотой и большим затуханием (см. рис. 2, в), была удалена фильтрацией, как и другие затухающие гармоники.

В связи с результатом, приведенным на рис. 2, а, важным представляется рассмотрение рис. 3, на котором демонстрируется влияние длительности интервала разложения, т. е. значения параметра  $T$ , на результат фильтрации Прони. Здесь

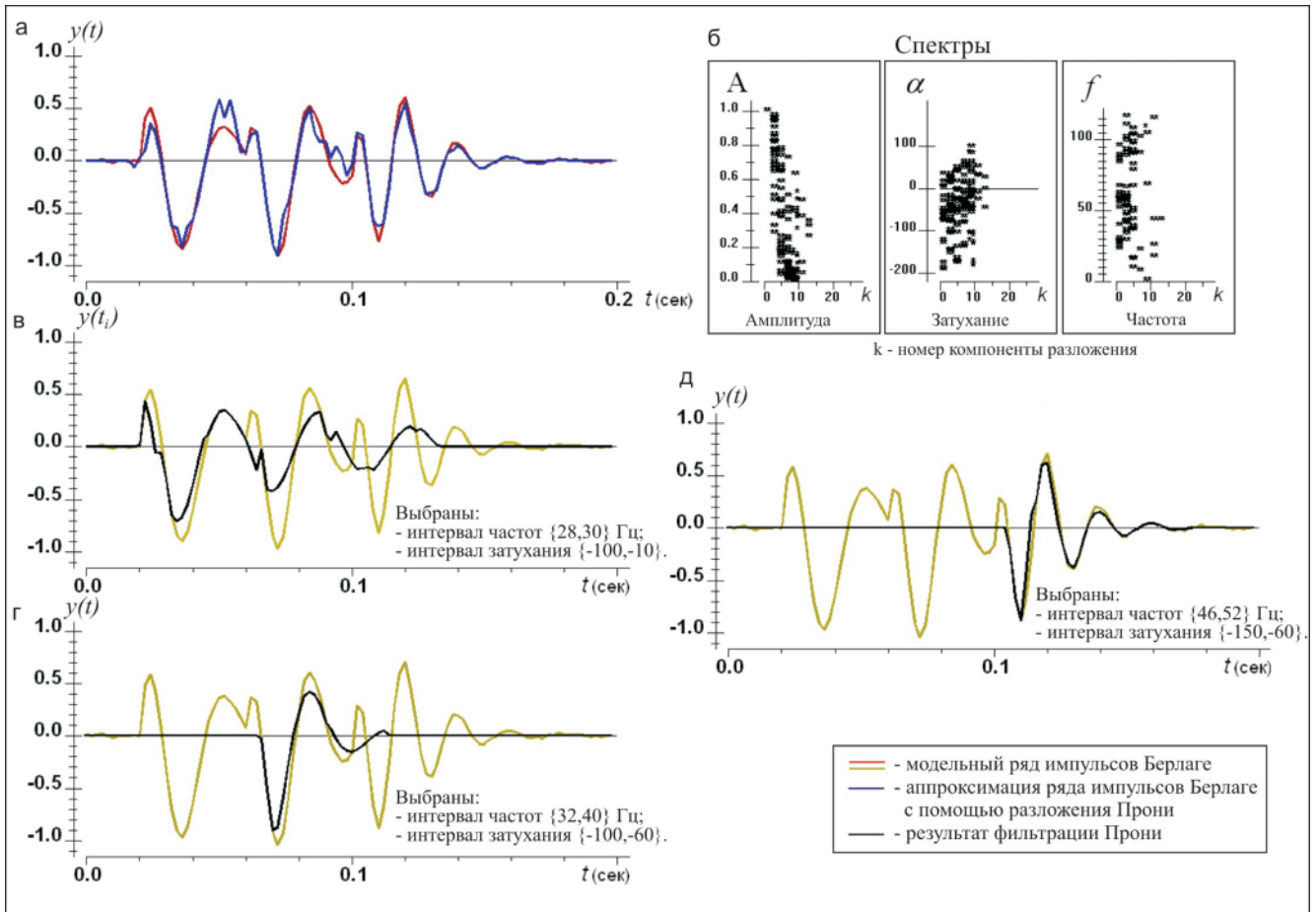
дан вариант разложения импульса Берлаге с частотой 30 Гц с применением  $T = 188$  мс, что отличается от использовавшегося ранее (см. рис. 1, а). Видно, что при этом получаются иные значения спектра Прони (см. рис. 3, б). В результате первая затухающая гармоника (см. рис. 3, в), попадающая в интервал частот {30, 34} Гц и затухания {-160, -140}, не отвечает форме моделируемого импульса, как и вторая (см. рис. 3, г), попадающая в интервал частот {54, 58} Гц и затухания {-100, -60}. Их можно отнести к шуму или к особенностям аппроксимации. При этом третья гармоника (см. рис. 3, д), попадающая в интервал частот {28, 32} Гц и затухания {-110, -90}, точно воспроизводит импульс. Здесь важно отметить близость первой и третьей гармоник по частотам, но различие по затуханиям, что и обеспечило их разделение при фильтрации.

Таким образом, с помощью Прони-фильтрации при корректном подборе параметров можно успешно подавлять волны-помехи и выделять полезный импульс, обладающий определенной частотой и затуханием. Вопросы корректного выбора параметров рассматривались в работе [7].

Результаты выполненного модельного эксперимента демонстрируют еще одну из особенно-



**Рис. 3.** Модельный импульс Берлаге с частотой 30 Гц и его аппроксимация с помощью разложения Прони (а), со значениями спектров Прони (б), результаты отбора части значений спектров Прони по частоте и затуханию для получения фильтрованных образов аппроксимированных импульсов Берлаге (в, г, д). Значения спектров Прони получены при  $T = 188$  мс и  $\tau = 8$  мс



**Рис. 4.** Модельный ряд импульсов Берлаге с частотами 30, 40, 50 Гц с временами вступления 10, 60, 100 мс соответственно и его аппроксимация с помощью разложения Прони (а), со значениями спектров Прони (б). Результаты отбора части значений спектров Прони по частоте и затуханию для получения фильтрованных образов аппроксимированных импульсов Берлаге (в, г, д)

стей метода Прони-фильтрации, которую пришлось детально изучать при его развитии. На начальном этапе исследований она воспринималась настолько серьезно, что предлагалось кроме перемещаемых интервалов использовать еще и изменяемую длительность интервалов. Но такое двухэтапное оценивание параметров разложения с последующим их анализом и отбором существенно удлиняло работу процедуры. Также сложно было определить критерии качества получаемых значений спектров. Поэтому с учетом направленности фильтрации Прони на анализ частотно-зависимых эффектов было принято решение внутри процедуры использовать только перемещаемые интервалы. Длительность же интервалов выбиралась, исходя из эвристического соотношения  $T = 3f_{\text{фил}}^{-1}$ , где  $f_{\text{фил}}$  – частота фильтрации Прони. В дальнейшем при оптимальном подборе параметров эта длительность уточнялась [7].

Следующий модельный эксперимент содержал три импульса Берлаге с различными частотами (30, 40, 50 Гц) и временами вступления (20, 60 и 100 мс соответственно). Их вид, а также значения комбинированного спектра Прони, полученного объединением спектров отдельных интервалов, показаны на рис. 4, а. Соответствующие спектры рассчитывались с применением  $T = 60$  мс. Они использовались при

выделении импульса с частотой 50 Гц (см. рис. 4, в). При этом были взяты интервалы частот {46, 52} Гц и затухания {–150, –60}. Для выделения импульсов с частотой 30 Гц (см. рис. 4, в) и 40 Гц (см. рис. 4, г) выбирались интервалы другой длительности: 136 и 70 мс соответственно. При их выделении применялись интервалы селекции по частотам {28, 30} и {32, 40} Гц, по затуханию {–100, –10} и {–100, –60} соответственно. Видно, что импульс с частотой 30 Гц выделяется с искажениями, подобными результату, приведенному на рис. 2, а. Причина этого в невозможности разделить компоненты по частоте и затуханию при принятой длительности интервала разложения (параметр  $T$ ). Как показывают эксперименты, описанные ранее в данной статье (см. рис. 2, а, 3, д), для успешного выделения импульса с частотой 30 Гц, по-видимому, требуется еще большее значение параметра  $T$ . Импульс же с частотой 40 Гц выделяется вполне успешно.

Таким образом, эксперимент демонстрирует, что фильтрация Прони на частотах 40 Гц и выше позволяет уверенно выделять из зашумленной трассы компоненты, приближающие истинный сигнал. Для более низкой частоты она обеспечивает выделение компонент с некоторыми искажениями, устранение которых возможно, но требует значительных вре-



менных затрат по подбору длительности интервала разложения.

### **Применение фильтрации Прони для анализа частотно-зависимых эффектов в отклике среды при физическом моделировании**

Сложность реальных сред и их высокая пространственная неоднородность по геологическим, физическим, петрофизическим и многим другим характеристикам определяют сложность и неоднородность получаемой геофизической информации, в частности сейсмической. Следствием этого является изменение отклика среды на сигналы с различной частотой. Кроме того, процессы распространения различных воздействий могут происходить как по линейным, так и по нелинейным законам, что еще значительно влияет на частотный отклик среды. Таким образом, частотно-зависимые вариации в отклике реальной среды обусловлены самыми различными причинами, связанными и с изменением структурных характеристик среды (слоистостью, разрывными нарушениями и пр.), и с неупругими эффектами, вызывающими поглощение сейсмической энергии.

Изучению частотно-зависимых эффектов большое внимание уделяется уже давно. Первые исследования в этом направлении выполнялись с 1930-х гг. в США и в СССР. Н. Рикер одним из первых обратил внимание на то, что скорость зависит от частоты [13]. Но эти наблюдения и выводы не были одобрены теоретиками, которые не имели еще достаточной базы для их объяснения. Поэтому соответствующие результаты были полностью опубликованы через 30 лет, когда эта база сформировалась. Огромный объем данных, полученных в ходе сейсмических исследований в СССР позволил дать количественное описание основных динамических характеристик сейсмических волн, распространяющихся в реальных средах, только в начале 1960-х гг. [2]. В связи со сложностью объяснения частотно-зависимых эффектов необходимо отметить, что определение динамических характеристик реальных сигналов и их зависимости от частоты требует проведения сложных экспериментальных работ и высокого качества наблюдений. При этом интерпретация получаемых зависимостей и вариаций для динамических характеристик может обладать большей неоднозначностью, чем интерпретация вариаций времен прихода анализируемых сигналов. Это связано с несколькими принципиальными причинами. Укажем только три из них, которые могут играть наиболее существенную роль.

1. В реальном эксперименте достаточно сложно обеспечить высокий контроль условий возбуждения и приема сигналов, существенно влияющих на динамические характеристики сигналов.

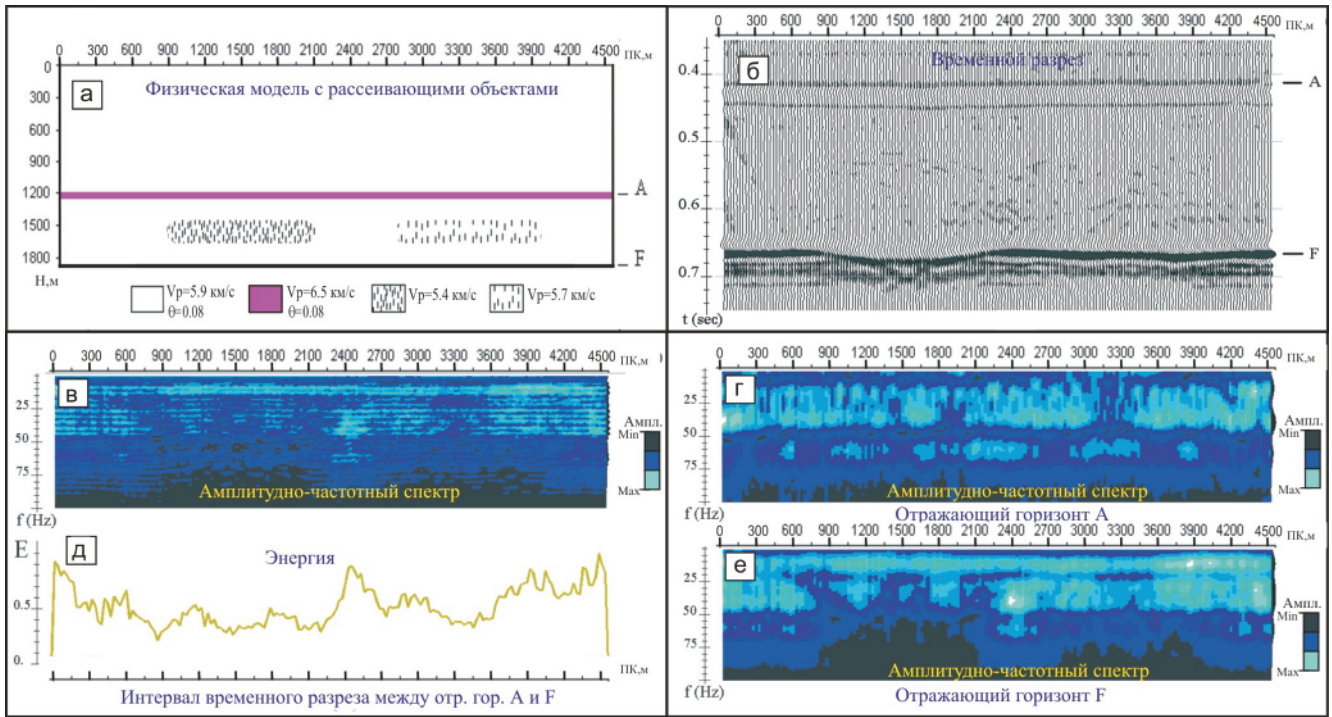
2. Удаленность и расположение изучаемого объекта в неоднородной среде, где присутствуют

другие объекты, которые могут вносить изменения в динамические характеристики анализируемых сигналов.

3. На разных частотах могут включаться различные механизмы, определяющие изменение динамических характеристик сигналов, но не поддающиеся нашему контролю в силу отсутствия возможности их точного определения.

Физические эксперименты, проводимые с образцами пород или материалов, существенно упрощают различного рода контроль, но, естественно, не отображают всего разнообразия возможных ситуаций в реальной среде. Здесь интересен опыт первых физических экспериментов с образцами пород. Они приводили к противоречивым результатам по зависимости параметра затухания регистрируемого сигнала от частоты [8]. Так, измерения затухания на сухих образцах однородных горных пород (обычно гранитов) не давали изменение этого параметра для широкого диапазона частот. Только использование флюидосодержащих и неоднородных образцов привело к изменению параметра затухания с частотой. Это привело к осознанию значимости влияния микроскопических включений флюидов и трещин на процессы распространения упругих колебаний в реальных средах. Обзор истории определения параметра затухания при физических измерениях на образцах дан в работе [15]. Таким образом, физические эксперименты и наблюдаемые в них эффекты послужили основой для развития теории распространения упругих колебаний в реальных средах, а также позволили оценить влияние частоты на различные параметры, используемые при описании модели среды и процессов распространения в ней упругих колебаний.

Мы также будем опираться на результаты экспериментов физического моделирования. Их целью являлась оценка возможностей метода Прони-фильтрации при выделении в волновом сейсмическом поле динамических аномалий, соответствующих локальным зонам среды с эффектами рассеивания и поглощения энергии. В реальных средах подобные зоны могли быть образованы различного типа коллекторами (открытые трещины, поры, каверны), заполненными флюидами. Эксперименты проводились с двумя типами физических моделей. Первый тип имитировал рассеивающие объекты в виде локальных зон трещин с различной плотностью, второй – поглощающий объект в тонкослойной среде. Основой для обеих физических моделей служил лист оргстекла. Высокоскоростные слои имитировались наклеиванием на него алюминиевой фольги соответствующей ширины. Нижняя отражающая граница представляла собой свободный край листа. Промежуточный отражающий горизонт в виде тонкого слоя располагался на расстоянии 2/3 от точек наблюдения до свободного края модели. Соответствующие горизонты условно обозначены F и A, между ними расположены целевые объекты.



**Рис. 5.** Физическая модель с рассеивающими объектами ( $V_p$  – интервальная скорость,  $\theta$  – декремент затухания) (а), зарегистрированное волновое поле (временной разрез) (б), амплитудно-частотные спектры Фурье разных временных интервалов временного разреза (в, г, е) и значения энергии между отражающими горизонтами А и F (д)

Промежуточный отражающий горизонт А был введен в модель специально как эталон при анализе эффектов, связанных с целевыми объектами. Параметры физической модели определялись по специально изготовленным эталонным образцам. Работы велись в Институте геофизики СО РАН. Ими, а также получением модельных сейсмических наблюдений занимались Ю. А. Орлов и Б. А. Бобров.

Источники и регистрирующая система располагались на верхнем свободном крае каждой модели. При этом регистрация производилась с группированием приемников (по шесть в группе) и небольшим удалением источника от центра группы, что соответствовало 50 м в сейсморазведке при учете коэффициента масштабирования. Таким образом, полученные в процессе моделирования волновые поля отраженных продольных волн приблизительно отвечают временным разрезам, построенным по ближним удалениям без накопления кратности. С учетом масштабирования расстояние между трассами временного разреза соответствует 25 м, а время вступления отраженной волны от горизонта А равно примерно 0,4 с, от горизонта F – 0,66 с.

Модель, имитирующая эффекты рассеивания (рис. 5, а), содержала два объекта с разной степенью трещиноватости, имевших вытянутую форму с овальными краями. Жесткой границы при переходе к зоне трещиноватости не было. Трещины формировались рассечками в заданной области. В левом объекте плотность трещин (рассечек) существенно выше, чем в правом. Ориентация трещин преимущественно субвертикальная (менее 10 % трещин имели угол наклона меньше 60°). Частично

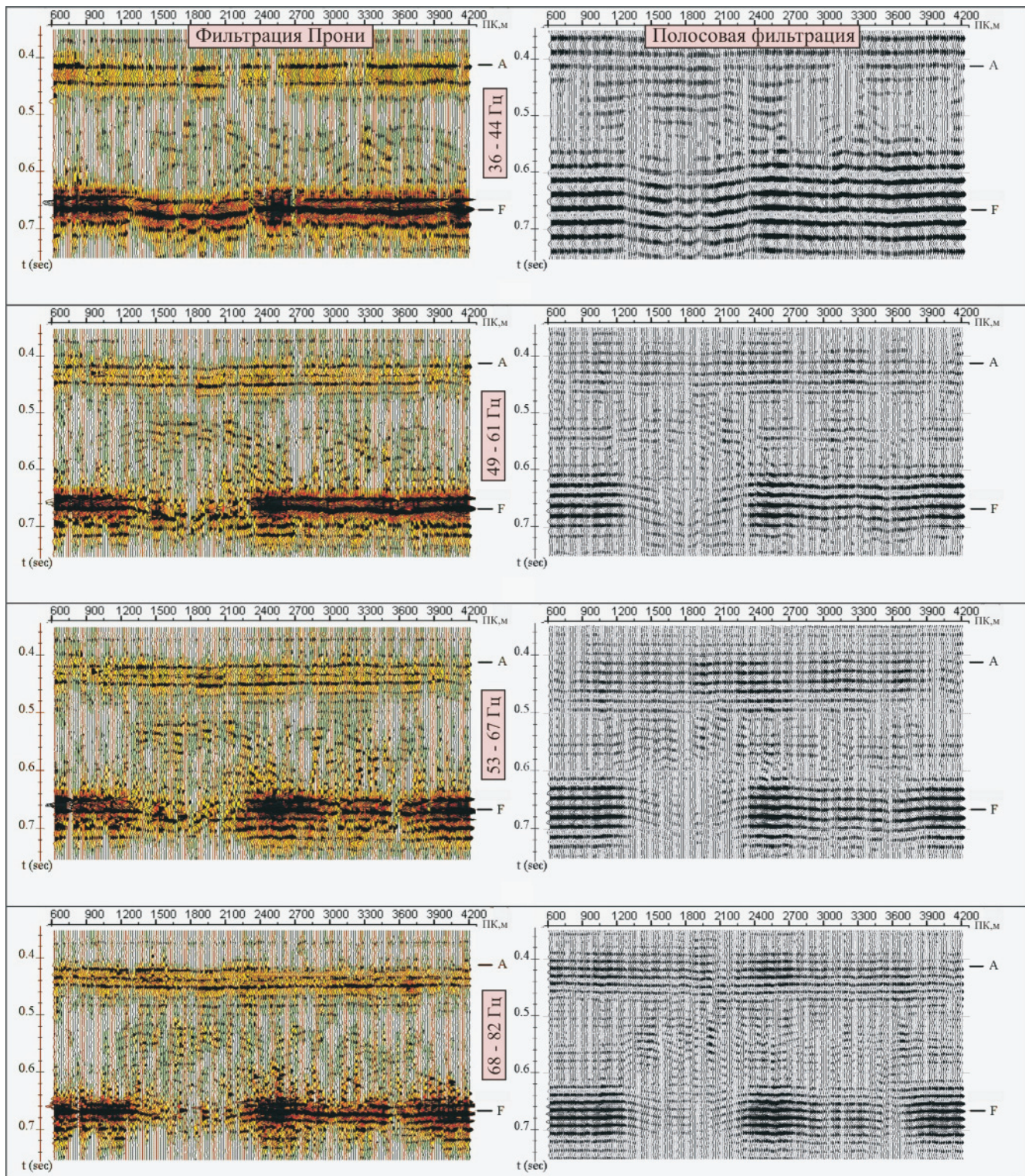
они были заполнены пластилином, что уменьшало уровень дифрагированных волн. Декремент затухания ( $\theta$ ) для областей, имитирующих трещиноватость, не определялся.

Исходный временной разрез, представляющий полную зарегистрированную волновую картину, приведен на рис. 5, б. Обработка временного разреза, в том числе процедура миграции, не проводилась. Частотно-зависимый анализ временного разреза осуществлялся по технологии Прони-фильтрации [7]. Спектральный анализ временного интервала между отражающими горизонтами А и F на основе разложения Фурье (см. рис. 5, в) позволил выделить наиболее устойчивые частоты, для каждой из которых с помощью тестового модуля определен оптимальный частотный диапазон и подобраны временные интервалы разложения Прони (T) и значения затухания ( $\alpha$ ) [7], указанные в табл. 1. С выбранными параметрами построены временные разрезы Прони, которые приведены на рис. 6. Здесь же показаны и результаты стандартной полосовой фильтрации с выбором полосы частот, соответствующей Прони-фильтрации.

**Таблица 1**

Параметры Прони-фильтрации для временных разрезов с рассеивающими объектами

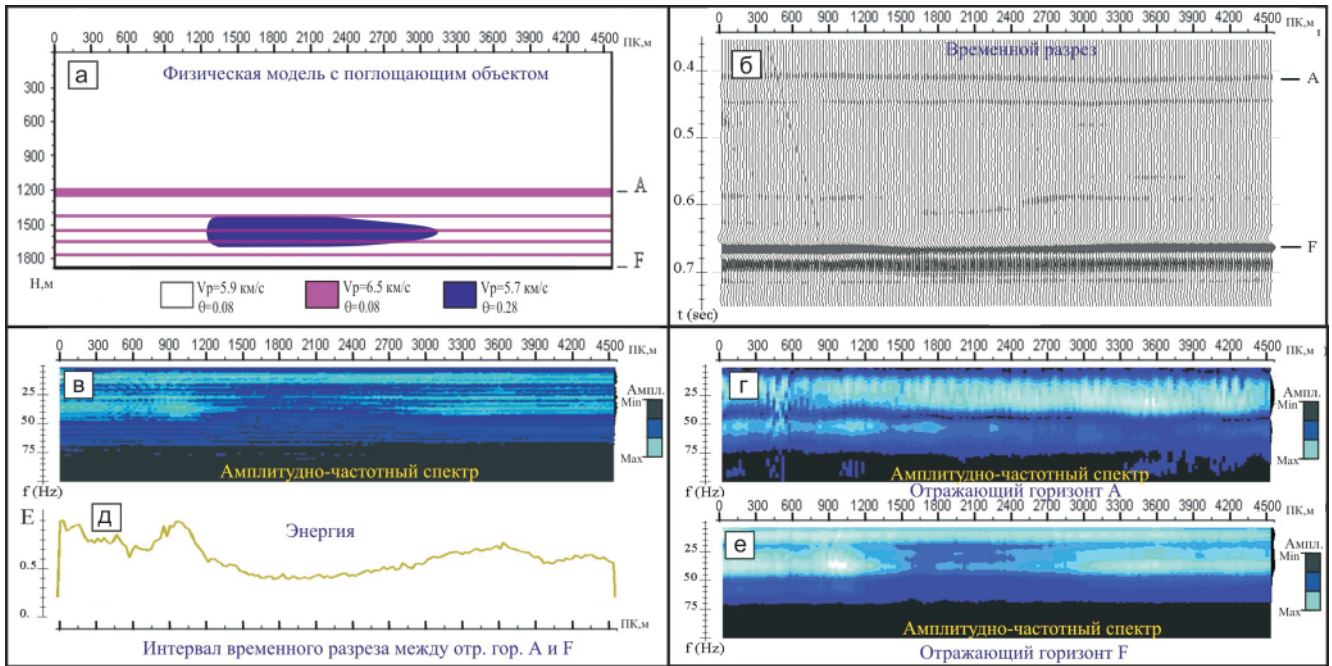
Частота, Гц	Частотный диапазон, Гц	T, с	$\alpha$
40	36–44	0,07	90
55	49–61	0,07	200
60	53–67	0,07	200
75	68–82	0,056	200



**Рис. 6.** Временные разрезы после Прони (слева) и полосовой (справа) фильтраций в указанных диапазонах частот, полученные по физической модели с рассеивающими объектами

На исходном временном разрезе (см. рис. 5, б) фрагментарно и слабо просматривается кровля левого объекта. Кроме того, на левый объект хорошо реагирует отраженная волна от границы F. Правый объект практически никак не проявляется. После проведения процедуры Прони-фильтрации на частотах 36–44 Гц степень прослеживаемости кровли обоих объектов на одном уровне (см. рис. 6). При повышении частоты фокусировка отражений от кровли правого объекта ухудшается и теряется уже

в диапазоне частот 49–61 Гц, а от левого – ухудшается вплоть до частот 53–67 Гц. В интервале частот 68–82 Гц степень прослеживания отражений от кровли левого объекта начинает ухудшаться, позволяя предполагать «расфокусировку» отражений. Видно также, что зона развития трещиноватости на временных разрезах проявляется в виде области с повышенным уровнем дифрагированных волн. Таким образом, технология Прони-фильтрации дает возможность выделить локальную зону повышен-



**Рис. 7.** Физическая модель с поглощающим объектом в тонкослоистой среде ( $V_p$  – интервальная скорость,  $\theta$  – декремент затухания) (а), зарегистрированное волновое поле (временной разрез) (б), амплитудно-частотные спектры Фурье разных временных интервалов временного разреза (в, г, е) и значения энергии между отражающими горизонтами А и F (д)

ной трещиноватости, позволяя судить и о плотности трещин по анализу изменения степени выделения отраженных и дифрагированных волн в зависимости от частоты.

Отражающий горизонт F на всех частотах реагирует на левый объект с повышенной плотностью трещин не только по увеличению времени прихода отраженной волны, но и по интенсивности отражения начиная с частотного интервала 49–61 Гц (см. рис. 6). Это происходит, по-видимому, из-за достаточно резкого снижения интервальной скорости. Реакция на правый объект визуально появляется только в частотном диапазоне 68–82 Гц в виде незначительного увеличения времени прихода отраженной волны и незначительного уменьшения ее интенсивности. Использовать подобный эффект в качестве поискового для зон трещиноватости в практике производственных работ достаточно сложно.

Интересным представляется сравнение результатов двух фильтраций в одной и той же полосе частот: Прони и полосовой (правая часть рис. 6). Видно, что последняя не дает практически никакой информации по целевым объектам, лишь позволяет только достаточно точно определить зону реагирования отражающего горизонта F на левый объект. Но эта зона хорошо выделяется и на исходном временном разрезе.

Вторая модель (рис. 7, а) предназначалась для имитации эффекта поглощения в тонкослоистой среде и изготавливалась из листа органического стекла, на которую наклеивались с одной стороны полиэтиленовая пленка для увеличения поглощения, а с другой – полоски алюминиевой фольги для имитации пластов с увеличенной интервальной ско-

ростью. Поглощающее тело имело несимметричную форму по горизонтальной оси.

Исходный временной разрез с наблюдаемой волновой картиной приведен на рис. 7, б. Промежуточная слоистость на нем видна слабо и фрагментарно. Также слабо проявляется и подошва правой стороны поглощающего объекта. Как и для временного разреза, полученного по первой физической модели с рассеивающими объектами, проведена обработка по технологии Прони-фильтрации [7]. По амплитудно-частотным спектрам Фурье выбраны четыре наиболее устойчивые частоты для временного интервала между отражающими горизонтами А и F. Для каждой из частот с помощью тестового модуля определен оптимальный частотный диапазон и подобраны временные интервалы разложения Прони (T) и значения затухания ( $\alpha$ ) [7], указанные в табл. 2:

С выбранными параметрами построены временные разрезы Прони, которые приведены на рис. 8.

По результатам Прони-фильтрации удастся выявить следующие особенности в зарегистрированном волновом поле.

**Таблица 2**

Параметры Прони-фильтрации для временных разрезов с поглощающим объектом в тонкослоистой среде

Частота, Гц	Частотный диапазон, Гц	T, м	$\alpha$
25	21–29	0,09	90
30	26–34	0,09	90
32	27–37	0,07	150
56	68–82	0,05	150



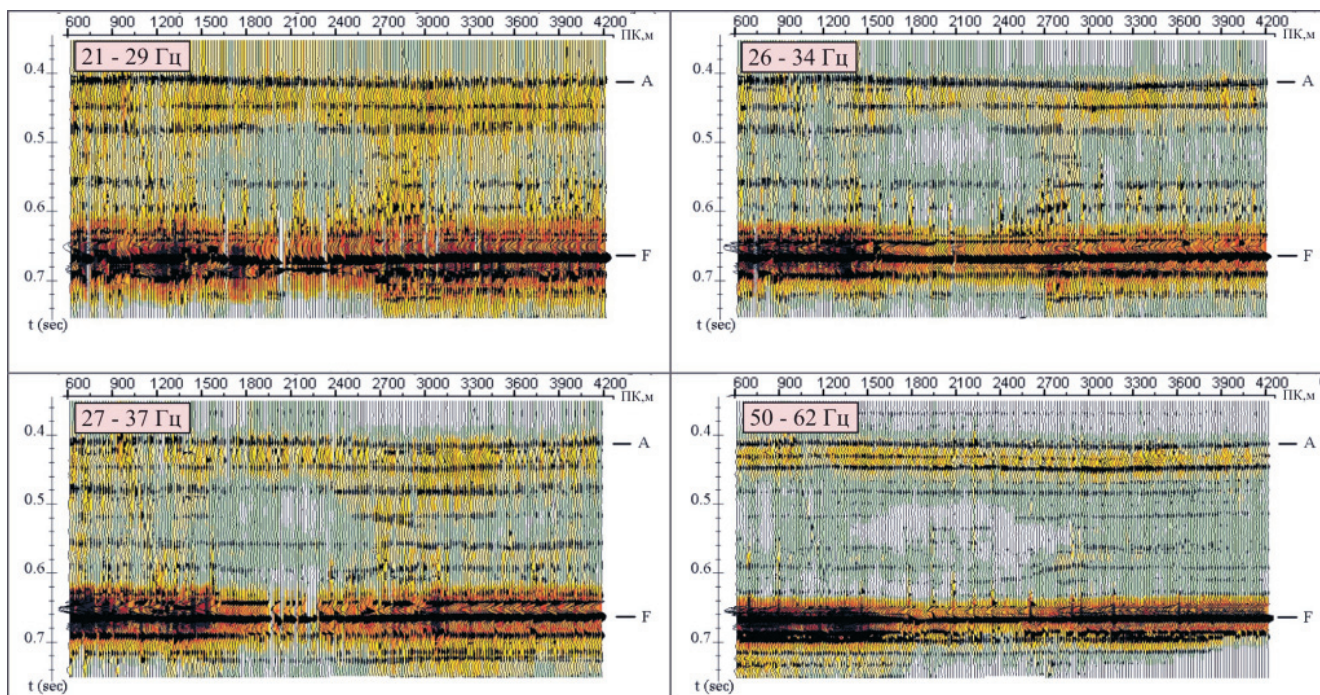


Рис. 8. Временные разрезы после Прони-фильтрации в указанных диапазонах частот, полученные по физической модели с поглощающим объектом в тонкослоистой среде

Поглощающий объект начал проявляться в интервале частот 21–29 Гц в виде слабой динамической аномалии. Оптимальным для исследования целевого интервала разреза можно считать диапазон 27–37 Гц, где отчетливо проявляются слоистая структура разреза и динамическая аномалия, регистрируемая в районе расположения поглощающего объекта. На фоне отраженных волн от промежуточных субгоризонтальных слоев целевого интервала физической модели прослеживаются отражения от кровли и подошвы правой стороны поглощающего объекта, но слабо. В этом и других диапазонах на более низких частотах динамическая аномалия имеет изометричную форму, отличающуюся от формы поглощающего объекта. На более высоких частотах (50–62 Гц) отмечается приближение формы динамической аномалии к форме соответствующего поглощающего объекта.

Таким образом, обработка сейсмических данных, полученных по физическим моделям, показала, что с помощью технологии Прони-фильтрации можно выявлять частотно-зависимые эффекты в отклике исследуемой среды. Эти эффекты соотносятся с объектами, обладающими как рассеивающими, так и поглощающими свойствами.

## Выводы

Результаты модельных экспериментов показывают, что разложение Прони и построенная на его основе фильтрация позволяют выделять в волновом поле затухающие гармоники, отвечающие заданным интервалам частот и затуханий. Но переход от разложения Прони к соответствующей фильтрации обладает рядом особенностей, которые необходимо учитывать при решении практических задач:

- 1) подбор оптимальных параметров фильтрации,
- 2) изменение формы регистрируемого сигнала. На важность первой указывалось в работе [7]. В рамках выполненных исследований дополнительно была продемонстрирована важность выбора длительности интервала разложения, которая может существенно повлиять на выделение низкочастотных затухающих гармоник. При этом удалось понять появление дополнительных искажений на таких компонентах за счет отбора «сцепленных» гармоник, обладающих близкими значениями частот и затуханий. Вторая особенность определяется возможным отличием формы реального сейсмического сигнала от затухающих гармоник. Поэтому при фильтрации происходит переформирование сигнала, приводящее к появлению более резких вступлений на высоких частотах. Подобные изменения формы могут приводить даже к положительным результатам, в частности к повышению разрешенности записи. Следует четко понимать причину таких эффектов.

Несмотря на указанные особенности, фильтрация Прони обладает большими прикладными возможностями. Так, эксперименты показали, что применение разложения Прони позволяет разделить зашумленный сигнал на ряд компонент, которые обеспечивают хорошее приближение заданному модельному импульсу, содержащему затухающие гармоники. Именно их выделение может быть достигнуто с применением фильтрации Прони. В результате удастся проводить частотно-зависимый анализ волнового поля с высокой локализацией затухающих гармоник.

Примеры обработки результатов физического моделирования показывают, что на временных разрезах, полученных в процессе фильтрации Прони,



удается выделять эффекты, связанные с рассеивающими и поглощающими целевыми объектами среды. Так, для трещиноватых объектов устойчиво выделяются кровля и область, заполненная трещинами. Увеличение плотности трещин повышает точность выделения эффектов на высоких частотах. Для поглощающих объектов выделяемые эффекты присутствуют практически на всех частотах в виде динамической аномалии с пониженными амплитудами и повышенным затуханием. С повышением частоты форма динамической аномалии у таких объектов приближается к форме поглощающего тела. Наша практика показывает, что при объединении эффектов рассеивания и поглощения, что характерно для реальных объектов, связанных с углеводородами, локализация их в волновом поле становится более достоверной. Таким образом, технология Прони-фильтрации, о которой было заявлено в работе [7], позволяет осуществлять прямой качественный прогноз целевых объектов при поиске и разведке залежей углеводородов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астафьева Н. М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // Успехи физических наук. – 1996. – Т. 166, № 11. – С. 1145–1170.
2. Динамические характеристики сейсмических волн в реальных средах / И. С. Берзон, А. М. Епинатьева, Г. Н. Парийская, С. П. Стародубровская. – М.: Изд-во. АН СССР, 1962. – 514 с.
3. Ковалев В. П., Телепнев Г. Ф. Применение метода выделения скрытых периодичностей при изучении динамики сейсмических волн // Докл. АН УССР. – 1981. – Вып. 5. – С. 10–14.
4. Колесников Ю. И., Игнатов А. Ю. Об одном способе подавления регулярных волн-помех на сейсмических записях // Геология и геофизика – 1993. – Т. 34, № 2. – С. 137–140.
5. Колесников Ю. И., Игнатов А. Ю., Кокшаров В. З. О точности оценок поглощения Р-волн по данным акустического каротажа. Результаты физического моделирования // Геология и геофизика – 1992. – № 9. – С. 134–141.
6. Марпл-мл. С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. – М.: Мир, 1990. – 584 с.
7. Митрофанов Г. М., Прийменко В. И. Основы и приложения метода Прони-фильтрации // Технология сейсморазведки. – 2011. – № 3. – С. 93–108.
8. Bruckshaw J. M., Mabanta P. C. The variation of the elastic constants of rocks with frequency // Petroleum. – 1954. – Vol. 17. – P. 14–18.
9. Complex convolution decomposition (CCD) and new possibilities at detail investigation of attenuation / V. P. Kovaliev, A. G. Madatov, G. M. Mitrofanov, et al. // Abstracts of papers, EAEG 54th meeting. – Paris, 1992. – P. 746–747.
10. Complex seismic decomposition – application to pore pressure prediction / H. B. Helle, O. H. Inderhaug, V. P. Kovaliev, et al. // Extended Abstracts of papers, EAEG 55th meeting. – Stavanger, 1993. – P. 114–115.
11. Daubechies I. Ten lectures on wavelets. – Philadelphia: SIAM, 1992. – 357 p.
12. Fourier J. Théorie analytique de la chaleur. – Paris, Chez Firmin Didot, 1822. – 639 p.
13. Ricker N. The form and nature of seismic waves and the structure of seismograms // Geophysics. – 1940. – Vol. 5, no. 4. – P. 348–367.
14. Prony de, Baron (Gaspard Riche) Essai expérimental et analytique: sur les lois de la dilatabilité de fluides élastique et sur celles de la force expansive de la vapeur de l'alkool, à différentes températures // Journal de l'École Polytechnique. – 1795. – Vol. 1, cahier 22. – P. 24–76.
15. Winkler K. W. The effects of pore fluids and frictional sliding on seismic attenuation. PhD thesis. – Sianford, Stanford University, 1979. – 97 p.

#### REFERENCES

1. Astafyeva N.M. [Wavelet analysis: the fundamentals of the theory and application examples]. *Uspekhi fizicheskikh nauk*, 1996, vol. 166, no. 11, pp. 1145–1170. (In Russ.).
2. Berzon I.S., Epinatyev A.M., Pariyskaya G.N., Starodubrovskaya S.P. *Dinamicheskkiye kharakteristiki seysmicheskikh voln v real'nykh sredakh* [Dynamic characteristics of seismic waves in real media]. Moscow, AS USSR Publ., 1962, 514 p. (In Russ.).
3. Kovalev V. P., Telepnev G.F. [Application of the method of identifying hidden periodicities in the study of the dynamics of seismic waves]. *Doklady AN USSR*, 1981, issue 5, pp. 10–14. (In Russ.).
4. Kolesnikov Yu.I., Ignatov A.Yu. [About one method of suppressing regular interference waves on seismic records]. *Geologiya i geofizika*, 1993, vol. 34, no. 2, pp. 137–140. (In Russ.).
5. Kolesnikov Yu.I., Ignatov A. Yu., Koksharov V.Z. [On the accuracy of estimates of the absorption of P-waves according to acoustic logging. Results of physical modeling]. *Geologiya i geofizika*, 1992, no. 9, pp 34–141. (In Russ.).
6. Marple-Jr S.L. *Tsifrovoy spektralnyy analiz i yego prilozheniya* [Digital spectral analysis and its applications]. Moscow, Mir Publ., 1990. 584 p. (In Russ.).
7. Mitrofanov G.M., Priymenko V.I. [Basics and applications of the Proni-filtration method]. *Tekhnologiya seysmorazvedki*, 2011, no. 3, pp. 93–108. (In Russ.).
8. Bruckshaw J.M., Mabanta P.C. The variation of the elastic constants of rocks with frequency. *Petroleum*, 1954, vol. 17, pp. 14–18.
9. Kovaliev V.P., Madatov A.G., Mitrofanov G.M. Complex Convolution Decomposition (CCD) and new possibilities at detail investigation of attenuation. *Abstracts of papers, EAEG 54th meeting*. Paris, 1992, pp. 746–747.
10. Helle H.B., Inderhaug O.H., Kovaliev V.P., et al. Complex seismic decomposition – application to pore



pressure prediction. *Extended Abstracts of papers, EAEG 55th meeting*, Stavanger, 1993, pp 114–115.

11. Daubechies I. Ten lectures on wavelets. *SIAM*, 1992. 357 p.

12. Fourier J. Théorie analytique de la chaleur. Paris, Chez Firmin Didot, 1822. 639 p.

13. Ricker N. The form and nature of seismic waves and the structure of seismograms. *Geophysics*, 1940, vol. 5, no. 4, pp. 348–367.

14. Prony de, Baron (Gaspard Riche). Essai expérimental et analytique: sur les lois de la dilatabilité de fluides élastique et sur celles de la force expansive de la vapeur de l'alkool, à différentes températures. *Journal de l'École Polytechnique*, 1795, vol. 1, cahier 22, pp. 24–76.

15. Winkler K.W. The effects of pore fluids and frictional sliding on seismic attenuation. PhD thesis. Stanford, Stanford University, 1979. 97 p.

© Г. М. Митрофанов, С. Н. Смолин,  
Ю. А. Орлов, В. Н. Беспечный, 2020



УДК (552.52:551.77):550.8(571.54)

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ В ВЕРХНЕКАЙНОЗОЙСКИХ СТРАТОНАХ БАРГУЗИНСКОЙ ДОЛИНЫ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ

Р. Алокла<sup>1,2</sup>, И. С. Чувашова<sup>1,3</sup>, С. В. Рассказов<sup>1,3</sup>, А. В. Ощепкова<sup>1,4</sup>, Т. С. Филева<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия, <sup>2</sup>Университет Алеппо, Алеппо, Сирия; <sup>3</sup>Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия; <sup>4</sup>Институт геохимии имени А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

В южной части Баргузинской долины скважинами вскрыта последовательность отложений верхнеолигоценовой дотанхойской толщи, верхнемиоценовой – нижнеплиоценовой озерной толщи танхойской свиты, верхнеплиоценовой – эоплейстоценовой охристой аллювиальной толщи ановосовской свиты и четвертичных перекрывающих отложений. При физико-химическом моделировании минерального состава в отложениях идентифицированы глинистые минералы. Озерные отложения танхойской свиты характеризуются присутствием индикаторных минералов хлорита и монтмориллонита. В переходном слое и ановосовской свите рассчитан микроклин, в дотанхойском стратоне – биотит и микроклин. Во всех пробах определены кварц, каолинит, группа смектита и гидрослюда. Расчетные данные согласуются с результатами рентгенофазовых исследований пелитовой фракции отложений. Смена состава глинистых минералов от танхойской свиты к ановосовской в Баргузинской долине коррелируется с подобной сменой ассоциации глинистых минералов в 600-метровой скважине BDP-98 Академического хребта Байкальской впадины. Новые данные позволяют обосновать вывод о синхронных процессах осадконакопления и тектонических событиях в Баргузинской долине и центральной Байкальской впадине.

**Ключевые слова:** глинистые минералы, Баргузинская долина, рентгенофазовый метод, физико-химическое моделирование.

## IDENTIFYING CLAY MINERALS FROM UPPER CENOZOIC STRATONS IN BARGUZIN VALLEY OF THE BAIKAL RIFT ZONE

R. Alokla<sup>1</sup>, I. S. Chuvashova<sup>1,2</sup>, S. V. Rasskazov<sup>1,2</sup>, A. V. Oshchepkova<sup>1,3</sup>, T. S. Fileva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Irkutsk State University, Irkutsk, Russia; <sup>2</sup>Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia; <sup>3</sup>A.P.Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia

Sedimentary sequence of Upper Oligocene Pre-Tankhoi stratum, Upper Miocene – Lower Pliocene lacustrine stratum of Tankhoi Formation, Upper Pliocene – Eopleistocene ochreous alluvial stratum of Anosovka Formation, and overlapping Quaternary sediments are studied in wells of the southern Barguzin Valley. Clay minerals are identified in the stratigraphic sequence using physicochemical modeling of the mineral compositions. Lacustrine deposits of the Tankhoi Formation are characterized by minerals–indicators chlorite and montmorillonite. A microcline is calculated in a transitional layer and Anosovka Formation, biotite and microcline in Pre-Tankhoi unit. In all samples, quartz, kaolinite, smectite group phases, and hydromica were determined. The calculated data are consistent with the results of X-ray phase studies of pelitic fractions. The compositional change of clay minerals from Tankhoi to Anosovka Formations in Barguzin Valley is correlated with a similar change in clay mineral assemblages revealed by 600-meter BDP-98 well of the Academic Ridge in Baikal Depression.

**Keywords:** clay minerals, Barguzin Valley, X-ray phase method, physicochemical modeling.

DOI 10.20403/2078-0575-2020-2-68-80

Глинистые минералы широко распространены в верхней осадочной оболочке литосферы. По оценкам разных авторов, они составляют до 11 % всего объема земной коры, около 70 % пород осадочного чехла континентов и 15 % – океанов [8, 14, 23]. Исследование развития процессов в зоне гипергенеза требует изучения показательных геологических ситуаций, в которых происходит новообразование глинистых фаз в зависимости от изменения физико-химических условий среды выветривания и седиментации. Интерес к этим образованиям возрос в связи с ростом возможностей аналитического оборудования и разработкой новых методов исследований [16].

Исследование минерального состава глин в отложениях впадины оз. Байкал началось в 1950-х гг. Сначала комплексом аналитических методов были изучены глинистые минералы в поверхностном слое осадков Южного Байкала, в котором были об-

наружены монтмориллонит, гидрослюда, хлорит и каолинит. Распространение монтмориллонита в отложениях дельты р. Селенга связывалось с поступлением осадка из кор выветривания, развитых в водосборе этой реки [19, 20].

Важные результаты изучения химического и минерального состава отложений были приведены в монографии Г. С. Голдырева [1]. В современном слое осадков определены гидрослюда, монтмориллонит, каолинит, галлузит и хлорит. Обращалось внимание на различную степень изменения гидрослюд в связи с процессами почвообразования в водосборном бассейне. Все глинистые минералы не только в современных, но и в более древних отложениях рассматривались Г. С. Голдыревым как аллотигенные. Устанавливались пространственные связи их разновидностей с конкретными источниками сноса.



В минеральном составе осадков, вскрытых двумя гравитационными трубками на Академическом хребте, среди слоистых силикатов были определены смектит, слюда, хлорит и каолинит [2]. Отмечены различия в ассоциации глинистых минералов диатомовых илов и алевритов в колонках 305 и 333 [21]. Здесь наблюдается корреляция между содержанием смектита и биогенного кремнезема в осадках, что связывалось с образованием смектита в теплые периоды в почвах Байкальского водосборного бассейна. В последние десятилетия появился ряд работ, посвященных поиску климатических сигналов в байкальских осадках по ассоциациям глинистых минералов. Материалом для исследования служили короткие керны и керны глубокого бурения [3, 6, 7, 9, 15, 31, 32].

Литологические исследования, выполненные с использованием новых методов и подходов в изучении глинистых минералов, показали чувствительность глинистых фаз к контрастным вариациям палеоклимата в четвертичных отложениях оз. Байкал и в отложениях современных малых озер его окружения [23, 28, 32]. Более древние донные осадки Байкала (плиоцен и вторая половина верхнего миоцена), вскрытые скважинами, внешне не отличаются от молодых озерных отложений. Между тем разрезы верхнекайнозойских осадочных толщ суходольных впадин расчленены на три свиты: угленосную танхойскую (миоцен – нижний плиоцен), охристую аносовскую (верхний плиоцен – эоплейстоцен) и песчаную (четвертичный период) – с лито-

логическими характеристиками, распознаваемыми при геологическом картировании этих стратонов и бурении скважин. Предполагается, что танхойская свита формировалась в условиях влажного теплого климата, аносовская – в условиях его умеренной аридизации [10, 11]. Для однозначной идентификации стратонов важно использовать в качестве строгого литологического критерия фазовый состав глинистых минералов, слагающих породы.

Изучению глин из нижнекайнозойских отложений Прибайкалья (о. Ольхон, Западное Приольхонье, Тункинская впадина и Прибайкальский прогиб) была посвящена кандидатская диссертация Т. К. Ломоносовой [12]. Отдельные результаты определения глинистых минералов в верхнекайнозойских отложениях из разрезов суходольных впадин рифтовой зоны и берегов оз. Байкал приведены в работах С. А. Кашика [5] и В. Д. Маца и др. [13]. Характер возрастной смены глинистых минеральных фаз в отложениях сухих долин Байкальской рифтовой зоны все еще не определен.

В настоящей статье идентифицируются минеральные фазы стратонов Баргузинской долины с использованием рентгенофазового анализа и физико-химического моделирования.

**Объект исследования**

Баргузинская долина находится восточнее оз. Байкал между поднятиями Баргузинского и Икатского горных хребтов и простирается в направлении на северо-северо-восток (рис. 1).

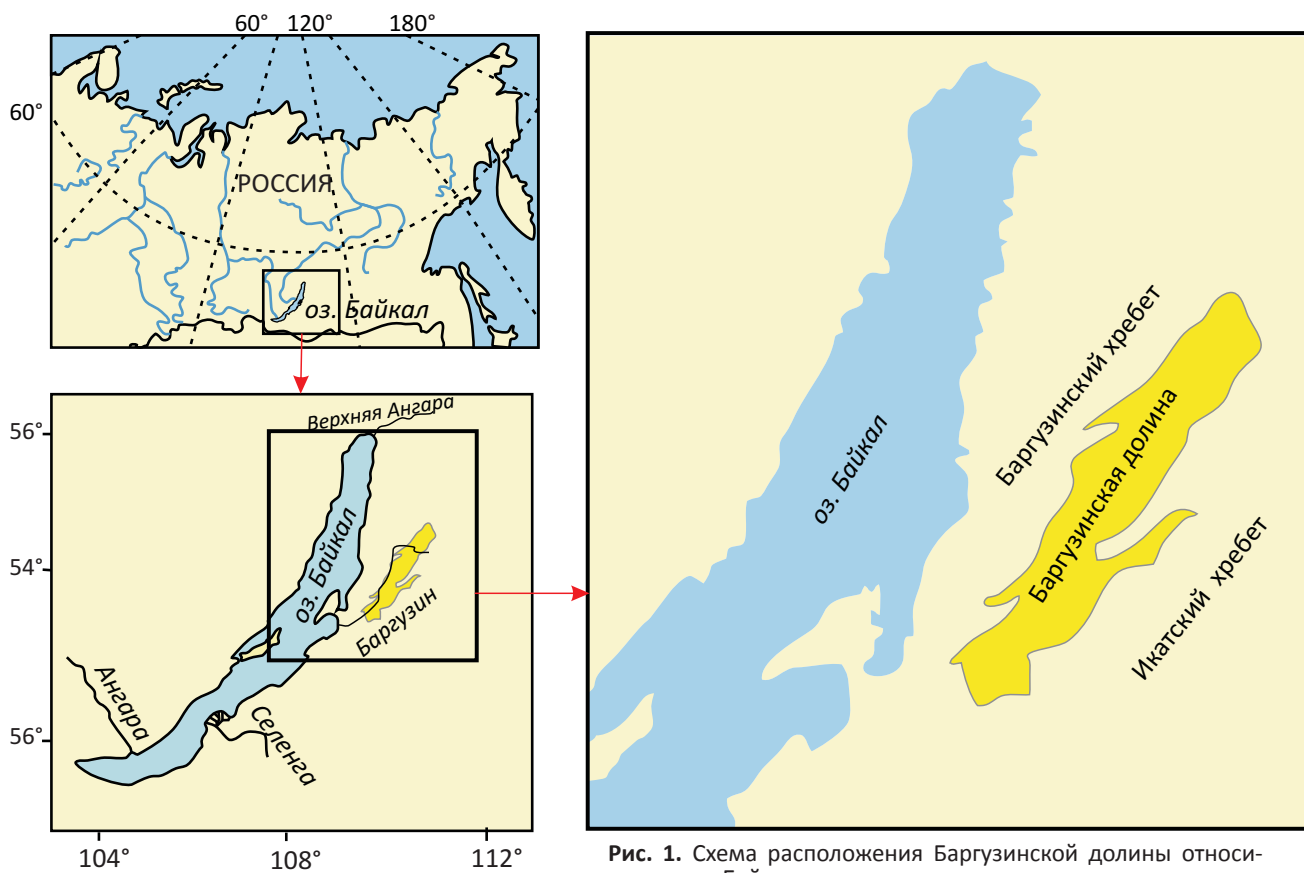
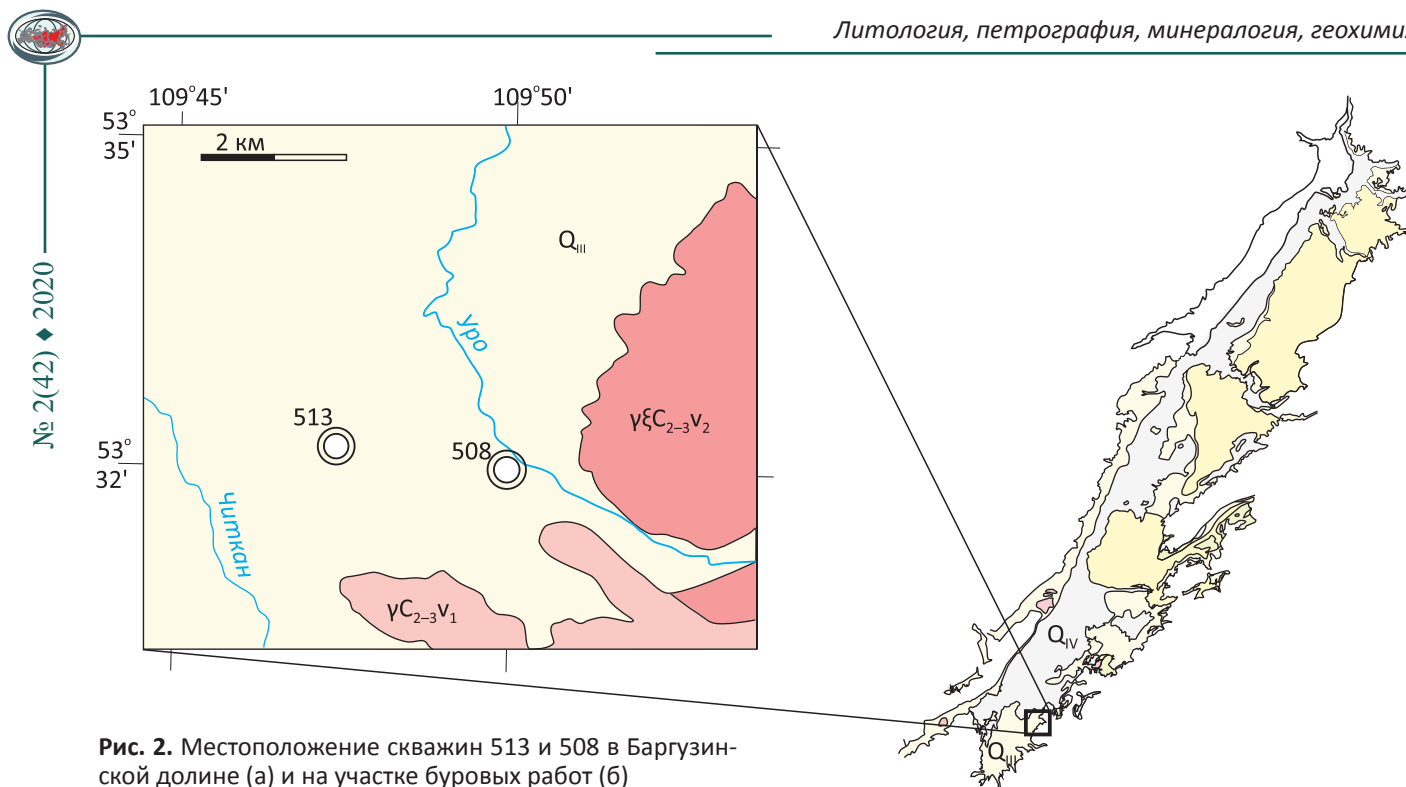


Рис. 1. Схема расположения Баргузинской долины относительно оз. Байкал



**Рис. 2.** Местоположение скважин 513 и 508 в Баргузинской долине (а) и на участке буровых работ (б)

Мощность осадочной толщи в долине составляет до 2500 м. Отложения танхойской и ановоской свит в пределах большей части территории перекрыты сплошным покровом четвертичных образований и фрагментарно обнажаются только у подножия Икатского поднятия (дер. Алга, с. Бодон) и на склоне Шаманской перемычки в долине р. Баргузин [24].

Скважинами 513 и 508 вскрыты отложения южной части долины в междуречье Уро и Читкана (рис. 2). Сква. 513 находится на водоразделе, скв. 508 – в долине р. Уро, в 4,5 км восточнее первой.

Глубина скв. 513 составляет 288,5 м (абс. выс. устья 496 м, забоя – 207,5 м). Фундамент не вскрыт. Постепенный переход от танхойской свиты к ановоской задокументирован по изменению цвета отложений от темно-серого к охристому в инт. 183,5–178,0 м (абс. выс. 312,5–318,0 м).

Глубина скв. 508 – 240,8 м (абс. выс. устья 467 м, забоя – 251,2 м). Фундамент вскрыт на гл. 215,8 м. Переход между свитами в инт. 109,0–107,2 м (абс. выс. 357,0–359,8 м) более резкий.

Основное маркирующее значение в разрезе имеет линза однородных темно-серых озерных алевролитов танхойской свиты (пакет 3) (рис. 3). Мощность этой линзы в скв. 508 составляет 65,4 м и увеличивается до 87,3 м в скв. 513.

Озерную линзу в скв. 508 подстилает 9-метровый слой охристых песчаников (пакет 2). Ниже вскрыт 28-метровый слой серых крупнозернистых песчаников (пакет 1). По створкам диатомовых водорослей озерная линза датируется верхним миоценом. По составу спор и пыльцы подстилающие охристые отложения относятся к верхнему олигоцену [18]. В скв. 513 слои серых крупнозернистых песчаников, частично переслаиваются с алевролитами, их окраска не отличается от серых озерных алевро-

литов. Отсутствие данных по нижней части разреза скв. 513 оставляет неясным вопрос о наличии под этой линзой отложений верхнего олигоцена.

Территория скв. 508 испытывала поднятие относительно скв. 513, что привело к выпадению из разреза нижней угленосной толщи танхойской свиты. В скв. 508 наблюдается сокращенная относительно скв. 513 мощность слоев танхойской свиты. Подобная тенденция выявляется и в вышележащей ановоской свите. В составе этого стратона в обеих скважинах выделено по четыре литологических пакета. В скв. 508 мощность литологически однородных пакетов ановоской свиты составляет 8–21 м, в скв. 513 – 9–73 м. Пакеты 1–3 коррелируются по цветовым характеристикам; финальные пакеты 4 резко различаются: в скв. 508 он сильно обогащен лимонитом, в скв. 513 такого не наблюдается.

Мощность перекрывающих четвертичных пролювиальных отложений в скв. 508 на 24 м больше, чем в скв. 513. Принимая во внимание 29-метровое превышение водораздела рек Читкан и Уро (устье скв. 513) относительно днища долины последней (устье скв. 508), увеличение мощности четвертичного обломочного материала в долине р. Уро свидетельствует об относительном четвертичном тектоническом опускании территории этой долины более чем на 50 м. Из выявленных соотношений мощностей разновозрастных осадочных отложений в скважинах следует вывод о согласованном накоплении пакетов танхойской и ановоской свит и о резкой структурной перестройке в финале накопления ановоской свиты.

#### Аналитические методы

Аналитические исследования осадочных отложений проводились в Институте земной коры

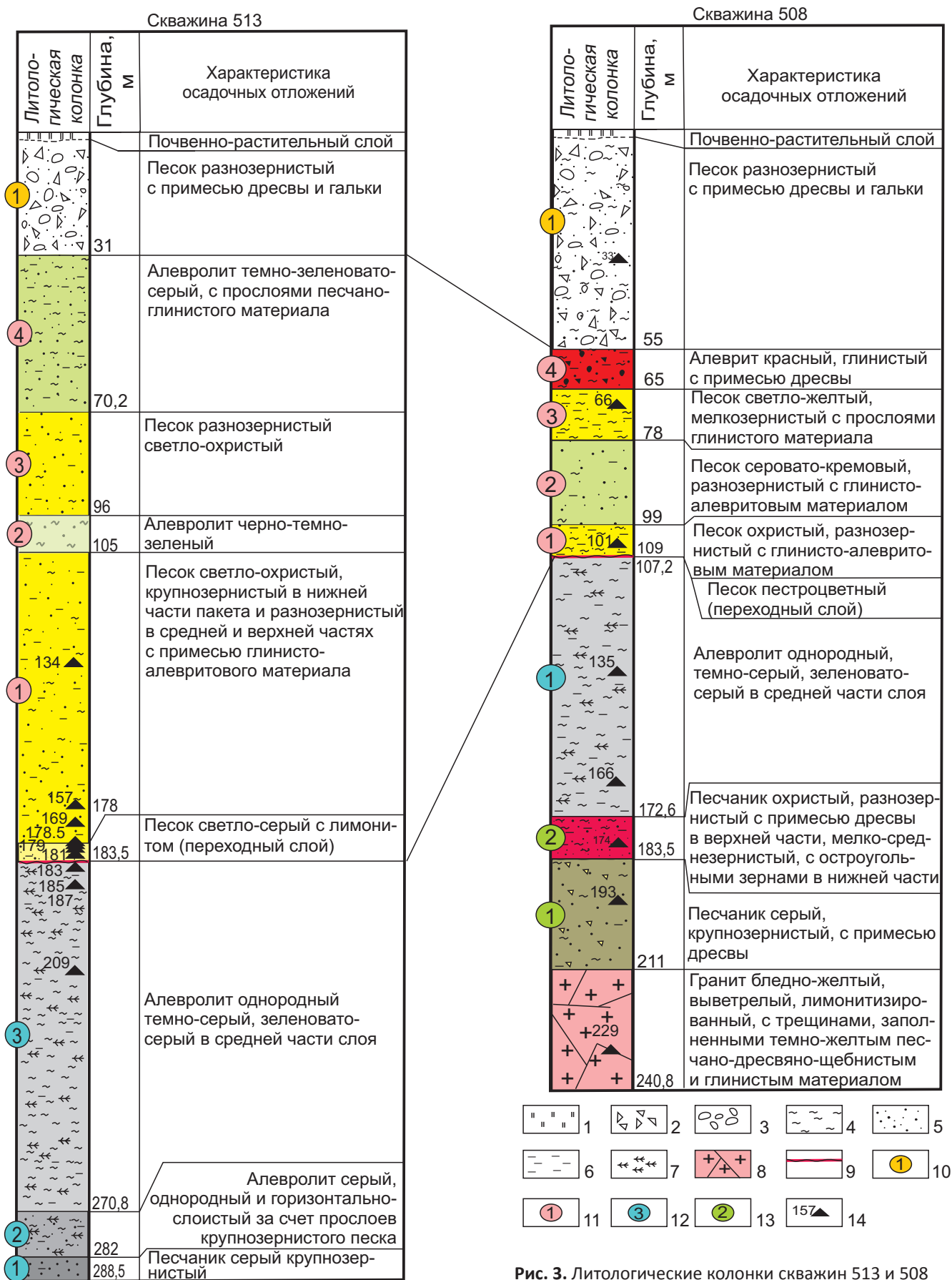


Рис. 3. Литологические колонки скважин 513 и 508

1 – почвенно-растительный слой; 2 – дресва; 3 – гальки; 4 – алевриты; 5 – песок разномзернистый; 6 – глины; 7 – органика; 8 – гранит; 9 – переходный слой от танхойской свиты к ановоской; номера пакетов: 10 – четвертичных отложений, 11 – ановоской свиты, 12 – танхойской свиты, 13 – дотанхойской толщи; 14 – номера образцов, отобранных на рентгеновские исследования состава глин



СО РАН. Содержания петрогенных оксидов определены методом «мокрой химии» для 86 образцов.

Определения глинистых минералов выполнены рентгенофазовым анализом для 20 образцов. Ориентированные препараты плотностью 20 мг/см<sup>3</sup> готовились из нефракционированных проб нанесением водной суспензии на стеклянную подложку (2,5×2,5 см) и высушиванием при комнатной температуре. Препараты для моделирования дифракционных профилей помещались в бокс и насыщались этиленгликолем в течение суток. Съёмка образцов выполнялась на автоматизированном дифрактометре ДРОН-3.0 (источники рентгеновского излучения – Cu K $\alpha$  рентгеновские трубки с анодами из меди, группы линий L, заряжены альфа-положительно, Ni – никелевый фильтр, излучаемая энергия или напряжение  $V$  25 кВ, интенсивность отражений  $I$  20 мА, интервал углов отражения  $2\theta$  3–55°, скорость измерения 1°/мин). Образцы для измерений готовились в виде порошка (истиранием в спирте до состояния пудры) и в виде ориентированных препаратов (истиранием резиновым пестиком в дистиллированной воде, осаждение суспензии на стекло и высушивание при комнатной температуре). Рентгеновская съёмка проводилась в препаратах: 1) подготовленных в исходном воздушно-сухом состоянии (BC), 2) предварительно насыщенных этиленгликолем (ЭГ), 3) прокаленных в муфельной печи в течение 3 ч при температуре 550 °C (Т).

Количественное распределение глинистых фаз в отложениях рассчитывалось по химическому составу образцов методом физико-химического моделирования на программном комплексе «Селектор» [4, 26]. Этот метод был опробован при изучении донных отложений оз. Байкал [15].

В расчете минеральных фаз учитывалось присутствие свободной воды непосредственно в осадке и количественная компенсация растворенными в воде ионами элементов, которые находятся в межслоевых промежутках глин и не могут быть учтены при записи стехиометрических формул. Для этого в расчете к потерям при прокаливании (п. п. п.) дополнительно прибавлялся 0,1 моль H<sub>2</sub>O (1,8 г).

Термодинамическое моделирование позволяет использовать для расчета реальный, а не нормативный состав глинистых минералов в виде модели твердых растворов. Описание смешанослойных глинистых минералов при помощи списка минералов приведено в работе [33]. При формировании модели подбирались вероятные минеральные фазы исходя из геологического строения территории и результатов рентгенофазового анализа осадочных отложений Баргузинской долины. В расчеты включены 248 зависимых компонентов, в том числе 63 – водного раствора, 185 – твердых фаз. В расчете минерального состава использованы модели твердых растворов иллитов, монтмориллонитов, хлоритов и полевых шпатов, термо-

динамические свойства которых взяты из работ [25, 27, 30, 33–36].

## Результаты и их обсуждение

### Химический состав отложений

Смена стратонов в разрезе отражена в изменении содержаний петрогенных оксидов осадочных отложений (табл. 1, 2).

Переход от сероцветных озерных отложений танхойской свиты к охристым аллювиальным отложениям аносовской свиты в обеих скважинах отчетливо фиксируется по возрастанию Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/FeO от 1,0–3,2 до 3–44. Такая же смена сероцветных озерных отложений танхойской свиты охристыми отложениями аносовской с переходным граничным значением Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/FeO была определена в последовательности этих свит разреза Бодон центральной части Баргузинской долины [17, 29]. Для озерных отложений танхойской свиты характерны сравнительно низкие содержания SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и FeO. В аллювиальных отложениях аносовской свиты определены более значительные вариации этих оксидов с повышением корреляции содержаний MgO и CaO: в аносовской свите коэффициент корреляции  $R = 0,98$ , в танхойской  $R = 0,72$ .

### Рентгенофазовый анализ

Для определения минерального состава отложений рентгенофазовым методом выбраны реперные образцы. В скв. 513 сделан акцент на изучении перехода от танхойской свиты к аносовской. Из десяти изученных образцов три представляют озерную часть танхойской свиты, три – аносовскую и четыре – переходный слой между ними. В скв. 508 исследованиями восьми образцов охвачены все вскрытые литологические пакеты. Отобран образец глины из трещины в гранитах фундамента, по одному образцу – из двух дотанхойских пакетов, два образца – из отложений танхойской свиты, два – из аносовской свиты и один – из четвертичных отложений.

На рис. 4 приведены результаты съёмки порошкового препарата образца 513/157. Лента самописца фиксирует кривую зависимости интенсивности дифракционной картины от угла отражения  $2\theta$ . Первичная информация о состоянии вещества получается из внешнего вида рентгеновских спектров. Однородный по параметрам решетки кристаллический материал дает узкие и высокие дифракционные пики, а неоднородный плохо кристаллизованный – широкие и низкие. Такие результаты получаются для осадков, содержащих смешанослойные глинистые минералы.

Для достоверной идентификации минеральных фаз проведена рентгеновская съёмка трех препаратов одного и того же образца, подготовленных различными способами (рис. 5). Каждый минерал дает одинаковый дифракционный спектр, характеризующийся набором межплоскостных расстояний  $d(hkl)$  и соответствующих ин-





Таблица 1

Содержания петрогенных оксидов (мас. %) в представительных образцах скв. 513

Глубина, м	Аносовская свита			Переходный слой				Танхойская свита		
	134	157	169	178.5	179	181	183	185	187	209
SiO <sub>2</sub>	66,49	57,27	59,90	60,54	58,85	60,73	55,50	51,39	56,29	53,24
TiO <sub>2</sub>	0,49	1,11	0,56	0,70	0,77	0,73	0,90	0,99	1,00	0,85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,30	22,54	15,43	18,07	18,48	18,59	18,97	18,07	16,35	18,28
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,74	2,17	8,05	3,62	3,32	2,47	2,44	3,79	3,24	4,57
FeO	0,45	0,60	1,11	1,57	1,91	1,59	3,22	4,25	3,27	2,95
MnO	0,06	0,02	0,06	0,07	0,06	0,06	0,10	0,10	0,08	0,11
MgO	0,65	1,10	1,51	1,72	1,91	1,47	2,12	1,58	1,48	1,74
CaO	1,64	1,85	2,10	2,59	2,65	3,17	2,68	1,74	1,57	1,72
Na <sub>2</sub> O	2,63	2,13	2,77	3,31	3,36	3,65	2,87	1,68	1,67	1,93
K <sub>2</sub> O	5,00	2,55	4,33	4,04	3,99	3,72	3,02	1,79	1,67	1,93
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,08	0,20	0,13	0,11	0,23	0,23	0,21	0,17	0,13	0,17
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,58	1,92	0,92	0,51	0,32	0,40	0,65	1,70	1,67	1,74
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	2,96	6,62	3,35	3,15	3,68	2,87	6,05	11,18	10,75	10,66
CO <sub>2</sub>	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0,84	1,40	0,83	0,34
Сумма	100	100	100	100	100	100	99,57	99,82	99,99	100,2

Примечания. Н.о. – не обнаружено. Танхойский и аносовский стратоны, первоначально выделенные как угленосная и охристая свиты [10], утверждены на Третьем Межведомственном региональном стратиграфическом совещании [22].

Таблица 2

Содержания петрогенных оксидов (мас. %) в представительных образцах скв. 508

Глубина, м	Аносовская свита				Переходный слой		Танхойская свита			
	57	66	80	101	107.5	109	111	120	140	169
SiO <sub>2</sub>	56,98	69,76	47,79	59,28	77,25	48,12	48,00	53,64	53,99	52,61
TiO <sub>2</sub>	0,50	0,51	0,56	0,80	0,11	1,09	0,97	0,80	0,72	0,87
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,72	16,73	18,69	20,07	11,73	15,90	18,48	18,33	21,48	20,38
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,62	0,94	17,07	3,82	1,25	13,50	6,72	4,28	3,54	4,99
FeO	0,35	0,12	0,39	0,35	0,25	0,39	3,92	3,42	2,19	1,56
MnO	0,14	0,01	0,02	0,03	0,03	2,57	0,12	0,15	0,07	0,04
MgO	1,84	0,23	0,48	1,19	0,21	1,81	2,89	2,20	1,47	1,90
CaO	3,72	0,88	0,67	2,18	0,74	2,19	2,24	2,53	1,27	2,01
Na <sub>2</sub> O	1,01	2,83	1,62	2,98	1,77	2,21	2,41	2,64	1,51	2,11
K <sub>2</sub> O	2,97	5,02	2,93	3,62	5,78	2,46	2,93	2,85	2,63	2,47
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,12	0,06	0,37	0,32	0,06	0,82	0,15	0,17	0,34	0,15
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	1,91	0,25	1,31	0,94	0,05	1,51	0,47	0,26	0,02	1,14
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	8,05	2,54	7,74	4,39	0,94	6,88	3,35	2,27	0,82	9,32
CO <sub>2</sub>	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0,56	0,43	0,21	Н.о.
Сумма	99,93	99,88	99,64	99,97	100,2	99,45	93,21	93,97	90,26	99,55

Примечание. Н.о. — не обнаружено.

тенсивностей линий I(hkl), что дает возможность определения минерального состава образца [23]. К примеру, пик на графике BC (7,2218) соответствует каолиниту. Этот минерал фиксируется высоким пиком и на графике ЭГ и отсутствует на графике Т, поскольку при прокаливании каолинит разрушается. В результате расшифровки дифрактограммы получен фазовый состав образца: каолинит, смектит (возможно две модификации), гидрослюда (с разбухающими смектитовыми пакетами), полевой шпат и кварц.

По результатам рентгенофазовых исследований отложений скв. 513 выявлены вариации минерального состава по разрезу. Во всех изученных пробах идентифицированы обломочные минералы (альбит, кварц, глинистые минералы: каолинит, смектит и гидрослюда). Микроклин определен только в отложениях переходного слоя и вышележащих отложениях аносовской свиты. Его отсутствие в отложениях танхойской свиты свидетельствует о повышенной степени выветривания пород в источнике сноса. В пелитовой фракции танхойской свиты содержатся хлорит

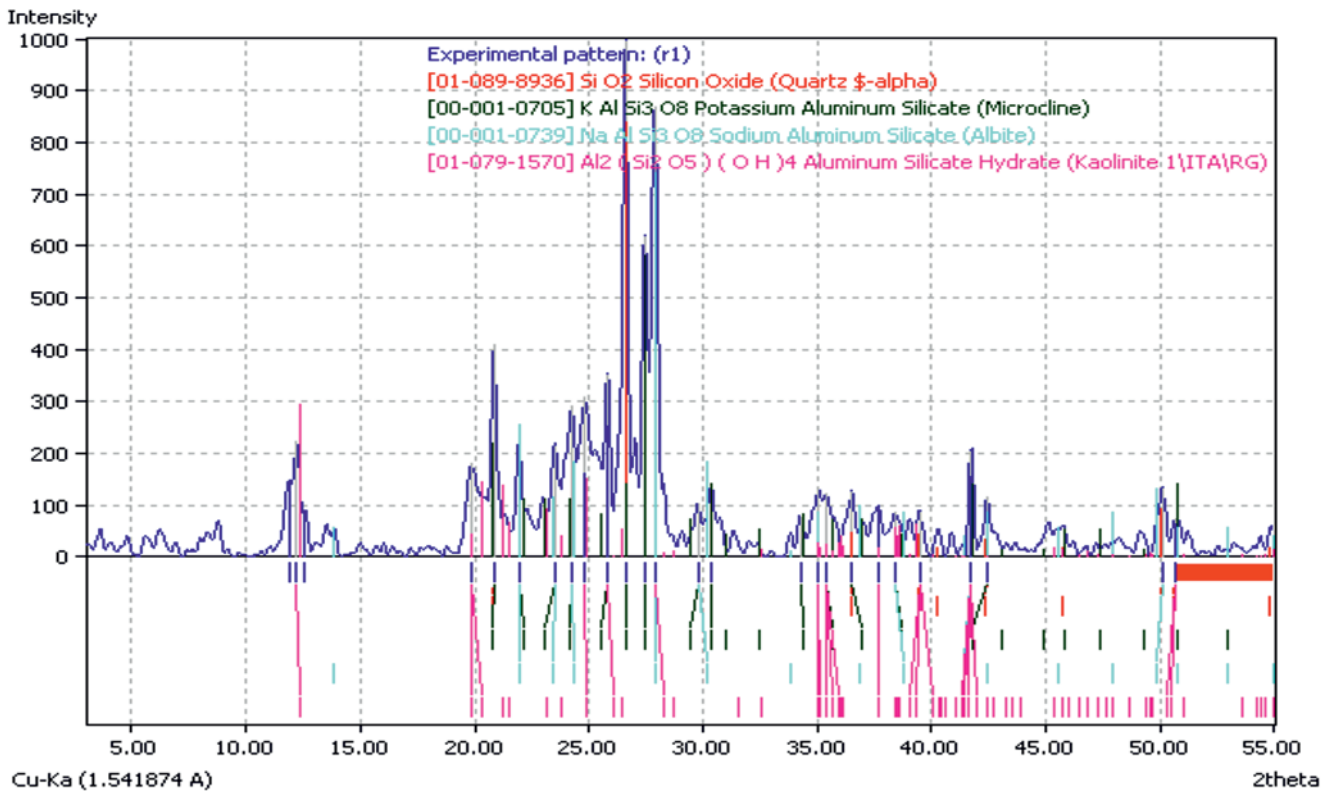


Рис. 4. Результаты съемки порошкового препарата на дифрактограмме образца 513/157

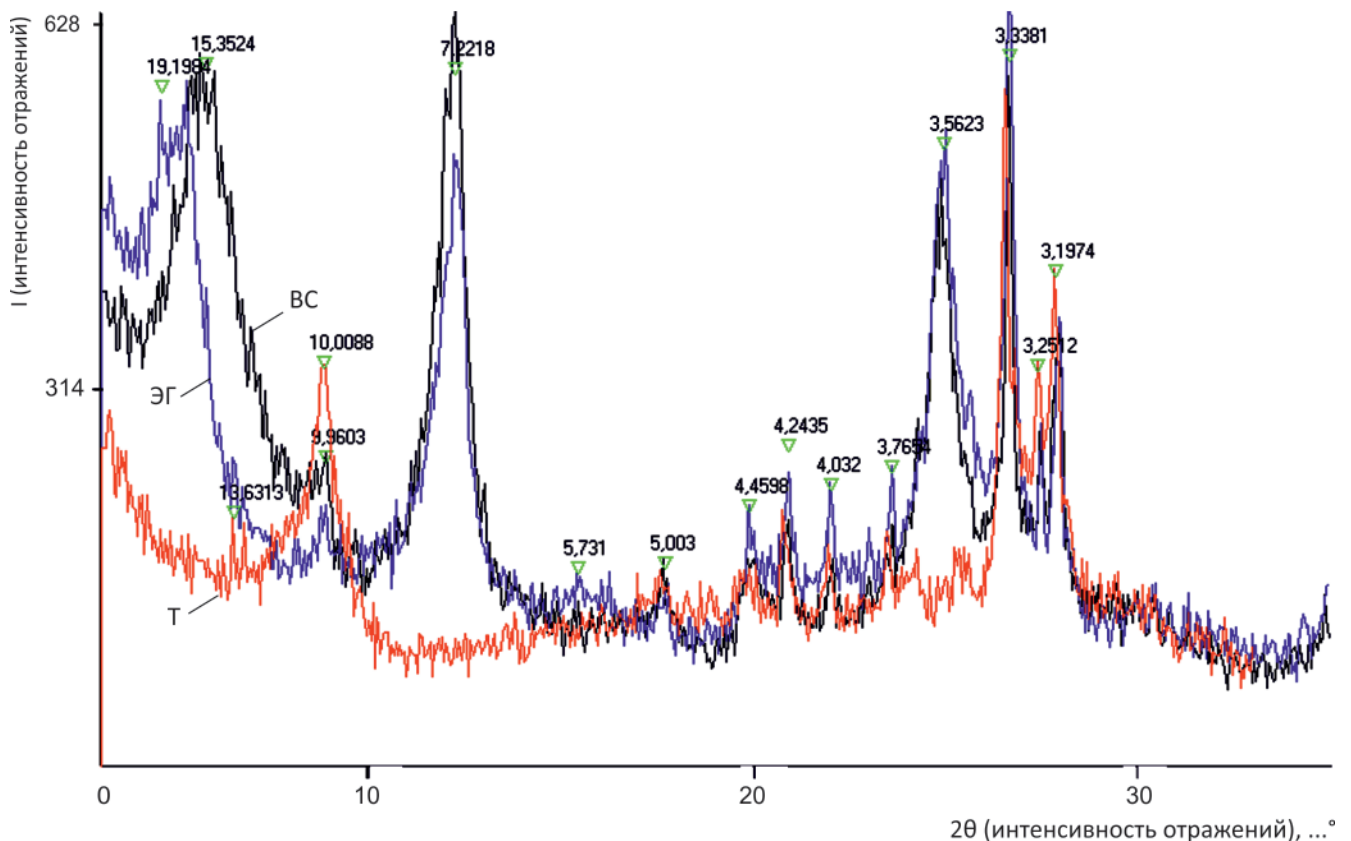


Рис. 5. Дифрактограмма ориентированного препарата образца 513/157 (BC – воздушно-сухой препарат, ЭГ – препарат насыщен этиленгликолем, Т – препарат прокален в муфельной печи)

и монтмориллонит, не характерные ни для анососовой свиты, ни для переходного слоя. В пелитовой фракции переходного слоя и анососовой свиты имеются смешанослойные глинистые минералы, не выявленные в нижележащей танхойской свите (рис. 6).

Во всех пробах скв. 508 также присутствуют кварц и альбит, глинистые – каолинит, смектит и гидрослюда (рис. 7). Микроклин не идентифицирован. В пелитовой фракции дотанхойских верхнеолигоценых охристых отложений пакета

2 содержится гетит, не типичный для других слоев разреза; в пелитовой фракции переходного слоя и ановосской свиты – смешанослойные глинистые минералы, не обнаруженные в нижележащих отложениях.

Минеральный состав отложений переходного слоя маркирует смену условий осадконакопления от танхойского времени к ановосскому. По составу глинистых минералов переходный слой сопоставляется с ановосской свитой.

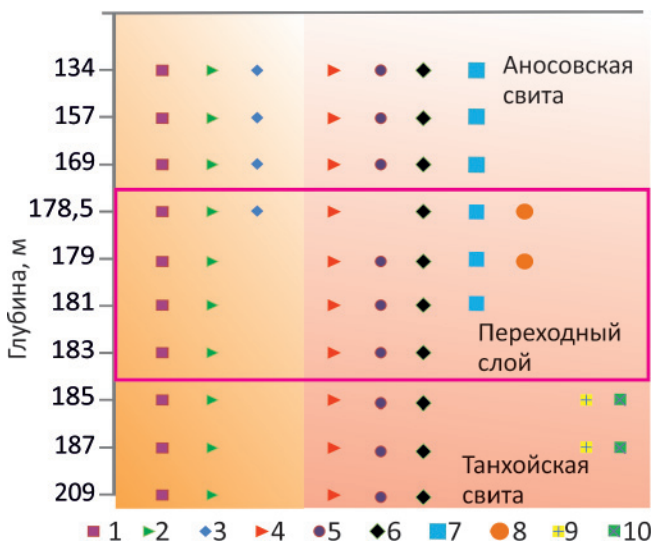


Рис. 6. Минеральный состав представительных проб скв. 513 в инт. 134–209 м по данным рентгенофазовых исследований (в трех пробах идентифицирована гидрослюда – иллит)

1 – альбит; 2 – кварц; 3 – микроклин; 4 – каолинит; 5 – смектит; 6 – гидрослюда; 7 – смешанослойные глинистые минералы; 8 – иллит; 9 – монтмориллонит; 10 – хлорит

Результаты рентгенофазового исследования свидетельствуют о распространении в танхойской свите хлорита и монтмориллонита, в ановосской свите и переходном слое – микроклина и смешанослойных глинистых минералов, не присущих танхойской свите. Во всех пробах идентифицированы обломочные (кварц) и глинистые минералы (каолинит, смектит и гидрослюда).

**Физико-химическое моделирование минерального состава**

Результаты расчета минерального состава отложений в разрезах скв. 513 и 508 методом физико-химического моделирования (ФХМ) на ПК (программный комплекс) «Селектор» представлены на рис. 8, 9.

По результатам моделирования во всех пробах отложений скв. 513 идентифицирован кварц. В танхойской свите определены иллит (более 25 вес. %), хлорит и монтмориллонит, в ановосской свите и переходном слое – микроклин и биотит, не свойственные танхойской свите. Мусковит входит в состав отложений танхойской свиты в небольших

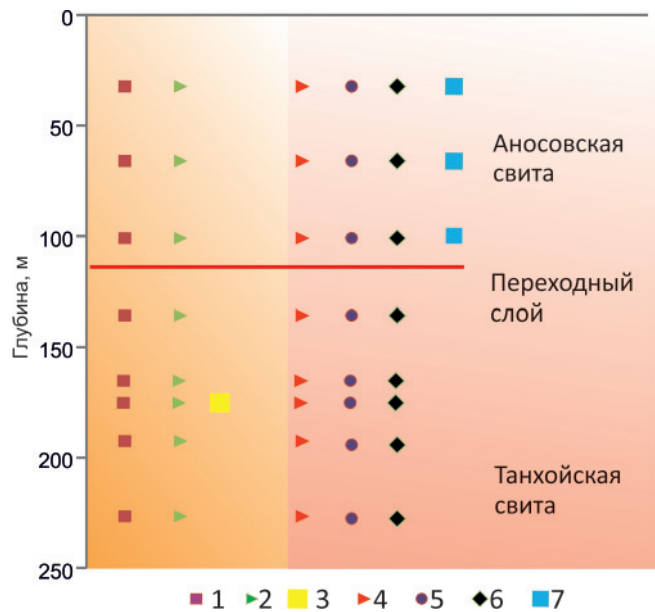


Рис. 7. Минеральный состав представительных проб скв. 508 в инт. 33–229 м по данным рентгенофазовых исследований

1 – микроклин; 2 – кварц; 3 – гетит; 4 – каолинит; 5 – смектит; 6 – гидрослюда; 7 – смешанослойные глинистые минералы

количествах (до 18 %), а в вышележащих его содержание от 18 до 40 %.

Результаты моделирования распределения минералов по разрезу скв. 508 показывают характерные минеральные фазы озерных отложений танхойской свиты – хлорит и монтмориллонит. Выше по разрезу (в переходном слое, ановосской свите и четвертичных отложениях) и ниже по разрезу (в дотанхойских отложениях) эти минеральные фазы не выявляются, лишь в дотанхойской толще слабо проявлен монтмориллонит. По данным ФХМ для дотанхойской толщи, переходного слоя, ановосской свиты, четвертичных отложений) характерно присутствие биотита и микроклина (за исключением четвертичных отложений). Данные минералы по данным ФХМ в отложениях танхойской свиты отсутствуют. Подобно относительному распределению в разрезе микроклина и биотита количество мусковита в танхойской свите невелико и немного возрастает в дотанхойских отложениях и в ановосской свите. Относительное распределение кварца коррелируется с распределением микроклина, биотита и мусковита, что в целом отражает повышение роли обломочного материала в нижней (дотанхойской) и верхней (ановосской, четвертичной) частях разреза и снижение – в средней (танхойской).

Полученные расчетные данные ФХМ вариаций минеральных фаз в разрезе осадочной толщи в целом согласуются с данными прямых рентгенофазовых исследований пелитовой фракции отложений. Для озерной толщи танхойской свиты получены несколько отличающиеся ассоциации минеральных фаз, что, по-видимому, отражает накопление осад-

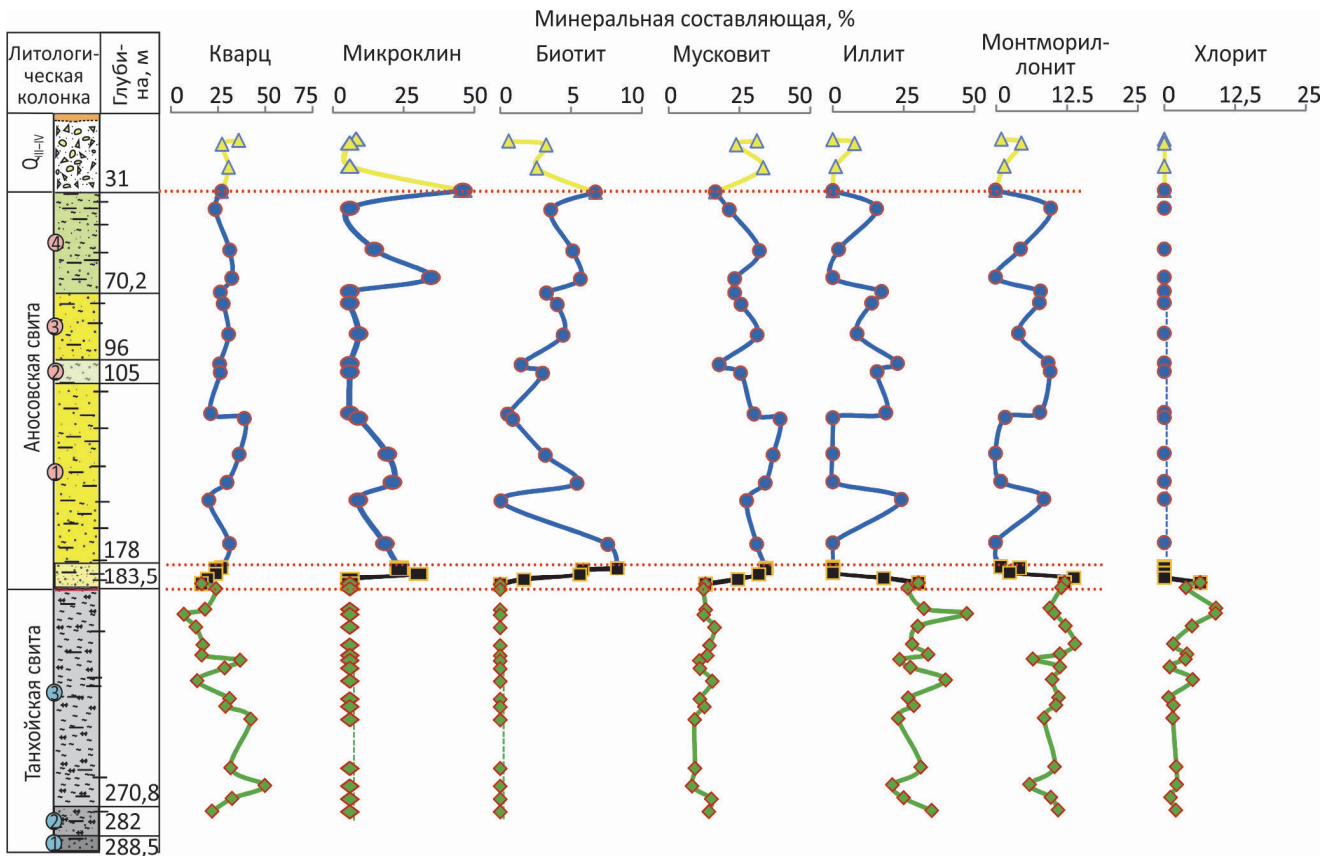


Рис. 8. Минеральный состав отложений в разрезе скв. 513 по данным ФХМ с глубиной  
Усл. обозн. см. на рис. 3

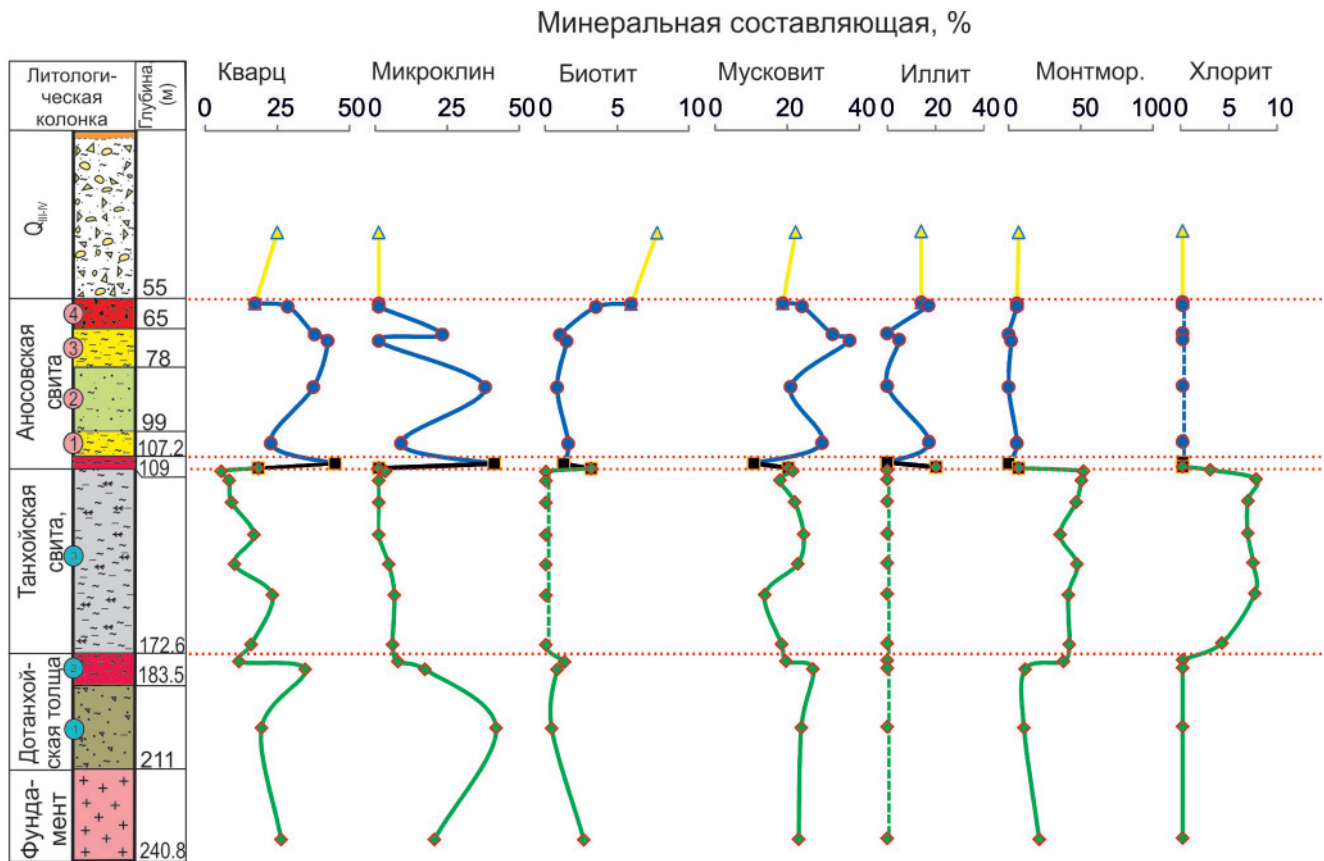


Рис. 9. Минеральный состав отложений в разрезе скв. 508 по данным ФХМ с глубиной  
Усл. обозн. см. на рис. 3



ков сокращенной мощности в скв. 508 на поднимавшемся дне озера и большей мощности в скв. 513 на опускавшемся дне. Очевидно, что скважины, пройденные на поднятых участках дна озера, в том числе на межвпадинных перемычках, вскрывают осадки, отличающиеся по составу глинистой фракции от осадков глубоких частей озера.

### Корреляция с донными отложениями оз. Байкал

Отложения Академического хребта, вскрытые 600-метровой скв. BDP-98, рассматриваются как отложения авандельты р. Пра-Баргузин [6]. В глинистой фракции донных отложений нижней части разреза (203–600 м) идентифицированы хлорит и гиббсит в ассоциации с гидрослюдой (иллитом). Высокое содержание в верхнемиоценовых осадках оз. Байкал гидрослюды, смектита и хлорита связывались с формированием осадков в сравнительно теплых климатических условиях позднего миоцена. Вхождение слюды и полевых шпатов в верхней части разреза было сопряжено с плиоценовым переходом от умеренного климата к умеренно-холодному.

Расчетные данные о минеральном составе отложений танхойской свиты Баргузинской долины, согласующиеся с результатами рентгенометрического анализа, свидетельствуют о присутствии хлорита в озерных отложениях танхойской свиты при отсутствии гиббсита. Распространение хлорита коррелируется с его распространением в синхронных донных отложениях Академического хребта. В отличие от монотонной глубоководной седиментации в оз. Байкал смена глинистых фаз в изученном разрезе Баргузинской долины обозначила аридизацию климата, запечатленную литологическим переходом от сероцветных озерных отложений танхойской свиты к красноцветным аллювиальным образованиям аносовской свиты.

### Выводы

В южной части Баргузинской долины скважинами вскрыта последовательность дотанхойских отложений верхнего олигоцена, озерных отложений танхойской свиты верхнего миоцена – нижнего плиоцена, охристой аносовской свиты верхнего плиоцена – эоплейстоцена и перекрывающих четвертичных отложений. Переход от озерных сероцветных отложений танхойской свиты к охристым отложениям аносовской свиты выражен возрастанием отношения  $Fe_2O_3/FeO$  от 1,0–3,2 до 3–44.

Из анализа соотношений мощностей разновозрастных литологических пакетов в скважинах 508 и 513 следует вывод о согласованном накоплении танхойской и аносовской свит и о резкой структурной перестройке территории в финале накопления последней. Определения вариаций минералов осадочных отложений Баргузинской долины методом физико-химического моделирования показали относительное распространение кварца, коррелиру-

ющееся с таковым микроклина, биотита и мусковита, что свидетельствует о возрастании содержания обломочного материала в нижней (дотанхойской) и верхней (аносовской, четвертичной) частях разреза и снижении – в средней (танхойской). Озерные отложения танхойской свиты разной мощности, вскрытые скважин 508 и 513, показали несколько различающиеся ассоциации глинистых фаз, что объясняется сменой условий седиментации на поднятом и опущенном дне палеозера.

Из результатов физико-химических расчетов следует, что для озерных отложений танхойской свиты характерны хлорит и монтмориллонит. Выше и ниже по разрезу эти минеральные фазы не идентифицированы. В верхней части разреза присутствует биотит, не свойственный танхойской свите. В переходном слое и аносовской свите идентифицирован микроклин. Для дотанхойских отложений по данным ФХМ рассчитаны биотит и микроклин. Содержание мусковита в танхойской свите невелико и относительно возрастает в дотанхойских отложениях и в аносовской свите.

При рентгенофазовых исследованиях во всех пробах определены кварц, каолинит, фазы минералов группы смектита и гидрослюд. В озерных отложениях танхойской свиты выделены хлорит и монтмориллонит, но не обнаружены микроклин и смешанослойные глинистые минералы, характерные для отложений переходного слоя и аносовской свиты. Результаты рентгенофазовых исследований пелитовой фракции отложений согласуются с расчетными данными физико-химического моделирования минеральных фаз.

Выявленная смена глинистых фаз от сероцветных озерных отложений танхойской свиты к красноцветным аллювиальным отложениям аносовской свиты в Баргузинской долине коррелируется с изменением ассоциации глинистых минералов в донных отложениях Академического хребта оз. Байкал – снижением роли хлорита и исчезновением гиббсита.

*Скважины 513 и 508 пройдены в Баргузинской долине в 2012 г. филиалом «Сосновгеология» ФГУПП «Урангеологоразведка». Керн опробовался в 2013 г. Авторы благодарят А. Ю. Федина, В. Л. Коломийца, Р. Ц. Будаева и М. В. Усольцеву за помощь в его документации. Осадочный материал обрабатывался в совместной лаборатории современных методов исследования в динамической и инженерной геологии ИГУ и ИЗК СО РАН в рамках выполнения госзадания по проекту Института земной коры № 0346-2016-0005 и геологического факультета ИГУ.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Голдырев Г. С.** Осадкообразование и четвертичная история озера Байкал. – Новосибирск: Наука, 1982. – 182 с.
2. **Дейк Р., Вебстер Д., Каллендер Э.** Изменение осадков и аутигенная минералогия по колон-

кам 307P, 307 A–3 на Академическом хребте озера Байкал // Геология и геофизика. – 1993. – Т. 34, № 10–11. – С. 160–173.

3. **Глинистые** минералы как индикатор химических процессов в водосборе озера Байкал при глобальных изменениях природной среды и климата / Э. П. Солотчина, Т. Е. Горелик, А. А. Прокопенко и др. // Химия в интересах устойчивого развития. – 1999. – Т. 7, № 5. – С. 585–591.

4. **Карпов И. К.** Физико-химическое моделирование на ЭВМ в геохимии. – Новосибирск: Наука, 1981. – 247 с.

5. **Кашик С. А.** Определение минерального состава породы по валовому химическому анализу // Сов. геология. – 1973. – № 10. – С. 144–147.

6. **Кашик С. А., Ломоносова Т. К.** Кайнозойские отложения подводного Академического хребта в озере Байкал // Литоология и полезные ископаемые. – 2006. – № 4. – С. 339–353.

7. **Кашик С. А., Мазиллов В. Н.** Литоология четвертичных отложений в разрезе глубокой скважины в акватории озера Байкал // Литоология и полезные ископаемые. – 1997. – № 5. – С. 484–491.

8. **Котельников Д. Д., Конюхов А. И.** Глинистые минералы осадочных пород. – М.: Недра, 1986. – 247 с.

9. **Кузьмин М. И., Солотчина Э. П., Василевский А. Н.** Глинистые минералы донных осадков озера Байкал как индикатор палеоклимата // Геология и геофизика. – 2000. – Т. 41, № 10. – С. 1347–1359.

10. **Логачев Н. А.** Кайнозойские континентальные отложения впадин байкальского типа // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1958. – № 4. – С. 18–20.

11. **Логачев Н. А.** Саяно-Байкальское становое нагорье // Нагорья Прибайкалья и Забайкалья. – М.: Наука, 1974. – С. 7–163.

12. **Ломоносова Т. К.** Минералогия и генезис глин раннекайнозойских отложений Прибайкалья: автореф. дис. ... к. г.-м. н. – Иркутск: Изд-во ун-та, 1972. – 23 с.

13. **Мац В. Д., Уфимцев Г. Ф., Мандельбаум М. М.** Кайнозой Байкальской рифтовой впадины: строение и геологическая история. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2001. – 252 с.

14. **Милло Ж.** Геология глин. – Л.: Недра, 1968. – 359 с.

15. **Модели** твердых растворов для расчета минерального состава донных осадков озера Байкал: новый подход к палеоклиматическим реконструкциям / А. В. Ощепкова, М. И. Кузьмин, В. А. Бычинский и др. // Докл. РАН. – 2015. – Т. 461, № 4. – С. 447–450.

16. **Осипов В. И., Соколов В. Н.** Глины и их свойства. – М.: ГЕОС, 2013. – 576 с.

17. **Пирокластика** как показатель поднятия Икатского хребта относительно Баргузинской впадины Байкальской рифтовой зоны / С. В. Рассказов, И. С. Чувашова, Т. А. Ясныгина и др. // География и природные ресурсы. – 2016. – № 5. – С. 117–127.

18. **Рассказов С. В., Трегуб Т. Ф., Волков М. А.** Палинологическая характеристика аллювиальных толщ долины реки Баргузин (Республика Бурятия) // Вест. ВГУ. Сер. Геология. – 2019. – № 2. – С. 150–152.

19. **Ратеев М. А.** Глинистые минералы в донных осадках современных водоемов // Образование осадков в современных водоемах. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – С. 339–371.

20. **Ратеев М. А.** Закономерности размещения и генезис глинистых минералов в современных и древних морских бассейнах. – М.: Наука, 1964. – 273 с.

21. **Результаты** бурения первой скважины на озере Байкал в районе Бугульдейской перемычки / Д. Вильямс, М. С. Грачев, Т. Каваи и др. // Геология и геофизика. – 1995. – Т. 36, № 2. – С. 2–32.

22. **Решения** Третьего межведомственного регионального стратиграфического совещания по мезозою и кайнозою Средней Сибири. – Новосибирск: Наука, 1981. – 91 с.

23. **Солотчина Э. П.** Структурный типоморфизм глинистых минералов осадочных разрезов и кор выветривания. – Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2009. – 234 с.

24. **Соотношение** древней и кайнозойской структур в Байкальской рифтовой зоне / С. М. Замаераев, Е. П. Васильев, А. М. Мазукабзов и др. – Новосибирск: Наука, 1979. – 130 с.

25. **Термохимическое** изучение природного монтмориллонита / Л. П. Огородова, И. А. Киселева, Л. В. Мельчакова и др. // Геохимия. – 2013. – № 6. – С. 541–551.

26. **Чудненко К. В.** Термодинамическое моделирование в геохимии: теория, алгоритмы, программное обеспечение, приложения. – Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2010. – 287 с.

27. **Berman R. G.** Internally-consistent thermodynamic data for minerals in the system  $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{MgO} - \text{FeO} - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{TiO}_2 - \text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2$  // Journal of Petrology. – 1988. – Vol. 29. – P. 445–552.

28. **Climate** signals in sediment mineralogy of Lake Baikal and Lake Hovsgol during the LGM-Holocene transition and the 1-Ma carbonate record from the HDP-04 drill core / E. P. Solotchina, A. A. Prokopenko, M. I. Kuzmin, et al. // Quaternary International. – 2009. – Vol. 205. – P. 38–52.

29. **First** study of fossil diatom flora from Middle Miocene – Lower Pliocene lacustrine sediments in Barguzin Valley, Baikal Rift Zone / A. Hassan, M. Usoltseva, S. Rasskazov, et al. // Quaternary International. – 2019. – Without number. – P. 1–7.

30. **Helgeson H. C.** Thermodynamics of minerals, reactions, and aqueous solutions at high pressures and temperatures // Amer. Journ. of Science. – 1985. – Vol. 285(9). – P. 845–855.

31. **Late** Pliocene sedimentation in lake Baikal: implications for climatic and tectonic change in SE Si-



beria / J. Muller, H. Oberhansli, M. Melles, et al. // Palaeogeography. Palaeoclimatology. Palaeoecology. – 2001. – Vol. 174. – P. 305–326.

32. **Late** Quaternary clay mineral record in Central Lake Baikal (Academician Ridge, Siberia) // N. Fagel, T. Boski, L. Likhoshway, H. Oberhaensli // Palaeogeography. Palaeoclimatology. Palaeoecology. – 2003. – Vol. 193. – P. 331–363.

33. **Ransom B., Helgeson G.** Compositional end members and thermodynamic components of illite and dioctahedral aluminous smectite solid solutions // Clays and Clay minerals. – 1993. – Vol. 41, no. 5. – P. 537–550.

34. **Thermodynamic** properties of illite, smectite and beidellite by calorimetric methods: Enthalpies of formation, heat capacities, entropies and Gibbs free energies of formation / H. Gailhanou, P. Blanc, J. Rogez, et al. // Geochim. et Cosmochim. Acta. – 2012. – No. 89. – P. 279–301.

35. **Wolery T. J., Jove-Colon C. F.** Qualification of thermodynamic data for geochemical modeling of mineral–water interactions in dilute systems // Office of Scientific Technical Information Technical Reports. – 2004. – November. – P. 117–212

36. **Yokokawa H.** Tables of thermodynamic functions for inorganic compounds // J. National chemical laboratory for industry. – 1988. – Vol. 83. – P. 27–121.

## REFERENCES

1. Goldyrev G.S. *Osadkoobrazovaniye i chetvertichnaya istoriya ozera Baykal* [Sedimentation and Quaternary history of Lake Baikal]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1982. 182 p. (In Russ.).

2. Deyk R., Webster D., Kallender E. [Change in precipitation and authigenic mineralogy in columns 307 P, 307 A – 3 on the Academic Ridge of Lake Baikal]. *Geologiya i geofizika*, 1993, vol. 34, no. 10–11, pp. 160–173. (In Russ.).

3. Solotchina E.P., Gorelik T.E., Prokopenko A.A., et al. [Clay minerals as an indicator of chemical processes in the catchment of Lake Baikal with global changes in the environment and climate]. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*, 1999, vol. 7, no. 5. pp. 585–591. (In Russ.).

4. Karpov I.K. *Fiziko-khimicheskoye modelirovaniye na EVM v geokhimi*. [Physicochemical modeling on a computer in geochemistry]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1981. 247 p. (In Russ.).

5. Kashik S.A. [Determination of the mineral composition of the rock by gross chemical analysis]. *Sovetskaya geologiya*, 1973, no. 10, pp. 144–147. (In Russ.).

6. Kashik S.A., Lomonosova T.K. Cenozoic deposits of the underwater Academic Range in Lake Baikal. *Litologiya i poleznyye iskopayemye – Lithology and Mineral Resources*, 2006, no. 4. pp. 303–316.

7. Kashik S.A., Mazilov V.N. [Lithology of Quaternary sediments in the context of a deep well in the water area of Lake Baikal]. *Litologiya i poleznyye iskopay-*

*emye – Lithology and Mineral Resources*, 1997, no. 5. pp. 484–491. (In Russ.).

8. Kotelnikov D.D., Konyukhov A.I. *Glinistyye mineraly osadochnykh porod*. [Clay minerals of sedimentary rocks]. Moscow, Nedra Publ., 1986. 247 p. (In Russ.).

9. Kuzmin M.I., Solotchina E.P., Vasilevskiy A.N. [Clay minerals of bottom sediments of Lake Baikal as indicator of paleoclimate]. *Geologiya i geofizika*, 2000, vol. 41, no. 10, pp. 1347–1359. (In Russ.).

10. Logachev N.A. [Cenozoic Continental Deposits of Baikal-type Basins]. *Izvestiya AN SSSR. Ser. geol.*, 1958, no. 4, pp. 18–20. (In Russ.).

11. Logachev N.A. [Sayano-Baikal highland]. *Nagorya Pribaykalya i Zabaykalya* [Highlands of Baikal and Transbaikalia]. Moscow, Nauka Publ., 1974, pp. 7–163. (In Russ.).

12. Lomonosova T.K. *Mineralogiya i genesis glin rannekaynozoyevskikh otlozheniy Pribaykalya. Avtoref. kand. dis.* [Mineralogy and clay genesis of the Early Cenozoic sediments of the Baikal region. Author's abstract of PhD thesis]. Irkutsk, 1972. 23 p. (In Russ.).

13. Matz V.D., Ufimtsev G.F., Mandelbaum M.M. *Kaynozoy Baykalskoy riftovoy vpadiny: stroyeniye i geologicheskaya istoriya* [Cenozoic of the Baikal rift basin: structure and geological history]. Novosibirsk, Geo Publ., 2001. 252 p. (In Russ.).

14. Millo J. *Geologiya glin* [Clay geology]. Leningrad, Nedra Publ., 1968. 359 p. (In Russ.).

15. Oshchepkova A.V., Kuzmin M.I., Bychinsky V.A., et al. Models of solid solutions for calculation of the mineral composition of Lake Baikal bottom sediments: A new approach to paleoclimatic reconstructions. *Doklady Earth's sciences*, 2015, vol. 461, no. 4, pp. 364–367.

16. Osipov V.I., Sokolov V N. *Gliny i ikh svoystva* [Clays and their properties]. Moscow, GEOS Publ., 2013. 576 p. (In Russ.).

17. Rasskazov S.V., Chuvashova I.S., Yasnygina T.A., et al. [Pyroclastics as the indicator of the uplift of the Ikatskii ridge relative to the Barguzinskaya depression of the Baikal Rift Zone]. *Geografiya i prirodnyye resursy – Geography and mineral resources*, 2016, no. 5, pp. 117–127. (In Russ.).

18. Rasskazov S.V., Tregub T.F., Volkov M.A. [Palynological characteristics of the alluvial strata of the Barguzin river valley (Republic of Buryatia)]. *Vestnik VGU. Ser. Geologiya*, 2019, no. 2, pp. 150–152. (In Russ.).

19. Rateev M.A. [Clay minerals in bottom sediments of modern reservoirs]. *Obrazovaniye osadkov v sovremennykh vodoyemakh* [Formation of sediments in modern reservoirs (Ed. D.S.Belyankin, P.L.Bezrukov)]. Moscow, AS USSR Publ., 1954, pp. 339–371. (In Russ.).

20. Rateev M.A. *Zakonomernosti razmeshcheniya i genesis glinistykh mineralov v sovremennykh i drevnikh morskikh basseynakh* [Patterns of distribution and genesis of clay minerals in modern and ancient marine basins]. Moscow, Nauka Publ., 1964. 273 p. (In Russ.).



21. [The results of drilling the first well on Lake Baikal in the area of the Buguldeysky jumperl. The team of performers of the Baikal drilling project]. *Geologiya i geofizika*, 1995, vol. 36, no. 2. pp. 2–32. (In Russ.).
22. *Resheniya Tretyego Mezhvedomstvennogo regionalnogo stratigraficheskogo soveshchaniya po mezozoyu i kaynozoyu Sredney Sibiri* [Decisions of the Third Interdepartmental regional stratigraphic meeting on the Mesozoic and Cenozoic of Central Siberia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1981. 91 p. (In Russ.).
23. Solotchina E.P. *Strukturnyy tipomorfizm glinistykh mineralov osadochnykh razrezov i kor vyvetriviya* [Structural typomorphism of clay minerals of sedimentary sections and weathering crust]. Novosibirsk, Geo Publ., 2009. 234 p. (In Russ.).
24. Zamarayev S.M., Vasilyev Ye.P., Mazukabzov A.M., et al. *Sootnosheniye drevney i kaynozoysoy struktur v Baykal'skoy riftovoy zone* [Correlation of ancient and Cenozoic structures in the Baikal rift zone]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1979. 130 p. (In Russ.).
25. Ogorodova L.P., Kiseleva I.A., Melchakova L.V., et al. [Thermochemical study of natural montmorillonite]. *Geochemistry International*, 2013, vol. 51, no. 6, pp. 484–494.
26. Chudnenko K.V. *Termodinamicheskoye modelirovaniye v geokhimii: teoriya, algoritmy, programnoye obespecheniye, prilozheniya* [Thermodynamic modeling in geochemistry: theory, algorithms, software, applications]. Novosibirsk, Geo Publ., 2010. 287 p. (In Russ.).
27. Berman R.G. Internally-consistent thermodynamic data for minerals in the system  $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{MgO} - \text{FeO} - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{TiO}_2 - \text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2$ . *Journal of Petrology*, 1988, vol. 29, pp. 445–552.
28. Solotchina E.P., Prokopenko A.A., Kuzmin M.I., et al. Climate signals in sediment mineralogy of Lake Baikal and Lake Hovsgol during the LGM-Holocene transition and the 1-Ma carbonate record from the HDP-04 drill core. *Quaternary International*, 2009, vol. 205, pp. 38–52.
29. Hassan A., Usoltseva M., Rasskazov S., et al. First study of fossil diatom flora from Middle Miocene – Lower Pliocene lacustrine sediments in Barguzin Valley, Baikal Rift Zone. *Quaternary International*, 2019, w/n, pp. 1–7.
30. Helgeson H.C. Thermodynamics of minerals, reactions, and aqueous solutions at high pressures and temperatures. *Amer. Journ. of Science*, 1985, vol. 285(9), pp. 845–855.
31. Muller J., Oberhansli H., Melles M., et al. Late Pliocene sedimentation in lake Baikal: implications for climatic and tectonic change in SE Siberia. *Palaeogeography. Palaeoclimatology. Palaeoecology*, 2001, vol. 174, pp. 305–326.
32. Fagel N., Boski T., Likhoshway L., Oberhaensli H. Late Quaternary clay mineral record in Central Lake Baikal (Academician Ridge, Siberia). *Palaeogeography. Palaeoclimatology. Palaeoecology*, 2003, vol. 193, pp. 331–363.
33. Ransom B., Helgeson G. Compositional end members and thermodynamic components of illite and dioctahedral aluminous smectite solid solutions. *Clays and Clay minerals*, 1993, vol. 41, no. 5, pp. 537–550.
34. Gailhanou H., Blanc P., Rogez J., et al. Thermodynamic properties of illite, smectite and beidellite by calorimetric methods: Enthalpies of formation, heat capacities, entropies and Gibbs free energies of formation. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 2012, no. 89, pp. 279–301.
35. Wolery T.J., Jove-Colon C.F. Qualification of thermodynamic data for geochemical modeling of mineral–water interactions in dilute systems. *Office of Scientific & Technical Information Technical Reports*, 2004, November, pp. 117–212
36. Yokokawa H. Tables of thermodynamic functions for inorganic compounds. *J. National chemical laboratory for industry*, 1988, vol. 83, pp. 27–121.

© П. Алокла, И. С. Чувашова, С. В. Рассказов,  
А. В. Ощепкова, Т. С. Филева, 2020





## ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ ОРДОВИКА И НИЖНЕГО СИЛУРА СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

С. И. Голышев<sup>1</sup>, П. Н. Соболев<sup>2</sup>, Н. Л. Падалко<sup>1</sup>, П. Ф. Яворов<sup>1</sup>, Е. В. Черников<sup>1</sup>, М. И. Праздничных<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Томский филиал Сибирского НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Томск, Россия; <sup>2</sup>Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия

На основе изотопного состава углерода РОВ и углерода и кислорода карбонатной составляющей пород выявлены фациальные особенности режимов осадконакопления в отложениях ордовика и нижнего силура северо-западной части Сибирской платформы. Установлено, что в глубоководных морских, прибрежно-морских фациях формируется РОВ изотопно-легкого состава, что характерно для керогена II типа, а в мелководных и прибрежных содержится РОВ изотопно-тяжелого состава, что свойственно керогену гумусового III типа или оксисорбосапропелитам. В граптолитовых сланцах нижнего силура изотопный состав карбонатной составляющей от  $-4,0$  до  $-4,6$  ‰ по углероду, от  $25,0$  до  $25,7$  ‰ по кислороду отражает устойчивый режим осадконакопления в глубоководном морском бассейне с невысокой температурой водной среды.

**Ключевые слова:** биоценоз, граптолиты, изотопный состав, карбонаты, кислород, осадконакопление, ордовик, отложения, рассеянное органическое вещество, режимы, силур, углерод, фации.

## ISOTOPIC-GEOCHEMICAL RESEARCHES OF ORDOVICIAN AND LOWER SILURIAN SEDIMENTS OF THE NORTH-WESTERN PART OF THE SIBERIAN PLATFORM

S. I. Golyshv<sup>1</sup>, P. N. Sobolev<sup>2</sup>, N. L. Padalko<sup>1</sup>, P. F. Yavorov<sup>1</sup>, E. V. Chernikov<sup>1</sup>, M. I. Prazdnichnykh<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tomsk branch of the Siberian research institute of geology, geophysics and mineral resources, Tomsk, Russia; <sup>2</sup>Siberian research institute of geology, geophysics and mineral resources, Novosibirsk, Russia

Based on the isotopic composition of dispersed organic carbon (DOM) carbon and carbon and oxygen in the carbonate component of rocks, the facies features of sedimentation in the Ordovician and Lower Silurian deposits of the northwestern part of the Siberian Platform are revealed. It has been established that in the deep-sea marine, coastal-marine facies, DOM of isotope-light composition is formed, which is typical for type II kerogen, and in shallow and coastal facies, DOM of isotope-heavy composition is present, which is characteristic of humic type III kerogen or oxysorbosapropelites. In graptolitic schists of the Lower Silurian, the isotopic composition of the carbonate component with small variations reflects a stable sedimentation regime in the deep sea basin and low temperature environment.

**Keywords:** biocenosis, graptolites, isotopic composition, carbonates, oxygen, sedimentation, Ordovician, sediments, dispersed organic matter, regimes, Silurian, carbon, facies.

DOI 10.20403/2078-0575-2020-2-81-86

На северо-западе Сибирской платформы в качестве потенциальных нефтепроизводящих отложений рассматриваются различные по возрасту части осадочного чехла [3]. С целью уточнения геохимических характеристик и фациальных условий накопления для отдельных горизонтов проведены комплексные литогеохимические исследования с привлечением изотопных анализов. В последнее время вариации изотопного состава углерода, кислорода и стронция успешно используются при межрегиональных корреляциях и фациальных построениях для отложений ордовика, в том числе Сибирской платформы [7, 9]. Отмечено, что в указанных отложениях изотопный состав углерода и кислорода карбонатов в бассейне рек Кулюмбэ и Подкаменная Тунгуска [8] значительно отличается от карбонатов обнажений на р. Мойеро и имеет сходство с таковыми в Америке, Балтоскандии и Китае [7, 9].

Новые данные по изотопному составу углерода и кислорода карбонатов и карбонатной составляющей пород позволяют расширить существующие представления об условиях осадконакопления в отложениях ордовика и силура Сибирской платформы и по возможности выявить общие причины, определяющие фациальные особенности режимов осадконакопления на разных континентах. В дополнение к используемым изотопным критериям ( $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$ ) карбонатов при исследовании проводятся изотопные определения углерода органического вещества (ОВ). Объект исследований – осадочные породы из естественных обнажений в бассейнах рек Кулюмбэ и Курейка. Образцы были отобраны из отложений венда, среднего кембрия, ордовика и чамбинской (граптолитовой) свиты силура. В статье представлены результаты изотопно-геохимических исследований отложений ордовика и силура.

Изотопный состав (‰) углерода РОВ и углерода и кислорода КСП в отложениях ордовика и силура

Возраст	Ярус, свита	Тип породы	Кол-во образцов	$\delta^{13}\text{C}_{\text{ОВ}}$			$\delta^{13}\text{C}_{\text{КСП}}$			$\delta^{18}\text{O}_{\text{КСП}}$			Режим осадконакопления
				макс.	мин.	ср.	макс.	мин.	ср.	макс.	мин.	ср.	
$O_1$	Чуньский ярус	Аргиллит, алевролит	6	-26,5	-27,6	-27,0	-0,5	-1,4	-0,9	27,6	25,2	26,3	2
		Доломит	2	-27,1	-27,3	-27,2	-2,9	-3,1	-3,0	24,1	23,7	23,9	1
		Среднее	8	-26,5	-27,6	-27,1	-0,5	-3,1	-1,6	27,6	23,7	24,8	
$O_2$	Криво-луцкий ярус	Карбонат, известняк	9	-26,3	-28,6	-27,6	-1,0	-3,2	-1,6	22,9	19,0	21,3	1
		Известняк кавернозный	1	-	-	-25,1	-	-	-2,7	-	-	16,0	1
		Мергель	2	-22,0	-22,3	-22,1	-0,9	-1,4	-1,2	23,7	23,2	23,4	1
		Алевролит известковый	5	-27,1	-32,1	-28,9	-0,1	0,7	-0,2	27,1	23,7	26,6	1
		Среднее	17	-22,0	-32,1	-27,4	-0,1	-3,2	-1,2	28,1	19,0	24,1	
$O_2$	Мангазейский ярус	Известняк, аргиллит известковый	2	-23,1	-23,0	-23,1	-0,3	-0,9	-0,5	26,2	25,9	26,1	2
			5	-23,6	-24,3	-23,9	-1,7	-2,6	-2,2	22,8	19,3	20,4	2
		Среднее	7	-24,3	-23,0	-23,7	-0,9	-2,6	-1,7	26,2	19,3	22,2	
$O_3$	Долборский ярус	Аргиллит, алевролит	6	-22,3	-26,3	-24,3	-3,0	-6,2	-3,9	22,0	19,0	20,4	1
			2	-24,0	-26,1	-25,1	-3,0	-3,9	-3,4	26,1	24,6	25,3	2
		Среднее	8	-22,3	-26,3	-24,5	-3,0	-6,2	-4,0	26,1	19,9	21,3	
S	Граптолитовая свита	Сланец аргиллитовый битуминозный	2	-26,6	-26,8	-26,7	-4,0	-4,6	-4,3	25,8	25,7	25,7	2
			5	-27,9	-32,9	-30,2	-0,5	-1,9	-1,0	31,7	30,8	31,3	3
		Среднее	7	-26,6	-32,9	-29,2	-0,5	-4,6	-1,9	31,7	25,7	29,7	

Примечание. Режимы осадконакопления: 1 – мелководный прибрежно-морской, прибрежный; 2 – глубоководный прибрежно-морской, морской; 3 – глубоководный морской.

Для каждой пробы выполнялись изотопные определения углерода рассеянного органического вещества (РОВ) и углерода и кислорода карбонатной составляющей пород (КСП) (см. таблицу).

### Геохимическая характеристика отложений ордовика

Северо-западная часть Сибирской платформы в ордовикский период характеризуется периодической сменой режимов осадконакопления, обусловленных морскими трансгрессиями и регрессиями. Считается, что в трансгрессивные этапы осадконакопления увеличивалась площадь нормально-морских и мелководных прибрежно-морских осадков, а в регрессивные – площадь суши и мелководных прибрежных осадков [1, 3, 6]. Предполагается, что на протяжении ордовикского периода территория испытала пять крупных поднятий и опусканий, что привело к соответствующим сменам режимов осадконакопления [1, 6].

Большие изменения фациальных условий осадконакопления должны были найти отражение в изотопном составе РОВ и КСП.

Выявление направленности и степени изменений изотопного состава пород в зависимости от режимов осадконакопления дают возможность установить наиболее крупные временные циклы ре-

грессий и трансгрессий и уточнить специфику биоценотической основы видового состава РОВ.

Из нижнего отдела ордовика отобрано шесть проб известковистых аргиллитов и алевролитов и две пробы доломитов из отложений чуньского яруса. Изотопный состав углерода РОВ этих проб изменяется незначительно с  $\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -27,1$  ‰, что близко к его средним значениям в породах венда и среднего кембрия из обнажений на р. Кулюмбэ. Различия наблюдаются в карбонатной составляющей глинистых пород и доломитов: изотопный состав образцов аргиллитов и алевролитов ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -0,9$  ‰,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{cp}} = 26,8$  ‰ с небольшими вариациями) соответствует карбонатам, которые осаждались в морских и прибрежно-морских относительно глубоководных бассейнах. Изотопный состав доломитов более легкий ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -3,0$  ‰,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{cp}} = 23,9$  ‰), что свойственно первично-осадочным доломитам, осажденным в прибрежно-морских мелководных фациях с высоким содержанием кислорода.

Отложения вышележащего криволуцкого яруса среднего ордовика отличаются большими вариациями изотопного состава:  $\delta^{13}\text{C}$  от  $-22,0$  до  $-32,1$  ‰ (РОВ);  $-\delta^{13}\text{C}$  от  $-0,1$  до  $-3,2$  ‰,  $\delta^{18}\text{O}$  от  $28,1$  до  $19,0$  ‰ (КСП). Столь существенные изменения могут быть вызваны прежде всего значительными различиями условий осадконакопления. На основе изо-

топного состава пород криволучского яруса можно выделить две группы образцов.

1. Известковистые алевриты и аргиллиты с более облегченным изотопным составом РОВ ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -28,9 \text{ ‰}$ ) и более тяжелым – КСП ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -0,2 \text{ ‰}$ ,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{cp}} = 26,6 \text{ ‰}$ ). Породы этой группы образованы в морском и прибрежно-морском бассейне, где захоронялось ОВ преимущественно альго-планктонного вида, сформировавшее кероген II типа.

2. Преимущественно известняки, в которых изотопный состав РОВ более тяжелый ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -27,6 \text{ ‰}$ ), КСП – более облегченный относительно первой группы ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -1,6 \text{ ‰}$ ,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{cp}} = 21,9 \text{ ‰}$ ). Отложения этой группы формировались в более мелководных прибрежно-морских фациях. В эту группу можно включить два образца мергеля с  $\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -1,2 \text{ ‰}$ ,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{cp}} = 23,4 \text{ ‰}$ , содержащие РОВ с необычно тяжелым для морских и прибрежно-морских фаций изотопным составом ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -22,1 \text{ ‰}$ ). Также выделяется проба кавернозного известняка (для КСП  $\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -2,7 \text{ ‰}$ ,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{cp}} = 16,0 \text{ ‰}$ , для РОВ  $\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -25,1 \text{ ‰}$ ). Необычно легкий состав кислорода подтверждает его вторичное происхождение, что согласуется с литологическим описанием образца.

Отложения мангазейского яруса среднего ордовика содержат РОВ с наиболее тяжелым изотопным составом углерода в сравнении с другими ярусами ( $\delta^{13}\text{C} = \text{от } -23,1 \text{ до } -24,3 \text{ ‰}$ , в среднем  $-23,1 \text{ ‰}$ ). По изотопному составу карбонатной составляющей также выделяются две группы образцов, отвечающие разным фаціальным зонам: первая мелководная, представленная известковистыми аргиллитами ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -2,2 \text{ ‰}$ ,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{cp}} = 20,4 \text{ ‰}$ ), вторая более глубоководная, сложенная глинистыми известняками ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -0,5 \text{ ‰}$ ,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{cp}} = 26,1 \text{ ‰}$ ), накапливавшимися в нормально-морских или прибрежно-морских достаточно глубоководных бассейнах. Изотопный состав углерода РОВ в пробах из этих зон различается незначительно (в среднем на  $0,5 \text{ ‰}$ ), становясь более облегченным в известняках глубоководной зоны.

В отложениях долборского яруса верхнего отдела ордовика происходит незначительное облегчение изотопного состава углерода РОВ ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}}$  от  $-22,3$  до  $-26,3 \text{ ‰}$ , в среднем  $-24,5 \text{ ‰}$ ).

По изотопному составу кислорода КСП достаточно контрастно выделяются две группы. Первая с  $\delta^{13}\text{C}$  от  $-3,0$  до  $-6,2 \text{ ‰}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$  от  $22,0$  до  $19,0 \text{ ‰}$ , что отражает достаточно мелководные прибрежно-морские и лагунные фации с высокой окислительной обстановкой в теплой водной среде, в которой образуется высокая концентрация изотопно-легкой органогенной  $\text{CO}_2$ . Облегченный изотопный состав кислорода также может быть обусловлен присутствием в бассейне определенного количества пресных континентальных вод.

Вторая группа представлена пробами с изотопным составом углерода  $\delta^{13}\text{C}$  от  $-3,0$  до

$-3,9 \text{ ‰}$  и более тяжелым составом кислорода  $\delta^{18}\text{O} = 24,6\text{--}26,1 \text{ ‰}$ , что отражает более глубоководные морские и прибрежно-морские фации. По изотопному составу углерода РОВ долборского яруса в мелководных фациях на  $0,8 \text{ ‰}$  тяжелее, чем в глубоководных, где  $\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -24,3 \text{ ‰}$ .

В целом в отложениях ордовикского периода изотопный состав КСП изменяется в больших пределах:  $\delta^{13}\text{C}$  от  $-0,7$  до  $-6,2 \text{ ‰}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$  от  $28,1$  до  $16,0 \text{ ‰}$  (рис. 1). Взаимосвязь изотопного состава углерода и кислорода этих отложений может быть выражена уравнением  $\delta^{13}\text{C} = 0,31\delta^{18}\text{O} - 9,0$ . Как видно, изотопный состав кислорода и углерода изменяется однонаправленно. В мелководных прибрежно-морских бассейнах с повышенной температурой водной среды осаждаются карбонаты с изотопно-легким составом ( $\delta^{18}\text{O}$  от  $22,0$  до  $19,0 \text{ ‰}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  от  $-1,7$  до  $-4,9 \text{ ‰}$ ); в более глубоких морских и прибрежно-морских водах при более низких температурах – с более тяжелым ( $\delta^{18}\text{O}$  от  $28,1$  до  $25,4 \text{ ‰}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  от  $-0,7$  до  $-1,0 \text{ ‰}$ ).

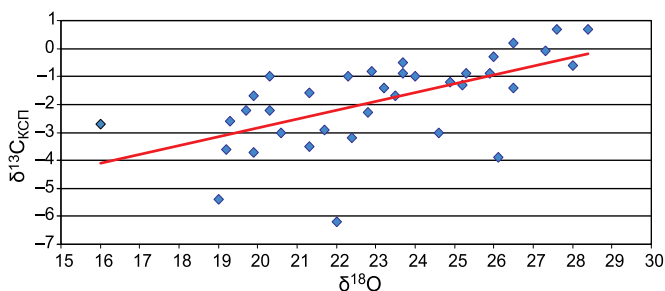


Рис. 1. Изотопный состав углерода и кислорода КСП ордовика

Карбонатная составляющая аргиллитов долборского яруса с наиболее изотопно-легким составом углерода ( $\delta^{13}\text{C}$   $-6,2 \text{ ‰}$ ,  $-5,4 \text{ ‰}$ ,  $-3,9 \text{ ‰}$ ) по изотопным критериям относится к эпигенетическим; на рис. 1 видно, что значения  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  отклоняются от общей закономерности и располагаются в области значений «вторичных» карбонатов.

Взаимосвязь изотопного состава углерода РОВ и углерода и кислорода КСП представлена на рис. 2, 3 и в первом приближении может быть выражена следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} \delta^{13}\text{C}_{\text{КСП}} &= -0,28\delta^{13}\text{C}_{\text{РОВ}} - 9,1; \\ \delta^{13}\text{C}_{\text{РОВ}} &= -0,30\delta^{18}\text{O}_{\text{КСП}} - 19,0. \end{aligned}$$

Фактически рис. 2, 3 отображают зависимость изотопного состава углерода РОВ от фаціальных условий осадконакопления. В мелководных морских и прибрежных мелководных фациях захороняются организмы, из которых в процессе литогенеза в отложениях формируется РОВ изотопно-тяжелого состава ( $\delta^{13}\text{C}$  от  $-22$  до  $-24 \text{ ‰}$ ), в отличие от нормально-морских и прибрежно-морских фаций, где отлагаются организмы, дающие РОВ более легкого изотопного состава ( $\delta^{13}\text{C}$  от  $-27,0$  до  $-32,1 \text{ ‰}$ ). Максимальное содержание РОВ изотопно-тяжелого состава установлено в мелководных фаціальных зонах отложений мангазейского и долборского

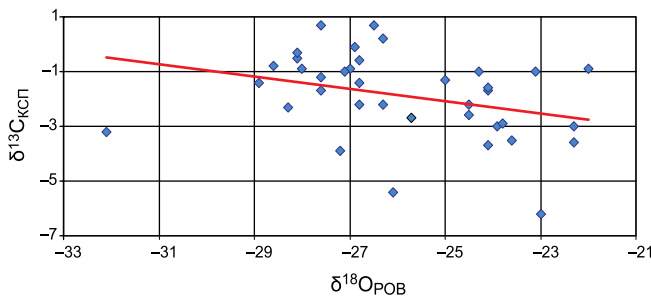


Рис. 2. Взаимосвязь изотопного состава углерода РОВ и КСП

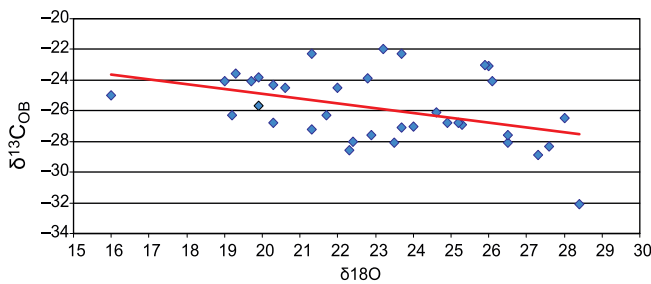


Рис. 3. Взаимосвязь изотопного состава углерода РОВ и кислорода КСП

ярусов. Наиболее вероятная причина образования РОВ с  $\delta^{13}\text{C}$  от  $-22$  до  $-25$  ‰ – его биоценотическая основа, которая определяется видовым составом организмов, обитавших в ордовикский период. Известно, что ордовикские моря были населены многочисленными животными, которые резко отличались от обитателей кембрийских морей. Значительное место в органическом мире ордовика занимали животные (организмы), которые имели хитиновые покровы. Хитин по строению и физико-химическим свойствам подобен целлюлозе, продукты его распада в осадках превращаются в гуминоподобные соединения. Большой вклад в РОВ вносили многоклеточные водоросли, широко распространенные в верхнем ордовике; многие из них имели состав слоевища, дающий гумоидный материал. В итоге повышенное содержание ОВ гумоидного состава приводило к увеличению содержания керогена III типа в отложениях ордовика. Не исключено также участие остатков первых высших растений группы риниофитов и псилофитов. Определенное влияние на увеличение содержания  $^{13}\text{C}$  в РОВ оказывала и повышенная окислительная среда мелководных бассейнов, способствовавшая формированию оксисапропелитов.

В таблице на основе изотопных показателей установлены режимы осадконакопления, обусловленные циклами трансгрессий и регрессий моря на северо-западе Сибирской платформы в ордовикский период.

Для отложений верхнего ордовика долборского яруса интервал вариаций и средние значения изотопного состава карбонатной составляющей ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -4,0$  ‰,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{cp}} = 22,1$  ‰) близки к полученным ранее для одновозрастных обнажений рек Подкаменная Тунгуска и Кулюмбэ [9]. В целом для верхнего, среднего и нижнего ордовика изо-

топный состав углерода карбонатной составляющей обнажений р. Кулюмбэ ( $\delta^{13}\text{C}$  от  $0,7$  до  $-6,2$  ‰,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}} = -1,7$  ‰) близок к изотопному составу карбонатов этого возраста р. Моейро и разреза Шингл Пасс (Северная Америка) [9].

Однонаправленное облегчение и утяжеление изотопного состава углерода и кислорода в обнажениях р. Кулюмбэ соответствует вековому (secular) изотопному тренду карбонатов докембрия и фанерозоя [10]. Такая закономерность обусловлена преобладанием термодинамического изотопного фракционирования на стадии осадконакопления карбонатов и определяется температурой среды морского бассейна. Отклонения от этой зависимости вызваны преимущественно вторичным фракционированием в диагенезе при перекристаллизации и образовании вторичных минеральных форм, изотопным обменом карбонатов с водой и  $\text{CO}_2$  при повышенных температурах [4, 5].

В публикациях [7, 9] как возможные причины аномальных изотопных отклонений от вековых трендов в пределах отдельных геологических формаций и возрастных подразделений рассматриваются различные катастрофические геологические события. Такие отклонения обычно используются при хемостратиграфических построениях и возрастных корреляциях [7, 9].

Из полученных в изучаемом регионе результатов следует, что основная причина вариаций изотопного состава отложений ордовика – это смена режимов осадконакопления, что подтверждается взаимосвязью изотопных составов углерода РОВ и углерода и кислорода КСП. Установлено, что повышение и снижение содержания  $^{13}\text{C}$  и  $^{18}\text{O}$  в карбонатах и  $^{13}\text{C}$  в РОВ и общий изотопный фон в отложениях отдельных возрастных ярусов определяются преимущественно фаціальными условиями по стадиям осадконакопления, обусловленным этапами трансгрессий и регрессий моря.

### Геохимическая характеристика отложений нижнего силура (лландоверийский ярус)

На северо-западе Сибирской платформы силурийские отложения распространены примерно на той же территории, что и ордовикские [2]. Спокойная тектоническая обстановка в силуре обусловила выдержанность литологического состава толщ этого периода, а его особенностью является накопление своеобразных осадков, образующих граптолитовые сланцы, которые вскрыты в отложениях лландоверийского яруса (нижний силур). Содержание ОВ в граптолитовой свите высокое (2–8 %) [3], что характеризует граптолитовые сланцы как потенциальные нефтегазопроизводящие отложения. Граптолиты как группа организмов были широко развиты в ордовике и силуре, но уже в девоне их практически нет. Условия их бурного развития и быстрого исчезновения не вполне ясны. Получение новых данных о фациях, при которых происходило их



массовое накопление в осадках, позволит уточнить условия не только их развития и исчезновения, но и образования граптолитовых сланцев.

Из граптолитовой свиты нижнего силура отобрано семь проб, представленных достаточно однотипными битуминозными аргиллитами, которые разделяются на две группы с большими различиями в изотопном составе РОВ и КСП. Первая группа состоит из двух проб с более утяжеленным изотопным составом РОВ ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}}$  –26,6 и –26,8 ‰ соответственно) и более облегченным – КСП ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}}$  –4,0 и –4,6 ‰,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{cp}}$  25,8 и 25,7 ‰). Фациальные условия, при которых осаждалась карбонатная часть этих проб, близки к условиям осаждения аргиллитов долборского яруса ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}}$  = –3,8 ‰ и  $\delta^{18}\text{O}_{\text{cp}}$  = 25,4 ‰): это более глубоководная зона режима осадконакопления среднего ордовика.

Вторая группа (пять проб аргиллитов) содержат РОВ с изотопно-легким составом ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}}$  = –30,5 ‰) и более тяжелым – карбонатной составляющей ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}}$  = –1,0 ‰ и  $\delta^{18}\text{O}_{\text{cp}}$  = 31,3 ‰). Они могут соответствовать отложениям с высоким содержанием граптолитов. На основе изотопного состава кислорода можно утверждать, что граптолиты обитали в достаточно глубоководном бассейне с низкой температурой водной среды. Незначительные вариации изотопного состава РОВ и КСП отражают устойчивые фациальные условия в среде обитания.

На основе изотопных данных можно сделать выводы, что граптолиты как вид могли существовать только в достаточно узком интервале фациальных условий. Благоприятны для их обитания были спокойный тектонический режим, морская глубоководная среда с невысокой температурой водного бассейна.

## Выводы

1. Большие вариации изотопного состава в отложениях ордовика северо-западной части Сибирской платформы (РОВ:  $\delta^{13}\text{C}$  от –22,0 до –32,1 ‰, КСП:  $\delta^{13}\text{C}$  от –0,5 до –6,2 ‰,  $\delta^{18}\text{O}$  от 26,1 до 19,0 ‰) характеризуют степень изменения фациальных условий осадконакопления от прибрежных мелководных до прибрежно-морских, нормально-морских, обусловленных этапами регрессий и трансгрессий моря в этот период.

2. Фациальные особенности режимов осадконакопления и время их проявления, установленные по изотопно-геохимическим показателям, соответствуют основным закономерностям осадкообразования в отложениях ордовика Сибирской платформы, обоснованным ранее В. И. Бгатовым [1, 6].

3. На основе изотопных данных установлено, что наиболее масштабны были трансгрессии в нижнем (чуньский век) и среднем (криволуцкий век) ордовике, а регрессии – во второй половине среднего (мангазейский век) и в позднем (долборский век).

4. Основной причиной формирования изотопно-тяжелого состава углерода РОВ ( $\delta^{13}\text{C}$  от –22,0 до

–24,0 ‰) в ордовике изучаемого региона является его биоценолитическая основа, обусловленная высоким содержанием гумоидного материала и высокой окислительной обстановкой мелководных фаций в периоды регрессий.

5. В глубоководных морских и прибрежно-морских режимах осадконакопления в отложениях ордовика формировалось изотопно-легкое ОВ ( $\delta^{13}\text{C}$  от –27,0 до –32,1 ‰), что характерно для керогена второго типа (преимущественно альго-планктонной основы).

6. В граптолитовых сланцах нижнего силура содержится изотопно-легкое ОВ ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{cp}}$  = –30,2 ‰). Изотопный состав карбонатной составляющей граптолитовой фации ( $\delta^{13}\text{C}$  от –0,5 до –1,9 ‰,  $\delta^{18}\text{O}$  от 31,8 до 30,8 ‰) указывает на устойчивый режим осадконакопления, который имел место в глубоководном морском бассейне с низкой температурой водной среды.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бгатов В. И.** Литолого-геохимические закономерности осадкообразования в ордовике и силуре Сибирской платформы: автореф. дис. ... д. г.-м. н. – Иркутск, 1969. – 36 с.

2. **Бгатов В. И.** Палеогеография северо-запада Сибирской платформы в силуре // Состав строение и рудоносность осадочных толщ Сибири. Экологические проблемы. – Новосибирск, 2007. – 235 с.

3. **Геология** нефти и газа Сибирской платформы / под ред. А. Э. Конторовича, В. С. Суркова, А. А. Трофимука. – М.: Недра, 1981. – 510 с.

4. **Голышев С. И., Падалко Н. Л., Печенкин Н. А.** Фракционирование стабильных изотопов кислорода и углерода в карбонатных системах // Геохимия. – 1981. – № 10. – С. 1427–1441.

5. **Голышев С. И., Перозио Г. Н., Печенкин Н. А.** Природные вариации изотопов углерода и кислорода рифогенных отложений кембрия Восточной Сибири // Геохимия. – 1981. – № 11. – С. 1719–1726.

6. **Палеогеография** северо-запада Сибирской платформы в ордовике / В. И. Бгатов, Е. П. Марков, В. Г. Матухина, Г. Г. Ремпель // Литология и осадочные полезные ископаемые Сибирской платформы. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1969. – С. 17–34.

7. **Покровский В. Г.** Геохимия изотопов С, О, Sr и S и хемотратиграфия отложений ордовика в разрезе р. Мойеро, север Сибирской платформы / В. Г. Покровский, А. В. Зайцев, О. В. Дронов и др. // Литология и полезные ископаемые. – 2018. – № 4. – С. 310–336.

8. **Carbon isotope chemostratigraphy and conodonts of the Middle–Upper Ordovician succession in the Tungus basin Siberian Craton** / L. Ainsaar, P. Mannick, A. Dronov, et al. // *Palaeoworld*. – 2015. – Vol. 24. – P. 123–135.

9. **Edwards C. T., Salzman M. R.** Carbon isotope ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ ) stratigraphy of the Lower–Middle ordovician (Tremadocian–Darriwilian) in the Great Basin, western



United States Implications for global correlation // *Palaeogeography. Palaeoclimatology. Palaeoecology*. – 2014. – Vol. 399. – P. 1–20.

10. Veiser J., Hoefs J. The nature of  $O^{18}/O^{16}$  and  $C^{13}/C^{12}$  Secular trends in sedimentary carbonate rocks // *Geochim. et Cosmochim. Acta*. – 1976. – Vol. 40, no. 11. – P. 1328.

## REFERENCES

1. Bgatov V.I. *Litologo-geokhimicheskiye zakonomernosti osadkoobrazovaniya v ordovike i silure Sibirskoy platformy*. Avtopef. dokt. dis. [Lithological and geochemical patterns of sedimentation in the Ordovician and Silurian of the Siberian Platform. Author's abstract of DSc thesis]. Irkutsk, 1969. 36 p. (In Russ.).

2. Bgatov V.I. [Paleogeography of the north-west of the Siberian platform in the Silurian]. *Sostav, stroyneniye i rudonosnost osadochnykh tolshch Sibiri. Ekologicheskkiye problemy* [Composition structure and ore content of sedimentary strata of Siberia. Environmental problems]. Novosibirsk, 2007. 235 p. (In Russ.).

3. Kontorovich A.E. et al., eds. *Geologiya nefi i gaza Sibirskoy platformy* [The geology of oil and gas of the Siberian platform]. Moscow, Nedra Publ., 1981. 510 p. (In Russ.).

4. Golyshev S.I., Padalko N.L., Pechenkin S.A. [Fractionation of stable oxygen and carbon isotopes in carbonate systems]. *Geokhimiya*, 1981, no. 10, pp. 1427–1441. (In Russ.).

5. Golyshev S.I., Perozio G.N., Pechenkin S.A. [Natural variations of carbon and oxygen isotopes of Cambrian reef deposits of East Siberia]. *Geokhimiya*, 1981, no. 11, pp. 1719–1726. (In Russ.).

6. Bgatov V.I., Markov E.P., Matukhina V.G., Rempel G.G. *Paleogeografiya severo-zapada Sibirskoy platformy v ordovike* [Paleogeography of the north-west of the Siberian platform in the Ordovician]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 1969, pp. 17–34. (In Russ.).

7. Pokrovsky V.G., Zaitsev A.V., Dronov O.V., et al. [C, O, Sr and Sr isotopes geochemistry and chemostratigraphy of Ordovician sediment in the of the Moyero Riverh section, northern Siberian platform]. *Litology and mineral resources*, 2018, vol. 53. no. 4, pp. 283–306.

8. Ainsaar L., Mannick P., Dronov A., et al. Carbon isotope chemostratigraphy and conodonts of the Middle–Upper Ordovician succession in the Tungus basin Siberian Craton. *Palaeoworld*, 2015, vol. 24, pp. 123–135.

9. Edwards C.T., Salizman M.R. Carbon isotope ( $\delta^{13}C_{carb}$ ) stratigraphy of the Lower–Middle ordovician (Tremadocian–Darriwilian) in the Great Basin, western United States Implications for global correlation. *Palaeogeography. Palaeoclimatology. Palaeoecology*, 2014, vol. 399, pp. 1–20.

10. Veiser J., Hoefs J. The nature of  $O^{18}/O^{16}$  and  $C^{13}/C^{12}$  Secular trends in sedimentary carbonate rocks. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 1976, vol. 40, no. 11, pp. 1328.

© С. И. Голышев, П. С. Соболев, Н. Л. Падалко, П. Ф. Яворов, Е. В. Черников, М. И. Праздничных, 2020



## К ВОПРОСУ О КОРРЕЛЯЦИИ РАННЕПАЛЕОЗОЙСКИХ СУБЩЕЛОЧНЫХ И ЩЕЛОЧНЫХ ИНТРУЗИВНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ЗАПАДНОГО И ВОСТОЧНОГО СКЛОНОВ КУЗНЕЦКОГО АЛАТАУ

Н. А. Макаренко, А. Д. Котельников

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

Проведен краткий ретроспективный анализ эволюции взглядов геологов на принципы расчленения субщелочных и щелочных образований Мариинской тайги. Обоснована необходимость восстановления статуса ликвидированного кийского габбро-сиенит-нефелинсиенитового комплекса без изменений его прежнего объема и границ, но с поправкой на возраст (средний кембрий, а не ранний девон). В региональном плане сопоставлены авторские U-Pb датировки по цирконам монцодиоритов и габброидов когтахского и кашпарского интрузивных комплексов на восточном склоне Кузнецкого Алатау с давно известными датами для монцодиоритов малодудетского и сиенитов кийского комплексов Мариинской тайги. Обнаружены отчетливые родственные связи геохронологического, петрографического и петрогеохимического характера между малодудетским и кашпарским, а также кийским и когтахским комплексами, которые сформированы в течение двух узких геохронологических интервалов – позднекембрийско-раннеордовикском (около 485–490 млн лет) и среднекембрийском (около 495–500 млн лет) соответственно. Это позволяет с высокой степенью вероятности провести корреляцию данных образований, расположенных на противоположных склонах Кузнецкого Алатау.

**Ключевые слова:** Кузнецкий Алатау, Мариинская тайга, корреляция, интрузивные комплексы, кийский габбро-сиенит-нефелинсиенитовый комплекс, U-Pb датировки.

## TO THE QUESTION OF THE CORRELATION OF EARLY PALAEOZOIC SUB-ALKALINE AND ALKALINE INTRUSIVE FORMATIONS OF THE WESTERN AND EASTERN SLOPES OF KUZNETSKIY ALATAU

N. A. Makarenko, A. D. Kotelnikov

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

A brief retrospective analysis of the evolution of the views of geologists on the principles of the separation of subalkaline and alkaline formations of the Mariinskaya taiga is carried out. The necessity of restoring the status of the previously eliminated Kiya gabbro-syenite-nepheline syenite complex without changes in its previous volume and borders, but adjusted for age (middle Cambrian, not early Devonian), is substantiated. In the regional plan, a comparison was made of the author's U-Pb dating of monzodiorites and gabbroids of the Kogtakhskiy and Kashparskiy intrusive complexes on the eastern slope of the Kuznetskiy Alatau with the long-known U-Pb dates for monzodiorites of Malodudetskiy and syenites of the Kiya complexes of the Mariinskaya taiga. Distinct kinships of a geochronological, petrographic, and petrogeochemical nature were found between the Malodudetskiy and Kashparskiy, as well as the Kiya and Kogtakhskiy complexes, formed over two narrow geochronological intervals – Late Cambrian – Early Ordovician  $\approx 485\text{--}490$  Ma in the first case and Middle Cambrian  $\approx 495\text{--}500$  Ma in the second. This allows a high degree of probability to correlate these formations located on opposite slopes of the Kuznetskiy Alatau.

**Keywords:** Kuznetskiy Alatau, Mariinskaya taiga, correlation, intrusive complexes, Kiya gabbro-syenite-nepheline syenite complex, U-Pb dating.

DOI 10.20403/2078-0575-2020-2-87-95

Интрузивные образования Кузнецкого Алатау, в том числе субщелочные и щелочные породы, активно изучались несколькими поколениями ученых и производственников. Подробные сведения геолого-петрологического характера по данной тематике содержатся в монографиях Ю. А. Кузнецова, М. П. Кортусова, В. Н. Довгая, А. П. Кривенко, а также в многочисленных статьях исследователей, хорошо известных широкому кругу специалистов. Эти работы отражают субъективные, порой противоречивые, взгляды представителей разных научных школ. Взгляды геологов-съемщиков также неоднозначны, что наглядно отражено в нестыковках трех рабочих схем корреляции магматических и метаморфических комплексов Алтае-Саянской складчатой обла-

сти (АССО), в том числе и Кузнецкого Алатау. Первые два варианта схем [13, 16] составлены в СНИИГГиМС (Новосибирск), третий [3] разработан на основе результатов работ геологов «Запсибгеолсъемка» (пос. Елань, Кемеровская область). Последний послужил основой для составления легенд Госгеолкарты-200 нового поколения Алтайской и Кузбасской серии листов. Легенды построены с учетом нетрадиционного подхода авторов корреляционной схемы С. П. Шокальского, Г. А. Бабина, А. Г. Владимирова и С. М. Борисова к ранжированию магматических подразделений. Этот подход предусматривает обязательное выделение для каждого временного среза вулканоплутонических поясов (ВПП) со сложной иерархией (вулканоплутонический пояс – сегмент –



сектор – ареал – массив), что, по мнению указанных специалистов, позволит перейти от традиционного структурно-формационного районирования территории к более современному палеотектоническому.

Согласно схеме геолого-структурного районирования западной части АССО [3] на севере Мариинской тайги выделен крупный Алтае-Кузнецкий венд-раннеордовикский ВПП с несколькими более мелкими подразделениями, в частности Кийским сектором, внутри которого установлено Мартайгинское поднятие. В контурах последнего сосредоточен основной объем интрузивов повышенной щелочности. На начальных стадиях изучения щелочных и субщелочных пород Мариинской тайги всё многообразие данных образований (в том числе нефелин-содержащих) включалось в состав единого кийского габбро-сиенитового комплекса раннедевонского возраста, установленного в 1962 г. М. П. Кортусовым [4]. Несколько позднее в составе комплекса были выделены две петрографические ассоциации: габбро-сиенит-нефелинсиенитовая и габбро-ювит-уртитовая [5]. Наконец, было предложено изменить иерархию двух ассоциаций и перевести их в ранг самостоятельных комплексов: кийского габбро-сиенит-нефелинсиенитового и горячегорского щелочно-габброидного [9]; при этом предполагалось сохранить раннедевонский возраст выделенных комплексов.

Кийский габбро-сиенит-нефелинсиенитовый комплекс характеризуется уникальным разнообразием пород, возникших в результате сочетания магматических процессов с процессами сиенитизации и нефелинизации контактово-реакционного и площадного типов [5, 9]. Эти процессы накладывались на породы основного, среднего и карбонатного составов, что приводило к появлению высокотемпературных метасоматитов (фенитов), часть из которых порой приобретала магматогенный облик. Если сюда добавить широкий разброс данных К-Аг датировок, а также присутствие в щелочных ареалах многочисленных даек и трещинных тел разнообразного состава (вплоть до гранитоидного), неясного возраста и генезиса, то нетрудно объяснить многочисленные дискуссии по поводу возрастного положения и формационной принадлежности субщелочных и щелочных пород региона, главные аспекты которых систематизированы в работе М. П. Кортусова и Н. А. Макаренко [6].

Изотопное датирование магматических пород ряда интрузивных массивов Кузнецкого Алатау, проведенное в лаборатории петрологии и рудоносности магматических формаций сотрудниками ИГМ СО РАН [14], в частности показало, что щелочные сиениты Ударнинского и сиениты Кайдаловского массивов, ранее включавшиеся в состав кийского комплекса, по прецизионным U-Pb датировкам по циркону имеют среднекембрийский возраст ( $\approx 500$  млн лет), а не раннедевонский ( $\approx 400$  млн лет), как полагали ранее. Таким образом, в настоящее

время приходится признать ошибочными представления ученых научной школы М. П. Кортусова о возрасте комплекса и согласиться с доказательствами раннепалеозойского возраста, приведенными в работах С. Н. Руднева с соавторами [14, 15]. Однако границы, состав и объем кийского комплекса остались прежними, изменился лишь его возраст. По нашему мнению, это не дает оснований для упразднения самого понятия «кийский комплекс», как сделали специалисты «Запсибгеолсъемки» [17]. Рассмотрим сам механизм упразднения этого понятия.

Сначала усилиями О. И. Никонова [12] и его единомышленников (В. С. Куртигешева, А. Н. Уварова, В. С. Дубского и др.) габброиды первой фазы кийского комплекса без серьезной аргументации были переведены в состав таскыльского габбро-пироксенитового комплекса ( $E_2t$ ), что неизбежно привело к искусственному отрыву сиенитоидов второй фазы кийского комплекса от родственного габброидов. При этом были проигнорированы материалы авторитетных ученых, в первую очередь А. П. Кривенко, детально изучавшего габброиды г. Бол. Таскыл. На базе обработки большого фактического материала он пришел к выводу о том, что «...все породы плутона от габбро до сиенитов генетически родственны и обязаны своим появлением единому процессу эволюции щелочно-базальтоидной магмы» [8, с. 76]. И далее: «...появление сиенитов является закономерным результатом изменений, наметившихся в породах основного состава. Эти изменения обусловлены неоднородностью магматического расплава, возникшей еще до начала кристаллизации минералов» [8, с. 100]. Тесная связь сиенитов с габброидами опосредованно запечатлена даже в названиях опубликованных монографий: «Сиенит-габбровый плутон Б. Таскыл в Кузнецком Алатау» [8]; «Раннепалеозойская габбро-сиенитовая формация центральной части АССО» [2]. Кроме того, даже О. И. Никонов не совсем уверен в своих построениях. В автореферате кандидатской диссертации он отмечает, что «...сравнительный анализ пород габбро-пироксенитовой ассоциации и пород, составляющих базитовую часть габбро-сиенитовой формации, свидетельствует об их практически полной аналогии и таким образом позволяет говорить о возможной принадлежности к одному формационному типу» [11, с. 25]. Правда, в последующем тексте он пытается дезавуировать свое же предположение, но его доводы, по нашему мнению, звучат неубедительно.

Отрыв сиенитов от габбро навел «ликвидаторов» на мысль о возможной гранитоидной природе сиенитов, которые были включены в состав мартайгинского габбро-диорит-гранодиоритового комплекса ( $E_2m$ ) в качестве его равноправного члена [18]. Это отражено и на геологических картах, составленных Б. В. Дроздовым, В. С. Дубским, В. С. Куртигешевым. Позднее (1984–1995 гг.) при проведении ГДП-50 и ГСР-50 на территории пяти





номенклатурных листов м-ба 1:50 000 теми же геологами под руководством С. М. Борисова были внесены дальнейшие коррективы в общепринятую (до той поры) схему магматизма северной части Кузнецкого Алатау. Так, в Кийском вулканоплутоническом секторе, наряду с ликвидацией *кийского* габбро-сиенитового комплекса, был полностью уничтожен широко известный золотоносный *мартайгинский* габбро-диорит-гранодиоритовый. Последний, благодаря усилиям западносибирских геологов, «развалился» на несколько разновеликих частей, получивших собственные географические названия: *малодудетский* ( $E_2md$ ) и *карнаюльский* ( $O?k$ ) интрузивные комплексы [3].

Наибольший интерес из вновь выделенных подразделений для нас представляет *малодудетский* комплекс, поскольку именно к нему в связи с ликвидацией *мартайгинского* была причленена сиенитоидная составляющая упраздненного *кийского* комплекса. Что касается нефелиновых сиенитов, то они в полном объеме были произвольно включены в более молодой *горячегорский* щелочно-габброидный комплекс и при дальнейших рассуждениях вообще не упоминались. Вместе с тем детальные исследования Н. А. Макаренко [9], проведенные в течение нескольких полевых сезонов (1963–1966 гг.) в составе геолого-поисковых отрядов Мартайгинской ГРЭ ПГО «Запсибгеология», занимавшихся оценкой нефелиновых рудопроявлений с попутным составлением крупномасштабных (1:5 000, 1:10 000) геологических карт, показали, что наряду с дайко- и штокообразными телами фойяитов, миаскитов и канадитов в Ударнинском массиве отмечаются гнездо- и шпирообразные участки нефелиновых сиенитов, связанные постепенными взаимопереходами с щелочными сиенитами. Возникает естественный вопрос: если дайкообразные тела нефелиновых сиенитов, прорывающие щелочные сиениты, еще как-то можно связать с *горячегорским* комплексом, то как быть с «нефелиновыми» шпирами и пятнами, находящимися на удалении от даек? Ведь они априори родственны сиенитам и должны иметь их абсолютный возраст, т. е. примерно 500 млн лет.

Итак, что же все-таки представляет собой *малодудетский* комплекс? Обратимся к ключевым выдержкам из работы С. П. Шокальского с соавторами [3]: «*Малодудетский монцогаббро-монцодиоритовый комплекс* ( $E_2md$ ) недавно выделен и охарактеризован С. М. Борисовым... и включает существенно монцодиоритовые Малодудетский, Николкинский и др. массивы, Ударнинское, ручья Красного, Ивановское и др. сиенитовые тела» [3, с. 52]. В этой цитате для нас очень важно то, что упомянутый комплекс полностью «поглотил» сиениты *кийского* комплекса, которые были включены в самую позднюю (третью) фазу *малодудетского*. Полный перечень всех фаз комплекса можно найти в работе [3, с. 143]: «1-я фаза. Лейкомонцогаббро-

2-я фаза. Мелано- и лейкомонцодиориты, монцодиориты порфириовидные. 3-я фаза. Кварцевые монциты, сиениты».

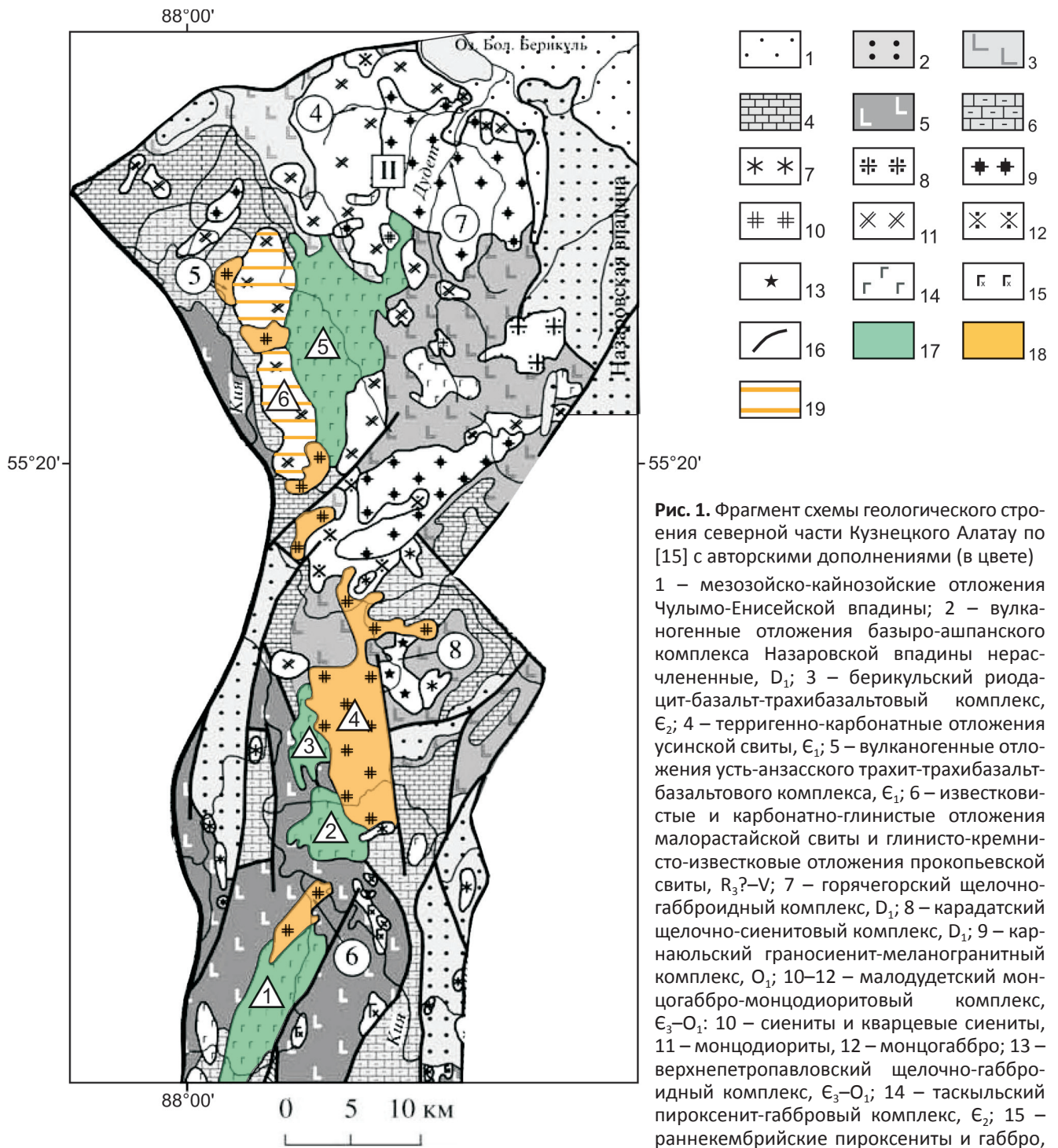
В настоящее время определен изотопный U-Pb возраст монцодиоритов второй фазы комплекса ( $485 \pm 2,9$  млн лет), а также сиенитов третьей фазы – Ударнинского ( $495,2 \pm 4,5$  млн лет) и Кайдаловского ( $498 \pm 1,0$  млн лет) массивов, вместе с детальной схемой геологического строения северной части Кузнецкого Алатау опубликованные в работе С. Н. Руднева с соавторами [15]. Судя по приведенным датам сиениты третьей фазы *неожиданно* оказались на 10–13 млн лет древнее монцодиоритов второй фазы. Кроме того, на опубликованной геологической схеме [15, рис. 2, с. 427] отчетливо видно, что кайдаловские сиениты третьей фазы малодудетского комплекса с изотопным возрастом около 500 млн лет прорывают малодудетские монцодиориты второй фазы с возрастом 485 млн лет, т. е. более *древние* породы «рвут» более *молодые*. Данные противоречия вполне устранимы, если признать ошибочным причленение сиенитов к *малодудетскому* комплексу, тем более что эти образования повышенной и высокой щелочности по всем параметрам, в том числе петрогеохимическим, резко отличаются от стандартного ряда пород вышеупомянутого комплекса, что в принципе хорошо видно и при внимательном прочтении работ С. Н. Руднева с соавторами.

Нам представляется, что в настоящее время назрела необходимость восстановления статуса *кийского* габбро-сиенит-нефелин-сиенитового комплекса с поправкой на его возраст (не раннедевонский, а среднекембрийский). Ведь само название «кийский комплекс» было отклонено западносибирскими геологами-съемщиками по причинам, представлявшимися в свое время вескими, но по мере накопления новых материалов оказавшимся ошибочными. Для этого необходимо сделать всего два главных шага:

1) включить базиты Мартайгинского поднятия, тесно *ассоциирующие с сиенитами*, в состав *кийского* комплекса в ранге его первой фазы, вычленив их из состава *таскыльского* габбро-пироксенитового комплекса, представители которого развиты на сопредельных территориях (массивы Медвеженский, горы Зеленой, Одинокой и др.);

2) отказаться от включения сиенитоидов «ударнинского» типа в состав третьей фазы *малодудетского* комплекса, имея в виду, что небольшие тела (дайки, мелкие штоки) более «молодых» сиенитов и кварцевых монцитов вполне могут иметь место в составе этого комплекса.

Что касается нефелиновых сиенитов, то их крупные тела интрузивного и метасоматического обликов, пространственно связанные с сиенитами «ударнинского» типа, следует рассматривать в качестве третьей фазы *кийского* комплекса, а маломощные дайки, ассоциирующие с щелочными габ-



**Рис. 1.** Фрагмент схемы геологического строения северной части Кузнецкого Алатау по [15] с авторскими дополнениями (в цвете)  
 1 – мезозойско-кайнозойские отложения Чулымо-Енисейской впадины; 2 – вулканогенные отложения базыро-ашпанского комплекса Назаровской впадины нерасчлененные,  $D_1$ ; 3 – берикюльский риодацит-базальт-трахибазальтовый комплекс,  $E_2$ ; 4 – терригенно-карбонатные отложения усинской свиты,  $E_1$ ; 5 – вулканогенные отложения усть-анзасского трахит-трахибазальт-базальтового комплекса,  $E_1$ ; 6 – известковые и карбонатно-глинистые отложения малорастайской свиты и глинисто-кремнисто-известковые отложения прокопьевской свиты,  $R_3? - V$ ; 7 – горячегорский щелочно-габброидный комплекс,  $D_1$ ; 8 – карадатский щелочно-сиенитовый комплекс,  $D_1$ ; 9 – карнаюльский граносиенит-меланогранитный комплекс,  $O_1$ ; 10–12 – малодудетский монцогаббро-монциодоритовый комплекс,  $E_3 - O_1$ ; 10 – сиениты и кварцевые сиениты, 11 – монциодориты, 12 – монцогаббро; 13 – верхнепетропавловский щелочно-габброидный комплекс,  $E_3 - O_1$ ; 14 – таскыльский пироксенит-габбровый комплекс,  $E_2$ ; 15 – раннекембрийские пироксениты и габбро,  $E_1$ ; 16 – тектонические нарушения: цифры в квадратах – батолиты (II – Дудетский), в кружках – массивы (4 – Малодудетский, 5 – Кайдаловский, 6 – Ударнинский, 7 – Карнаюльский, 8 – Верхнепетропавловский); *кийский габбро-сиенит-нефелинсиенитовый комплекс* ( $E_2ks$ ) по представлениям авторов; 17 – габброиды; 18 – щелочные сиениты, сиениты, нефелиновые сиениты; 19 – гибридные образования Николкинского массива: сиенит-фениты, сиенитизированные породы (габброиды, древние «докийские» диоритоиды, порфириды); цифры в треугольниках: 1 – Большетаскыльский сиенит-габбровый плутон, 2 – Западный габбровый массив, 3 – Тамбарский и Телефонный габбровые массивы, 4 – Ударнинский сиенит-нефелинсиенитовый массив, 5 – Новоберикюльский габбро-сиенитовый массив, 6 – Николкинский массив неясной формационной принадлежности

броидами (Верхнепетропавловский, Тулуяльский, Медведкинский массивы), с известной долей условности относить к представителям более «молодого» горячегорского комплекса.

Используя в качестве основы фрагмент опубликованной геологической схемы [15, с. 427] мы по-

пытались показать в цвете авторский вариант пространственного распределения ведущих представителей кийского комплекса (рис. 1). Отчетливо видно, что эти образования гармонично вписываются в общую геологическую структуру схемы, нисколько не нарушая ее внутреннее единство и целостность.

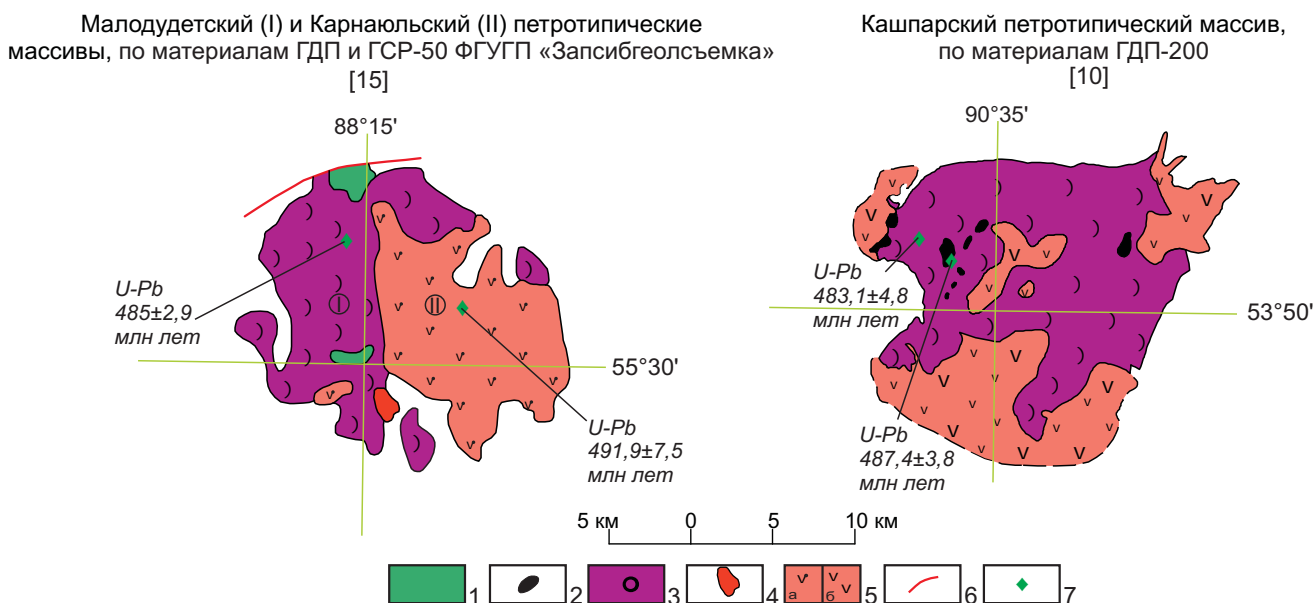


Отметим, что породы, близкие по составу к *малодудетскому* комплексу, изучались в 2008–2016 гг. сотрудниками научно-исследовательской лаборатории геокарт Томского государственного университета при проведении ГДП-200 на территории двух номенклатурных листов (N-45-XXIV, N-46-XIX; отв. исполнитель А. Д. Котельников). В процессе геолого-съёмочных работ были получены новые данные о магматических образованиях *габбро-монцодиоритовой* формации восточного склона Кузнецкого Алатау. Установлено, что в ее состав ранее включались две разновозрастные группы пород близкого петрографического облика, охарактеризованные в литературе в качестве единого *когтахского* габбро-монцодиорит-сиенитового комплекса среднекембрийского возраста. Возраст монцодиоритов в петротипическом массиве (согласно авторским U-Pb датировкам по цирконам)  $500,8 \pm 4,6$  млн лет. Иные U-Pb даты установлены для габброидов ( $487,4 \pm 3,8$  млн лет) и кварцевых монцодиоритов ( $483,1 \pm 4,8$  млн лет) Кашпарского массива. С учетом изотопного возраста родственных сиенитов и кварцевых сиенитов это дало основание выделить новый для региона более молодой (472–487 млн лет) позднекембрийско-раннеордовикский *кашпарский* габбро-диорит-кварцмонцодиорит-сиенитовый интрузивный комплекс, который предшествует становлению тигертышских гранитоидов [7, 10]. Подчеркнем, что для пород *когтахского* комплекса (габброидов и диоритоидов) характерно постоянное присутствие нормативного, а иногда и модалного нефелина, тогда как *кашпарские* магматиты отличаются заметным содержанием не только нормативного, но и модалного кварца в диоритоидах и сиенитах. Это

свидетельствует о разной степени насыщения кремнекислотой и щелочами исходных магматических расплавов, эволюция которых приводит к разному составу конечных дифференциатов: в *когтахском* комплексе это щелочные и нефелиновые сиениты, в *кашпарском* – кварцевые сиениты и граносиениты (но не граниты!). Эти данные подкреплены аргументированными геолого-петрографическими, минералогическими и петрогеохимическими признаками различия внешне однотипных образований двух комплексов [7, 10].

Полученные нами новые материалы создают реальные предпосылки для сопоставления (корреляции) образований *малодудетского*, *кашпарского*, *кийского* и *когтахского* интрузивных комплексов, расположенных на противоположных склонах Кузнецкого Алатау.

Так, на основании результатов сравнения данных по *Малодудетскому* и *Кашпарскому* петротипическим массивам установлен не только одинаковый возраст ведущих разновидностей, но и однотипность форм залегания (штоки, прорванные поздними гранитами), а также их практически полное петрографическое сходство (рис. 2). Это дает возможность рассматривать одноименные комплексы в качестве типичных представителей *габбро-монцодиоритовой* формации, распространенной не только на традиционном для нее восточном склоне, но и на западе Кузнецкого Алатау. На возможное присутствие проявлений габбро-монцодиоритовой формации в Мариинской тайге указывал С. М. Борисов [1], правда, в самом общем виде, без конкретных пространственно-временных сопоставлений.



**Рис. 2.** Схема сопоставления интрузивных образований малодудетского ( $\epsilon_3-O_1$ ), карнаульского ( $O_1?$ ) и кашпарского ( $\epsilon_3-O_1$ ) комплексов на западном и восточном склонах Кузнецкого Алатау

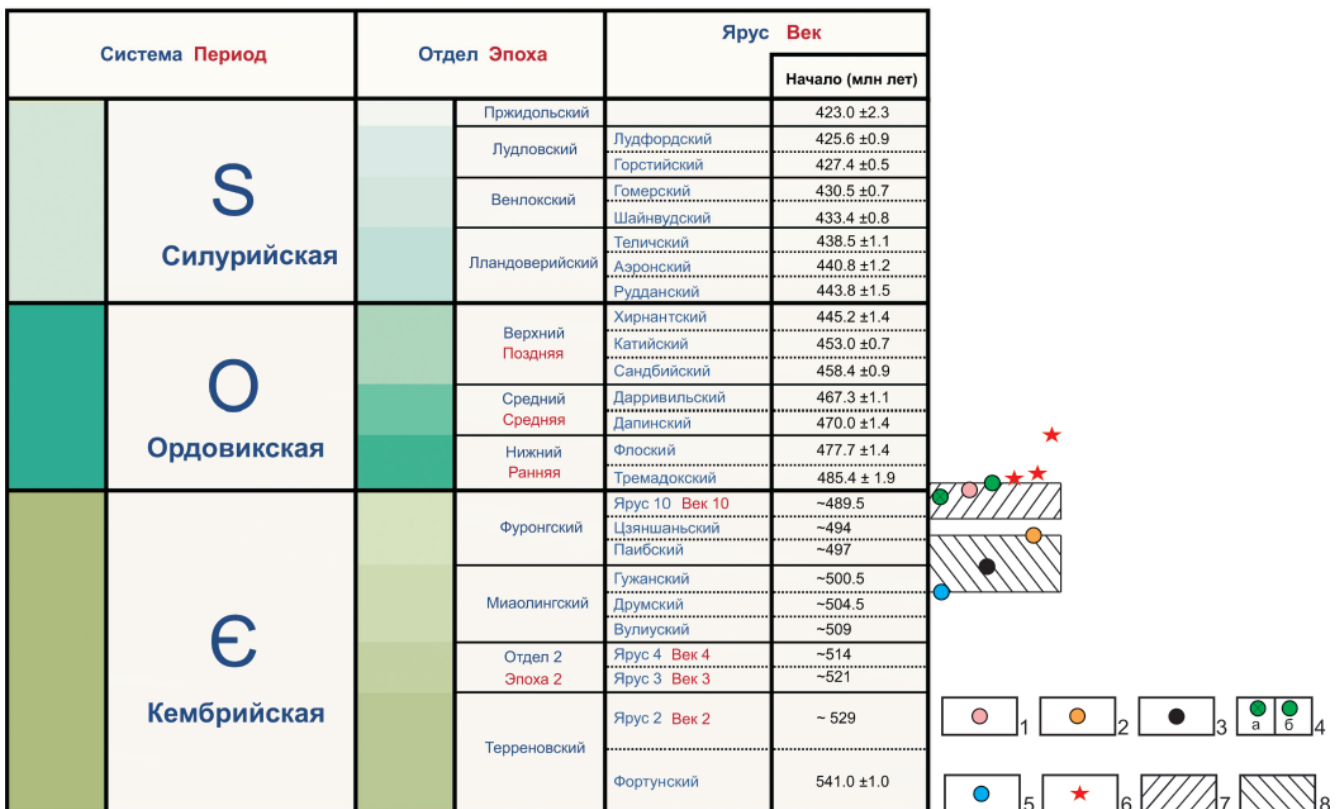
1 – габброиды первой фазы; 2 – внемасштабные тела габброидов; 3 – монцодиоритоиды второй фазы; 4 – сиениты и кварцевые сиениты; 5 – гранитоиды карнаульского (а) и тигертышского (б) интрузивных комплексов; 6 – тектоническое нарушение; 7 – пункты изотопного датирования U-Pb по цирконам (SHRIMP-II)

Что касается *кийского габбро-сиенитового комплекса*, то широко распространенные щелочные сиениты (Ударнинский массив) и сиениты (Кайдаловский массив), судя по опубликованным материалам [14, 15], имеют близкий возраст ( $495,2 \pm 4,5$  и  $498 \pm 1,0$  млн лет соответственно). Эти даты практически совпадают с нашими датировками нефелин-нормативных монцодиоритов петротипического Когтахского массива ( $500 \pm 4,3$  и  $500,8 \pm 4,6$  млн лет).

Мы полагаем, что *кийский* и *когтахский комплексы*, несмотря на их принадлежность к разным магматическим формациям (габбро-сиенитовой и габбро-монцодиоритовой), являются родственными образованиями не только по геохронологическим, но и по другим признакам. Так, щелочные и нефелиновые сиениты встречаются не только в кийском (Ударнинский, Новобериккульский, Старобериккульский и другие массивы), но и в когтахском комплексах (Буланкульский, Тырдановский, Килимпаспахский, Бискалжинский, Намштакский). Габброиды сопоставляемых комплексов по геологическим, петрографическим и петрохимическим характеристикам практически идентичны. Речь может идти лишь о разнице в объемах (но не в составах) горных пород. На востоке Кузнецкого Алатау количество щелочных пород ограничено, тогда как на западе

их много; монцодиориты в кийском комплексе развиты незначительно в виде оторочек андезиновых габбро и оливиновых диоритов на контактах габброидов с щелочными сиенитами [8], а в когтахском комплексе эти образования доминируют.

Резюмируя изложенное отметим, что, по нашему мнению, по набору геохронологических, геологических и петрографических особенностей можно уверенно сопоставлять (коррелировать) *малодудетский* и *кашпарский*, а также *кийский* и *когтахский* комплексы соответственно. Судя по изотопным датировкам вышеназванных образований, вынесенных на хроностратиграфическую шкалу (рис. 3), можно выделить два узких геохронологических интервала их формирования: позднекембрийско-раннеордовикский *Малодудетско-Кашпарский* (кварц-нормативные монцодиориты и габброиды, около 485–490 млн лет) и среднекембрийский *Когтахско-Кийский* (нефелин-нормативные диоритоиды и щелочные сиениты, около 495–500 млн лет). Таким образом, общая продолжительность магматического цикла формирования субщелочных и щелочных пород составляет всего 15 млн лет. С учетом датировок «кашпарских» сиенитов и кварцевых сиенитов (от  $472,1 \pm 2,5$  до  $483,4 \pm 3,7$  млн лет [10]) продолжительность цикла увеличивается до 30 млн лет. К сожалению



**Рис. 3.** Фрагмент Международной хроностратиграфической шкалы (<http://www.stratigraphy.org>, дата обращения 10.10.2019) с геохронологическими рубежами раннепалеозойского субщелочного и щелочного интрузивного магматизма западного и восточного склонов Кузнецкого Алатау (U-Pb датирование по цирконам)

1 – монцодиориты Малодудетского массива; 2 – щелочные сиениты Ударнинского массива; 3 – сиениты Кайдаловского массива; 4 – Кашпарский массив: а – габброиды 1-й фазы, б – монцодиориты 2-й фазы; 5 – монцодиориты Когтахского массива; 6 – сиениты кашпарского комплекса; геохронологические интервалы: 7 – *малодудетско-кашпарский* ( $\approx 485$ – $490$  млн лет), 8 – *когтахско-кийский* ( $\approx 495$ – $500$  млн лет)



нию, кварцсодержащие сиениты (кашпарского возрастного уровня) на западном склоне Кузнецкого Алатау не датировались из-за ошибочного мнения о преимущественном присутствии в Мариинской тайге сиенитов «ударнинского» типа при незначительном развитии более молодых сиенитоидов.

В заключение подчеркнем, что становление массивов габброидов когтахского и кийского комплексов происходило в условиях спокойного тектонического режима, что привело к формированию хорошо дифференцированных расслоенных изометричных интрузивов с четко проявленными кристаллизационными текстурами. Внедрение габброидов и монцодиоритов кашпарского и малодудетского комплексов происходило на фоне активизации тектонических движений, о чем свидетельствует их приуроченность к зонам разрывных нарушений и отсутствие в породах явных признаков магматической дифференциации.

### Выводы

1. На основании новых изотопных U-Pb датировок, имеющих в распоряжении авторов, проведена корреляция раннепалеозойских субщелочных и щелочных интрузивных комплексов, расположенных на противоположных склонах Кузнецкого Алатау. По нашим данным, они сформировались на двух геохронологических рубежах – среднекембрийском (*когтахский* и *кийский*) и позднекембрийско-раннеордовикском (*кашпарский* и *малодудетский*) – и обладают рядом родственных черт петрографического и петрогеохимического характера.

2. Неоднозначность доказательной базы, использованной специалистами ПГО «Запсибгеолсъемка» в процессе «ликвидации» кийского габбро-сиенитового комплекса, создает реальные предпосылки для восстановления его статуса в прежнем объеме с поправкой на возраст (среднекембрийский, а не раннедевонский, как полагали ранее). В строении *кийского габбро-сиенит-нефелин-сиенитового комплекса* ( $\epsilon_2$ ks) с петротипом в районе бывшего рудника Ударного, отчетливо устанавливаются три последовательные фазы внедрения.

**Первая фаза** состоит из оливин-клинопироксен амфиболовых, клинопироксеновых, амфиболовых, оливин-амфиболовых мезо- и лейкократовых, редко меланократовых габброидов с линзами анортзитов, дунитов, перидотитов (в расслоенных массивах). Для базитов характерны повышенные (иногда высокие) содержания  $\text{TiO}_2$  и  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

**Вторая фаза** включает щелочные сиениты, нордмаркиты, сиениты, кварцевые сиениты, редко нефелинсодержащие пуласкиты. Изотопный U-Pb возраст Ударнинского и Кайдаловского массивов  $495,2 \pm 4,5$  и  $498 \pm 1,0$  млн лет соответственно. С магматитами второй фазы тесно сопряжены процессы интенсивной сиенитизации пород основного и среднего составов.

**Третья фаза** представлена нефелиновыми сиенитами (фойяиты, миаскиты, канадиты, редко ювиты) с контактово-реакционными зонами нефелинизации габброидов, порфиритов и преобразованных карбонатных пород (скарнов).

Авторы убеждены, что предлагаемое уточнение схемы раннепалеозойского магматизма западного склона Кузнецкого Алатау не приведет к кардинальной ломке устоявшихся в течение последних десятилетий концептуальных представлений, а лишь поможет исправить досадные ошибки, допущенные при производстве геолого-съёмочных работ в конце XX столетия.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Борисов С. М.** О проявлении габбро-монцодиоритовой формации в Мартайге // Новые данные о геологии и полезных ископаемых западной части Алтае-Саянской области. – Новокузнецк, 1995. – С. 193–195.
2. **Довгаль В. Н.** Раннепалеозойская габбро-сиенитовая формация центральной части Алтае-Саянской складчатой области. – М.: Наука, 1968. – 205 с.
3. **Корреляция** магматических и метаморфических комплексов западной части Алтае-Саянской складчатой области / С. П. Шокальский, Г. А. Бабин, А. Г. Владимиров и др. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2000 – 187 с.
4. **Кортусов М. П.** О габбро-сиенитовом интрузивном комплексе Мариинской тайги (Кузнецкий Алатау) // Материалы по минералогии, петрографии и полезным ископаемым Западной Сибири. – Томск: Изд-во ун-та, 1962. – С. 51–60.
5. **Кортусов М. П., Макаренко Н. А.** Нефелин-содержащие породы Мариинской тайги и их генетические особенности // Итоги исследований по геологии и географии за 50 лет (1917–1967). – Томск: Изд-во ун-та, 1968. – С. 14–33.
6. **Кортусов М. П., Макаренко Н. А.** Некоторые дискуссионные вопросы изучения щелочных пород северной части Кузнецкого Алатау // Щелочные и субщелочные породы Кузнецкого Алатау. – Томск: Изд-во ун-та, 1987. – С. 3–15.
7. **Котельников А. Д., Макаренко Н. А.** О критериях расчленения нижнепалеозойской габбро-монцодиоритовой формации Кузнецкого Алатау на когтахский и кашпарский интрузивные комплексы // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2018. – № 2. – С. 49–60.
8. **Кривенко А. П.** Сиенит-габбровый плутон Большой Таскыл в Кузнецком Алатау. – Новосибирск: Наука, 1973. – 105 с.
9. **Макаренко Н. А., Кортусов М. П.** Петрология габбро-сиенит-нефелин-сиенитовой ассоциации Мариинской тайги. – Томск: Изд-во ун-та, 1991. – 310 с.
10. **Макаренко Н. А., Котельников А. Д.** Кашпарский кембро-ордовикский габбро-диорит-кварцмонцодиорит-сиенитовый комплекс – новое петрографическое подразделение на восточном



склоне Кузнецкого Алатау // Геосферные исследования. – 2018. – № 2. – С. 52–71.

11. Никонов О. И. Габбро-диорит-диабазовая и габбро-пироксенитовая интрузивные ассоциации западного склона Кузнецкого Алатау. Автореф. дис... к. г.-м. н. – Новосибирск: 1972. – 31 с.

12. Никонов О. И., Никонова З. П. Урюпинский массив – представитель габбро-пироксенитовой формации Кузнецкого Алатау // Геология и геофизика. – 1971. – № 10. – С. 38–45.

13. Рабочая корреляционная схема магматических и метаморфических комплексов Кузнецкого Алатау / В. Л. Хомичев, Л. В. Алабин, Г. А. Бабин и др. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1996. – 24 с.

14. Раннепалеозойские гранитоидные батолиты Алтае-Саянской складчатой области (историко-временная зональность, источники) / С. Н. Руднев, А. Г. Владимиров, Н. Н. Крук и др. // Докл. РАН. – 2004. – Т. 396, № 3. – С. 369–373.

15. Раннепалеозойские батолиты северной части Кузнецкого Алатау: вещественный состав, возраст и источники / С. Н. Руднев, С. М. Борисов, Г. А. Бабин и др. // Петрология. – 2008. – Т. 16, № 4. – С. 421–448.

16. Региональные схемы корреляции магматических и метаморфических комплексов Алтае-Саянской складчатой области / под ред. В. Л. Хомичева. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1999. – 260 с.

17. Уваров А. Н., Дубский В. С. К вопросу о существовании кийского габбро-сиенитового комплекса Кузнецкого Алатау // Магматизм и эндогенная металлогения западной части Алтае-Саянской складчатой области: тез. докл. к науч.-техн. конф. – Новокузнецк, 1987. – С. 52–54.

18. Уваров А. Н., Жигалов С. В. О формационной принадлежности Ударнинского плутона (Кузнецкий Алатау) // Магматические формации складчатых областей Сибири, проблемы их происхождения, рудоносности и картирования. – Новосибирск: Наука, 1981. – С. 31–32.

## REFERENCES

1. Borisov S.M. [About the manifestation of the gabbro-monzodiorite formation in Martaiga]. *Novyye dannyye o geologii i poleznykh iskopayemykh zapadnoy chasti Altaye-Sayanskoy oblasti* [New data on geology and minerals of the western part of Altai-Sayan region]. Novokuznetsk, 1995, pp. 193–195. (In Russ.).

2. Dvugal V.N. *Rannepaleozoyskaya gabbro-siyenitovaya formatsiya tsentralnoy chasti Altaye-Sayanskoy skladchatoy oblasti* [Early Paleozoic gabbro-syenite formation in the central part of the Altai-Sayan folded region]. Moscow, Nauka Publ., 1968. 205 p. (In Russ.).

3. Shokalsky S.P., Babin G.A., Vladimirov A.G., et al. *Korrelyatsiya magmaticheskikh i metamorficheskikh kompleksov zapadnoy chasti Altaye-Sayanskoy skladchatoy oblasti* [Correlation of magmatic and metamorphic complexes in the western part of the Altai-Sayan

folded region] Novosibirsk, Geo Publ., 2000. 187 p. (In Russ.).

4. Kortusov M.P. [On the gabbro-syenite intrusive complex of the Mariinskaya taiga (Kuznetskiy Alatau)]. *Materialy po mineralogii, petrografii i poleznym iskopayemym Zapadnoy Sibiri* [Materials on mineralogy, petrography and minerals of Western Siberia]. Tomsk, University Publ., 1962, pp. 51–60. (In Russ.).

5. Kortusov M.P., Makarenko N.A. [Nepheline-containing rocks of the Mariinskaya taiga and their genetic features]. *Itogi issledovaniy po geologii i geografii za 50 let (1917–1967)*. [Results of research on geology, geography over 50 years (1917–1967)]. Tomsk, University Publ., 1968, pp. 14–33. (In Russ.).

6. Kortusov M.P., Makarenko N.A. [Some discussion questions of the study of alkaline rocks in the northern part of the Kuznetskiy Alatau]. *Shchelochnyye i subshchelochnyye porody Kuznetskogo Alatau* [Alkaline and subalkaline rocks of the Kuznetskiy Alatau]. Tomsk, University Publ., 1987, pp. 3–15. (In Russ.).

7. Kotelnikov A.D., Makarenko N.A. [On the criteria for the partition of the Lower Paleozoic gabbro-monzodiorite formation of the Kuznetsk Alatau into the Kogtakh and Kashpar intrusive complexes]. *Geologiya i mineralno-syryevyye resursy Sibiri – Geology and mineral resources of Siberia*, 2018, no. 2, pp. 49–60. (In Russ.).

8. Krivenko A.P. *Siyenit-gabbrovyy pluton Bolshoy Taskyl v Kuznetskom Alatau* [The syenite-gabbro pluton Bolshoy Taskyl in the Kuznetsk Alatau]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1973. 105 p. (In Russ.).

9. Makarenko N.A., Kortusov M.P. *Petrologiya gabbro-siyenit-nefelinsiyenitovoy assotsiatsii Mariinskoy taygi* [Petrology of the gabbro-syenite-nephelinsyenite association of the Mariinskaya taiga]. Tomsk, University Publ., 1991. 310 p. (In Russ.).

10. Makarenko N.A., Kotelnikov A.D. [Kashparskiy Cambrian-Ordovician gabbro-diorite-quartz monzodiorite-syenite complex – a new petrographic unit on the eastern slope of the Kuznetskiy Alatau] *Geosfernyye issledovaniya – Geosphere research*, 2018, no. 2, pp. 52–71. (In Russ.).

11. Nikonov O.I. *Gabbro-diorit-diabazovaya i gabbro-piroksenitovaya intruzivnyye assotsiatsii zapadno-go sklona Kuznetskogo Alatau. Avtoreferat kand. dys.* [Gabbro-diorite-diabase and gabbro-pyroxenite intrusive associations of the western slope of the Kuznetskiy Alatau. Author's abstract of PhD thesis]. Novosibirsk, 1972. 31 p. (In Russ.).

12. Nikonov O.I., Nikonova Z.P. [Uryupinsky massif – a representative of the gabbro-pyroxenite formation of the Kuznetskiy Alatau] *Geologiya i geofizika*, 1971, no. 10, pp. 38–45. (In Russ.).

13. Khomichev V.L., Alabin L.V., Babin G.A., et al. *Rabochaya korrelyatsionnaya skhema magmaticheskikh i metamorficheskikh kompleksov Kuznetskogo Alatau* [The working correlation scheme of the magmatic and metamorphic complexes of the Kuznetsk Alatau]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 1996. 24 p. (In Russ.).



14. Rudnev S.N., Vladimirov A.G., Kruk N.N., et al. [Early Proterozoic granitoid batholites of the Altai-Sayan Folded Region (lateral-temporal zoning and sources)] *Doklady Earth's sciences*, 2004, vol. 396, no. 4. pp. 492–495.

15. Rudnev S.N., Borisov S.M., Babin G.A., et al. [Early Paleozoic batholiths of the northern part of the Kuznetskiy Alatau: composition, age and sources]. *Petrologiya – Petrology*, 2008, vol. 16, no. 4, pp. 395–419.

16. *Regionalnyye skhemy korrelyatsii magmaticheskikh i metamorficheskikh kompleksov Altaye-Sayanskoy skladchatoy oblasti* [Regional correlation schemes of magmatic and metamorphic complexes of the Altai-Sayan folded region]. Khomichev V.L., ed. Novosibirsk, SNIIGiMS Publ., 1999. 260 p. (In Russ.).

17. Uvarov A.N., Dubsky V.S. [On the question of the existence of the Kiya gabbro-syenite complex of the Kuznetsk Alatau]. *Magmatizm i endogennaya metallogeniya zapadnoy chasti Altaye-Sayanskoy skladchatoy oblasti. Tezisy dokladov k nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Magmatism and endogenous metallogeny in the western part of the Altai-Sayan folded region: abstracts doc. to scientific and technical conf. Novokuznetsk, 1987, pp. 52–54. (In Russ.).

18. Uvarov A.N., Zhigalov S.V. [On the formation affiliation of the Udarninsky pluton (Kuznetsk Alatau)]. *Magmaticheskiye formatsii skladchatykh oblastey Sibiri, problemy ikh proiskhozhdeniya, rudonosnosti i kartirovaniya*. [Magmatic formations of the folded regions of Siberia, problems of their origin, ore content and mapping]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1981, pp. 31–32. (In Russ.).

© Н.А. Макаренко, А.Д. Котельников, 2020



УДК 553.411.071(571.1-13)

## ТИПОХИМИЗМ И МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ ЕГОРЬЕВСКОГО РУДНО-РОССЫПНОГО РАЙОНА (СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ САЛАИР)

В. В. Колпаков<sup>1</sup>, П. А. Неволько<sup>1,2</sup>, П. А. Фоминых<sup>1</sup><sup>1</sup>Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия, <sup>2</sup>Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

Получены новые дополнительные данные по химическому составу и минеральным ассоциациям гравитационно извлекаемого самородного золота в остаточной коре выветривания на площадях, которые примыкают к Егорьевскому месторождению. По химическому составу в коре выветривания выделены три разновидности самородного золота. Вероятные их коренные источники – мезо- или эпitherмальное жильное и прожилково-вкрапленное золотое оруденение. В коре выветривания наиболее распространены золотины с пробностью более 900 ‰, содержащие до 1–2 мас. % ртути. Также в них может присутствовать примесь Cu (0, n мас. %). Их источник – жильное мезотермальное оруденение золото-кварцевого типа. На новой площади выявлена разновидность самородного золота с пробностью менее 900 ‰ и содержаниями ртути от 1 до 4–5 мас. %. Этой разновидности нет на Егорьевском месторождении. Золотины такого состава не характерны для Егорьевского района, но в коре выветривания и метасоматитах Лапинского участка месторождения отмечаются ртутистые (от 7–12 до 23 мас. % Hg) золотины, часто с примесью меди (до 1–2 мас. %). Химические составы самородного золота коры выветривания и тесно связанных с ней аллювиальных россыпей в целом хорошо сопоставимы, но наблюдаются и различия в распространенности золотин определенного химического состава в рудных источниках, коре выветривания и россыпях. Гипергенные преобразования частиц золота проявлены относительно слабо и более заметны на Егорьевском месторождении. Рудные минералы, обнаруженные в золотинах в виде микровключений, являются обычными для средне- и низкотемпературного гидротермального золотого оруденения.

**Ключевые слова:** кора выветривания, химический состав самородного золота, минеральные ассоциации золота, золоторудная минерализация, россыпи золота, гипергенные преобразования золотин.

## TYPOCHEMISTRY AND MINERAL ASSOCIATIONS OF NATIVE GOLD OF WEATHERING CRUST OF YEGORIEVSKY ORE-PLACER AREA (NORTH-WESTERN SALAIR)

V. V. Kolpakov<sup>1</sup>, P. A. Nevolko<sup>1,2</sup>, P. A. Fominykh<sup>1</sup><sup>1</sup>V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia, <sup>2</sup>Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

New data were obtained on the chemical composition and mineral associations of gravitationally recoverable native gold in the residual weathering crust in areas adjacent to the Yegorievsky deposit, supplementing the available materials on the mineralogical and geochemical properties of native gold of the Yegorievsky area. According to the chemical composition, three varieties of native gold are identified in the weathering crust, the probable root sources of which are mesothermal or epithermal vein and vein-disseminated gold mineralization. Gold grains with a fineness of more than 900‰, containing up to 1–2 wt.% Hg, are most common in the weathering crust, they may also contain an admixture of Cu (0, n wt.%). Their source is vein mesothermal mineralization of the gold-quartz type. In the new area, a variety of native gold with a fineness of less than 900‰ and mercury contents from 1 to 4–5 wt.% was found, which was absent at the Yegorievsky deposit. Gold grains of this composition are generally not characteristic of the Yegorievsky area. At the same time, in the weathering crust and metasomatites of the Lapinsky site of the Yegorievsky deposit there are mercury (from 7–12 to 23 wt.% Hg) gold, often with an admixture of copper (up to 1–2 wt.%), not found in new areas. The chemical compositions of the native gold of the weathering crust and alluvial placers closely related to it are generally well comparable, but there are also differences in the prevalence of golds of a certain chemical composition in ore sources, weathering crust and placers. Hypergenic transformations of gold particles are relatively weak and more noticeable at the Yegorievsky deposit. Ore minerals found in gold in the form of microinclusions are common minerals for medium- and low-temperature hydrothermal gold mineralization.

**Keywords:** weathering crust, chemical composition of native gold, gold mineral associations, gold mineralization, gold placers, hypergenic transformations of gold grains.

DOI 10.20403/2078-0575-2020-2-96-109

Егорьевский рудно-россыпной район – один из старейших в Сибири и единственный промышленно золотоносный (россыпи Au) в Новосибирской области. Несмотря на высокую степень отработанности,

россыпной потенциал еще не исчерпан и в настоящее время продолжается добыча золота на многих объектах. Золотоносная кора химического выветривания, широко распространенная в районе, являет-





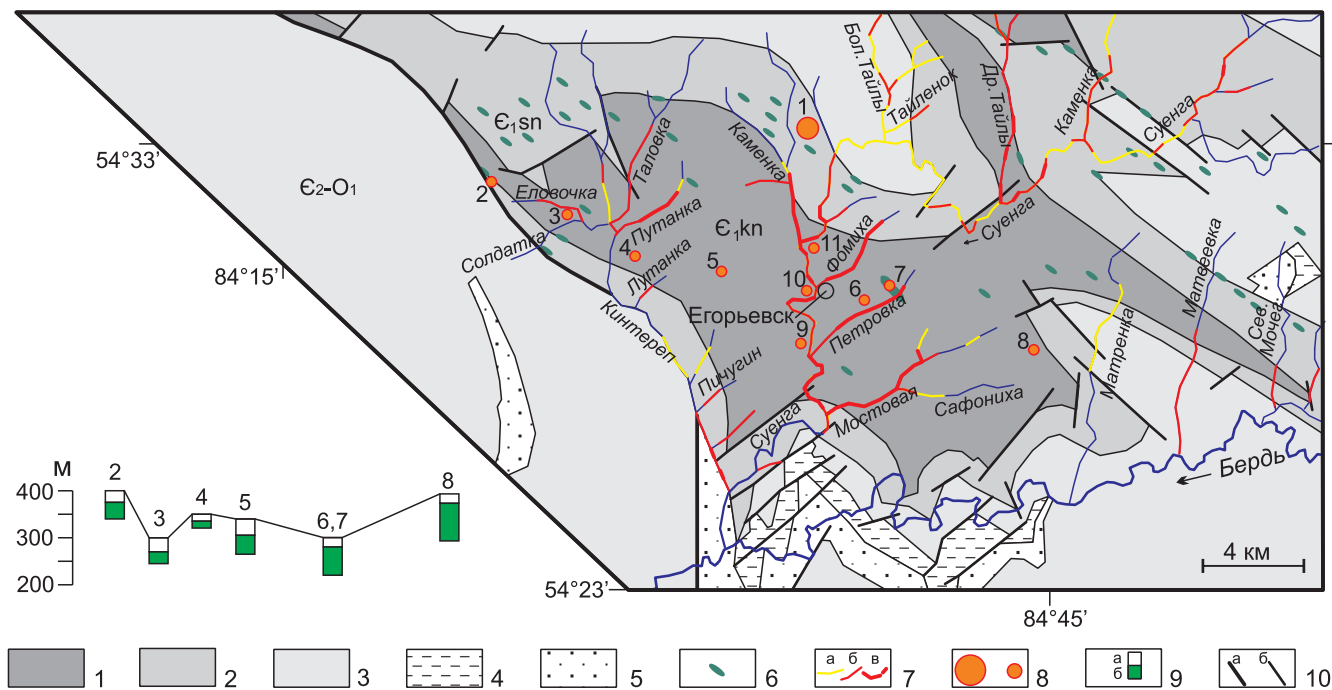
ся важным источником золота аллювиальных россыпей, несущих генетическую информацию об эндогенном золотом оруденении. Изучение самородного золота коры выветривания и его минеральных ассоциаций, особенно на новых площадях, весьма актуально и имеет прогнозно-поисковое значение. По золоту коры выветривания опубликованных материалов мало [4, 6], как и по золоту эндогенных источников и россыпей северо-западного Салаира [8]. Эта информация касается в основном района Егорьевского месторождения золота в коре выветривания, где находится большая часть известных золоторудных объектов. Соседние площади изучены гораздо слабее. В фондовых материалах имеются лишь краткие сведения о химическом составе самородного золота (в основном о его пробности). Между тем в рудных объектах, коре выветривания и аллювиальных россыпях северо-западного Салаира распространены своеобразные, редко встречающиеся в других рудных районах ртутистые (до 23 мас. % Hg) и медьсодержащие (до 4 мас. % Cu) золотины [12]. Разнообразны и минеральные ассоциации самородного золота. Для исследований нами был привлечен новый обширный фактический материал по экзогенным золотоносным образованиям площадей, примыкающих к Егорьевскому месторождению, полученный в результате проведения

Новосибирской геолого-поисковой экспедицией поисковых работ на россыпное золото в 1995–1997 гг.

### Краткие сведения о геологическом строении и золотоносности района

Салаирский кряж является частью Алтае-Саянской складчатой области и представляет собой сложное складчато-глыбовое сооружение каледонско-герцинской консолидации. В нижней части разреза залегают карбонатные и терригенно-вулканогенные нижнекембрийские отложения кинтерепской, печеркинской и суенгинской свит, вмещающих золотое оруденение. Последнее обнаруживает связь с дайками основного состава ( $E_2-O_1$ ) и представлено преимущественно золото-сульфидно-кварцевой, золото-кварцевой [4, 8] и золотосодержащей полиметаллической формациями. Полиметаллическое с золотом оруденение пространственно сопряжено с вулканогенными породами печеркинской свиты (главным образом кислого состава) [3, 4, 8] и не проявлено на рассматриваемых площадях (рис. 1).

Первая россыпь золота на р. Фомиха была открыта в 1830 г. [4]. В дальнейшем изучением экзогенной и эндогенной золотоносности северо-западного Салаира занимались многие исследователи (А. Кулибин, В. А. Обручев, А. Я. Булынников, Б. Ф. Сперанский, И. В. Дербигов, А. С. Юрма-



**Рис. 1.** Схема геологического строения района Егорьевского месторождения золота в коре выветривания

1 – кинтерепская свита ( $E_1kn$ ): мраморизованные известняки с прослоями углистого вещества, песчаников, алевролитов; 2 – суенгинская свита ( $E_1sn$ ): терригенно-вулканогенно-карбонатные отложения; 3 – зелено-фиолетовая серия ( $E_2-O_1$ ): терригенно-вулканогенные отложения; 4 – известняки, алевролиты, глинистые сланцы, песчаники ( $O_2-S_1$ ); 5 – известняки, глинистые сланцы, бокситы, аллиты, сиаллиты ( $D_{1-2}$ ); 6 – дайки основного состава ( $E_2-O_1$ ); 7 – россыпи золота [11] с линейной продуктивностью менее 20 кг/км (а), 20–100 кг/км (б), 100–150 кг/км и более (в); 8 – Ново-лушниковское месторождение (№ 1), пункты опробования коры выветривания Бубенщиковского участка (№ 2–4), Лутанского, Гусельнятского и Лапинского участков Егорьевского месторождения (№ 5–7), Матвеевского участка (№ 8), рудопоявление Бобровского лога (№ 9), пункты минерализации Удивительный (№ 10) и Суенга (№ 11); 9 – усредненные мощности покровных отложений (а) и коры выветривания (б) по участкам опробования; 10 – разломы: главный (а) и второстепенные (б)



Таблица 1

Мощность отложений коры выветривания на исследуемых площадях

Площадь	№ на рис. 1	Глубина залегания, м	Мощность, м	Уровень содержания золота, мг/т
Бубенщиковская	2–4	10–33 м	До 85 м	Обычно до 25, единично до 100–200
Егорьевская [2]	5–7	До 40 м	До 200 м	До 100–300, единично до первых г/т
Матвеевская	8	2–21 м	До 108 м	Обычно до 25, единично до 90

зов, Г. Д. Карамышева, М. А. Усов, В. Г. Свиридов, С. В. Колтунов, Р. Ф. Колпакова, В. В. Нечаев, А. И. Неволько, Н. А. Росляков, Г. В. Нестеренко, Ю. А. Калинин, В. Л. Хомичев и др.). Они выделили формационные типы золотого оруденения, установили закономерности его размещения, изучили поведение золота в зоне гипергенеза и условия формирования золотосодержащих кор выветривания, охарактеризовали самородное золото в корях выветривания и россыпях и сделали еще многое другое. Эти сведения наиболее полно обобщены в работах [4, 6, 8], а также и в докторских диссертациях Н. А. Рослякова (1981 г.) и Ю. А. Калинина (2003 г.).

Самородное золото находится в многочисленных кварцевых и кварц-карбонатных жилах с небольшим (до 5 %, а чаще до 1 %) количеством сульфидов и в метасоматитах лиственитового или березитового типов, в которых количество сульфидов (главным образом пирита) составляет 5–10 %, иногда до 30 %. Для золото-кварцевого оруденения, в отличие от золото-сульфидно-кварцевого, нехарактерно развитие метасоматитов. Кроме пирита, рудные минералы жил и метасоматитов представлены халькопиритом, борнитом, сфалеритом, галенитом, арсенопиритом, блеклыми рудами, алтаитом, гесситом и др. Особенностью метасоматитов является наличие в них парагонита (вместе с мусковитом). Золотое оруденение в основном приурочено к дайкам основного состава и к их контактам, реже к прослоям терригенных пород в карбонатных вдали от даек и, еще реже, к карбонатным породам [4]. В районе известны два месторождения золота – Новолушниковское (Жила 13) золото-сульфидно-кварцевого типа (№ 1 на рис. 1) и Егорьевское в коре выветривания (№ 5–7 на рис. 1) – и более десятка рудопроявлений и пунктов минерализации. Новолушниковское месторождение [8] локализуется в насыщенных дайками терригенно-карбонатных породах суенгинской свиты ( $E_1$ ) и в перекрывающих их вулканогенно-терригенных породах ( $E_{2-3}$ ), в апикальной части надынрузивной зоны плагиогранит-диоритового массива (предположительно  $O_1$ ). Простираение рудных зон северо-западное, согласное геологическим структурам, реже широтное. Штокверковые жильные и прожилково-вкрапленные (метасоматиты) руды характеризуются пестрым минеральным составом (сульфиды, сульфосоли, теллуриды, интерметаллиды и др.). На глубине около 200 м незначительно проявлены скарны и скарноиды

[4], а в эндоконтакте массива – молибденовое оруденение. Рудопроявление лога Бобровского (№ 9 на рис. 1) представлено кварцевыми жилами с пиритом и халькопиритом, развитыми в известняках с лиственитами [8], и местными обломками жил кварца, сцементированными лимонитом. Здесь же находятся массивные гематит-лимонитовые экзогенные породы, также содержащие золото. В пункте минерализации Удивительный (№ 10) находится кварц-карбонатный штокверк в раздробленных известняках с вкрапленностью пирита. Пункт минерализации Суенга (№ 11) представляет собой пиритизированные мраморы с халькопиритом. Содержания золота на рудопроявлениях редко превышают первые г/т.

Коры выветривания площадного и линейного (по рудным зонам, разломам) типов были сформированы в мел-палеогеновое время ( $K_2-Pg_2$ ) и впоследствии подверглись интенсивному размыву, что привело к формированию россыпей золота. Мощность площадной коры выветривания в настоящее время от первых метров до десятков метров, линейной коры – более (табл. 1).

Кора выветривания Лапинского (№ 7) и Гусельнятского (№ 6) участков Егорьевского месторождения развивалась среди прочих пород по гидротермально измененным дайкам диоритов. На Лапинском участке (рудопроявлении) мощность тела диоритов достигает 200 м, протяженность 1,5 км. Единичные менее масштабные дайки обнаружены и под корой выветривания на Бубенщиковском участке (№ 2, 3). На Лутанском участке (№ 5) в известняках, рассеченных дайками диоритов, развит кварцевый штокверк, сопровождаемый метасоматитами [8]. Кора выветривания Матвеевского участка (№ 8) развита по известнякам кинтерепской свиты с редкими прослоями песчаников вблизи ее границы с суенгинской свитой. Кора на Егорьевском месторождении является наиболее фациально зрелой сравнительно с Матвеевским и Бубенщиковским участками. Продукты выветривания на первом представлены глинисто-алевритовыми разностями с каолинитовыми прослоями, более похожими на кору выветривания Егорьевского месторождения, на втором – преимущественно алевритами. Кора выветривания (№ 2–8 на рис. 1), из которой получено характеризующее в данной статье самородное золото, относится к остаточному типу. Основную промышленную ценность Егорьевского района составляют россыпи золота;

рудное золото в промышленных масштабах не добывалось.

### Минералого-геохимические свойства и минеральные ассоциации золота

Размер выделений самородного золота в коре выветривания Егорьевского месторождения не превышает 2 мм; на долю фракции 0,5–2 мм приходится 35–50 вес. % от выхода свободного гравитационно извлекаемого золота. Среднее содержание тонкодисперсного Au до 60 мг/т [4], выход связанного золота обычно не превышает 10 вес. % от валового. На Бубенщиковском и Матвеевском участках поисковые работы Новосибирской геолого-поисковой экспедицией (НГПЭ) производились в контурах спектрохимических аномалий с содержаниями золота до 5 г/т, содержания гравитационно извлекаемого золота, однако, оказались низкими (см. табл. 1). В коре выветривания Бубенщиковского и Матвеевского участков более 90 вес. % Au приходится на золотины мельче 0,25 мм, а максимальный их размер 0,5 мм. Морфология самородного золота коры выветривания разнообразна: изометричные, удлиненные, комковатые или уплощенные выделения как в основном ксеноморфного (рудного) облика, так и идиоморфного. Извлеченное из коры выветривания самородное золото находится в свободном виде и в сростках с кварцем, гидроокислами Fe, гидрослюдами, парагонитом. В виде микровключений в золотинах обнаружено около 20 минералов (табл. 2), в строках таблицы они расположены в порядке убывания частоты встречаемости.

Микровключения рудных минералов встречаются примерно в одном из 15–20 зерен самородного золота, размер включений составляет до 10 мкм (рис. 2). Наиболее распространенные рудные минералы включений – пирит, в том числе обогащенный Co, и минералы состава (Fe,Co,Ni)AsS – арсенопирит, кобальтин, аллоклазит. В золотинах Бубенщиковского участка присутствуют включения состава  $TiO_2$  (скорее всего, лейкоксен-рутила) и халькопирита, единичные – теллурида и галенита. В золотинах Лутанского участка (№ 5) и во вмещающем их кварце (см. рис. 2, № 11), находятся включения Co-пирита (4 и 10 мас. % Co), а в золотинах из кварцевых жил Бобровского лога – включения кобальтина (см. рис. 2, № 12) и арсенопирита. Для самородного золота из элювия рудной зоны на Новолушниковском месторождении характерны включения теллуридов Pb, Bi, Hg и галенита [12]. В золотинах Лапинского участка (№ 7) микровключения рудных минералов не встречены, но, по данным [4], в тяжелой фракции шлихов отмечаются единичные знаки пирита, очень редко – мельчайшие зерна халькопирита и арсенопирита. На соседнем Гусельнятском участке (№ 6) в одной золотине обнаружено довольно крупное включение аурустибита (см. рис. 2, № 6).

Преобладающими минералами большинства шлиховых концентратов золотоносной коры выветривания являются окисленный пирит и/или ильменит. Некоторые шлихи нацело состоят из них. Присутствие эпидота, граната, циркона, рутила коррелирует с наличием ильменита. Минеральный состав тяжелой фракции наиболее пестрый на Лапинском и Гусельнятском участках, где распространены также гематит и гипергенные минералы Mn. Кубики псевдоморфоз лимонита или гетита по пириту, особенно относительно крупные (1–3 мм), часто находятся в сростании со светлой слюдой (мусковит, парагонит). Эти сростки, как и наличие неокисленного пирита, характерны для шлихов Бубенщиковского участка. В пробах Матвеевского участка шлихи почти нацело сложены очень мелкими (0,25–0,5 мм) псевдоморфозами лимонита по пириту, сростков их с другими минералами не наблюдается.

Таблица 2  
Минералы-микровключения в золотинах

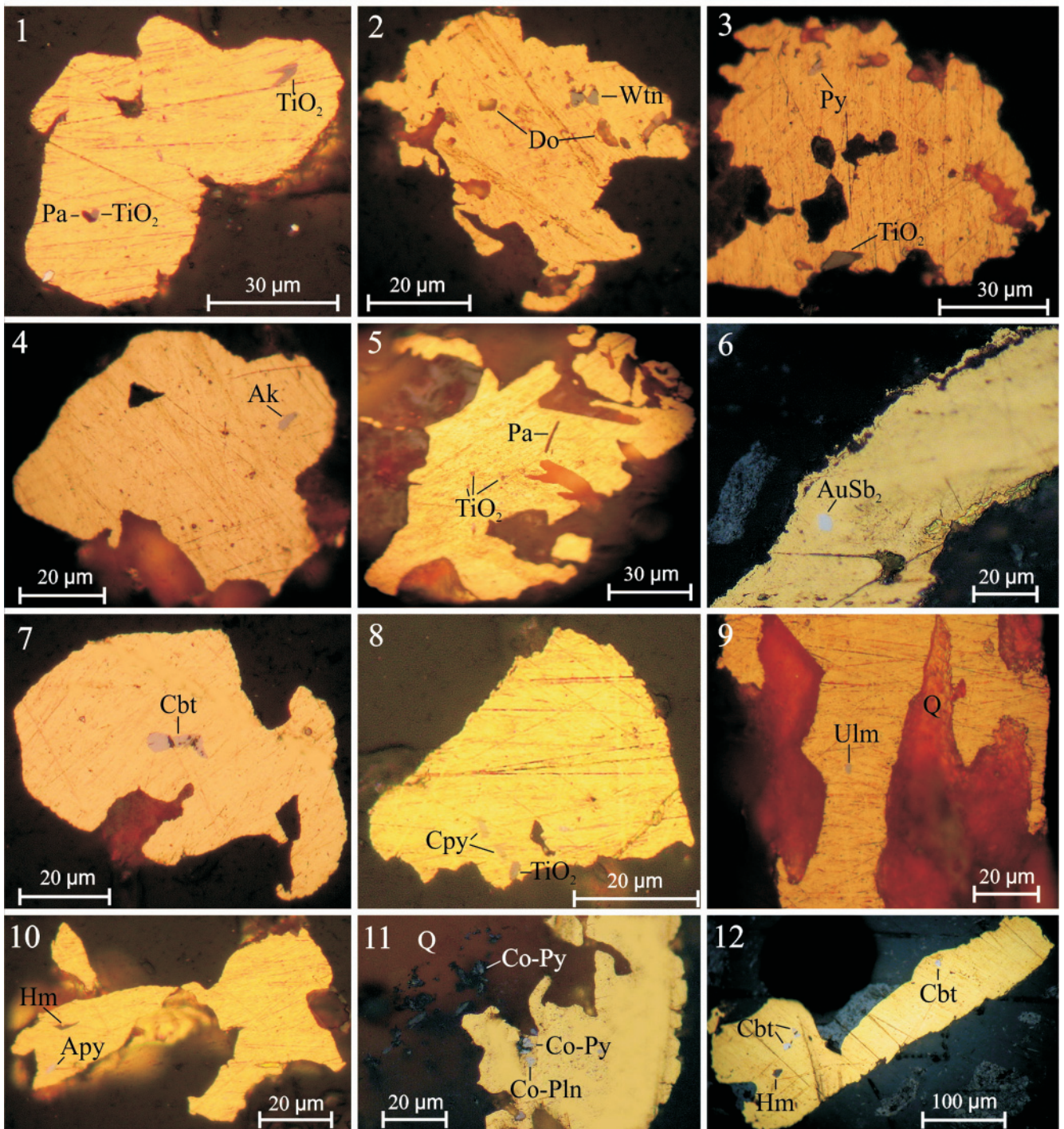
№ на рис. 1	Тип	Минералы микровключений
1	руд	Алтаит (PbTe), колорадоит (HgTe), Gn, теллурувисмутит ( $Bi_2Te_3$ )
2	КВ	Pу, Hm, $TiO_2$ , Ak ( $Co_{0,9}Fe_{0,1}$ ) AsS, Cbt ( $Co_{0,7}Fe_{0,2}Ni_{0,1}$ ) AsS, Do( $Ca_{0,5}Mg_{0,4}Fe_{0,1}$ ) $CO_3$ , wtn ( $Cu_{0,85}Zn_{0,1}Fe_{0,05}$ ) $_4(As_{0,85}Sb_{0,15})_2S_5$
3	КВ	$TiO_2$ , Ару, Сру, Pу, Pa, Hm, Pуr
3	kdr	Pу, $TiO_2$ , Сру, Hmc, Mt, Ulm (NiSbS), Gn, нагьягит ( $Pb_3(Pb,Sb)_3S_6$ )(Au,Te) $_3$
4	КВ	Cbt ( $Co_{0,8}Fe_{0,1}Ni_{0,1}$ ) AsS, Ak ( $Co_{0,9}Fe_{0,1}$ ) AsS, Ару, Сру, Hmc, Pуr
5	КВ	Co-Pу ( $Fe_{0,8}Co_{0,2}$ ) $S_2$ , Co-Pу ( $Fe_{0,9}Co_{0,1}$ ) $S_2$ , Co-pln ( $Co_{0,8}Fe_{0,2}$ ) $_4S_5S_{5,5}$
6	КВ	Аурустибит (AuSb $_2$ )
8	КВ	Pу, Ару
9	руд	Cbt ( $Co_{0,5-0,65}Ni_{0,2-0,33}Fe_{0,2}$ ) AsS, Ару, Hm

*Примечания.* Тип отложений: КВ – кора выветривания; kdr – погребенная россыпь ( $Q_{1-2}$ ) р. Еловочка; руд – рудное золото. Минералы: Pу – пирит; Ару – арсенопирит; Сру – халькопирит;  $TiO_2$  – рутил; Hm – гематит; Pa – парагонит; Hmc – гидрослюда; Pуr – пирротин; Mt – магнетит; Cbt – кобальтин; Ak – аллоклазит; Ulm – ульманит; Co-pln – кобальт-пентландит; Co-Pу – кобальт-пирит; Do – доломит; wtn – ватанабит; Gn – галенит.

Химический состав золотин определялся в шашках-аншлифах на электронном микрозонде Camebax-micro в ЦКП многоэлементных и изотопных исследований СО РАН, пределы обнаружения Au, Ag, Hg, Cu составляют 0,1 мас. %.

Характерной примесью самородного золота коры выветривания (кроме серебра) является ртуть, содержания которой обычно до 2–3 мас. %, но достигают и 8–12 мас. %, в единичных случаях 20, 23 мас. % (рис. 3).

Медь в составе золотин обнаруживается значительно реже, но в большинстве выборок, кроме Лутанского участка (№ 5), ее, как правило, не более

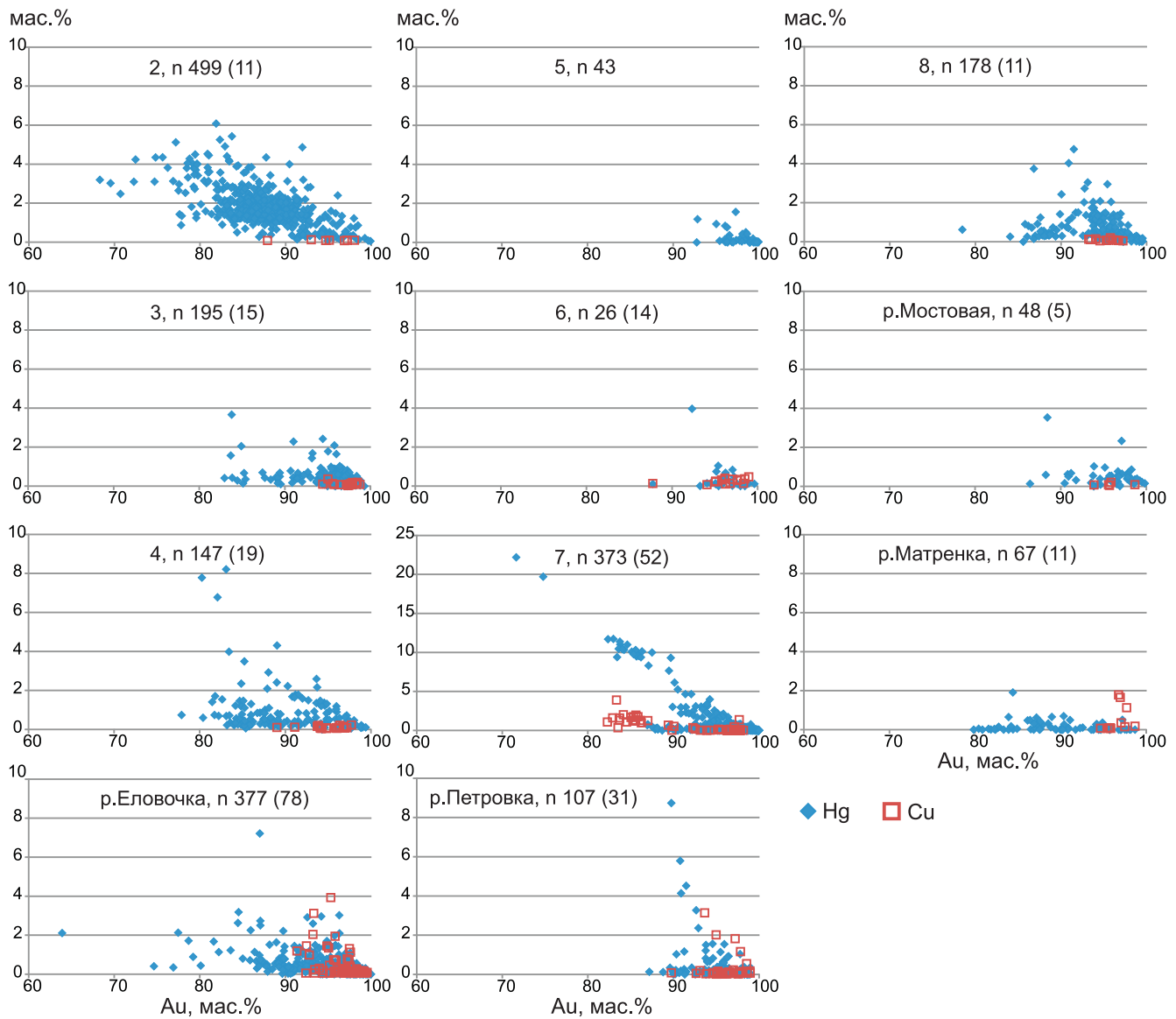


**Рис. 2.** Микровключения минералов в самородном золоте (фотографии сделаны с помощью рудного микроскопа) 1 – парагонит (Pa),  $TiO_2$ , выборка № 3; 2 – доломит (Do), ватанабит (wtn), № 2; 3 – пирит (Py),  $TiO_2$ , № 3; 4 – аллоклазит (Ak), № 2; 5 – парагонит,  $TiO_2$ , № 3; 6 – аурустибит, № 6; 7 – кобальтин (Cbt), № 2; 8 – халькопирит (Cpy),  $TiO_2$ , № 3; 9 – ульманит (Ulm), № 3; 10 – арсенипирит (Apy), лимонит (FeO), № 3; 11 – Co-пирит (Co-Py), Co-пентландит (Co-Pln), № 5; 12 – аллоклазит, лимонит, № 9 (привязку выборок см. на рис. 1)

0,6 мас. %, а пробность таких золотин более 900 ‰ (в основном более 940 ‰). Кроме того, на Лапинском участке (№ 7) относительно повышенные (1–4 мас. %) количества меди обнаружены в золотинах с пробностью 810–860 ‰.

Для самородного золота рудных источников, особенно Новолушниковского месторождения, типично наличие более высоких, чем в коре выветривания (за исключением Лапинского участка),

содержаний Hg (рис. 4, графики 1, 7, 11), есть разновидность, где содержания ртути равны или даже выше, чем серебра. Пробность золотин с примесью меди (как правило, до 1 мас. %) в основном более низкая (700–900 ‰). Подобная разновидность золотин присутствует в коре выветривания Лапинского участка (№ 7, см. рис. 3). В двух выборках золотин из кварцевых жил и метасоматитов (см. рис. 4) Новолушниковского месторождения, состав которых

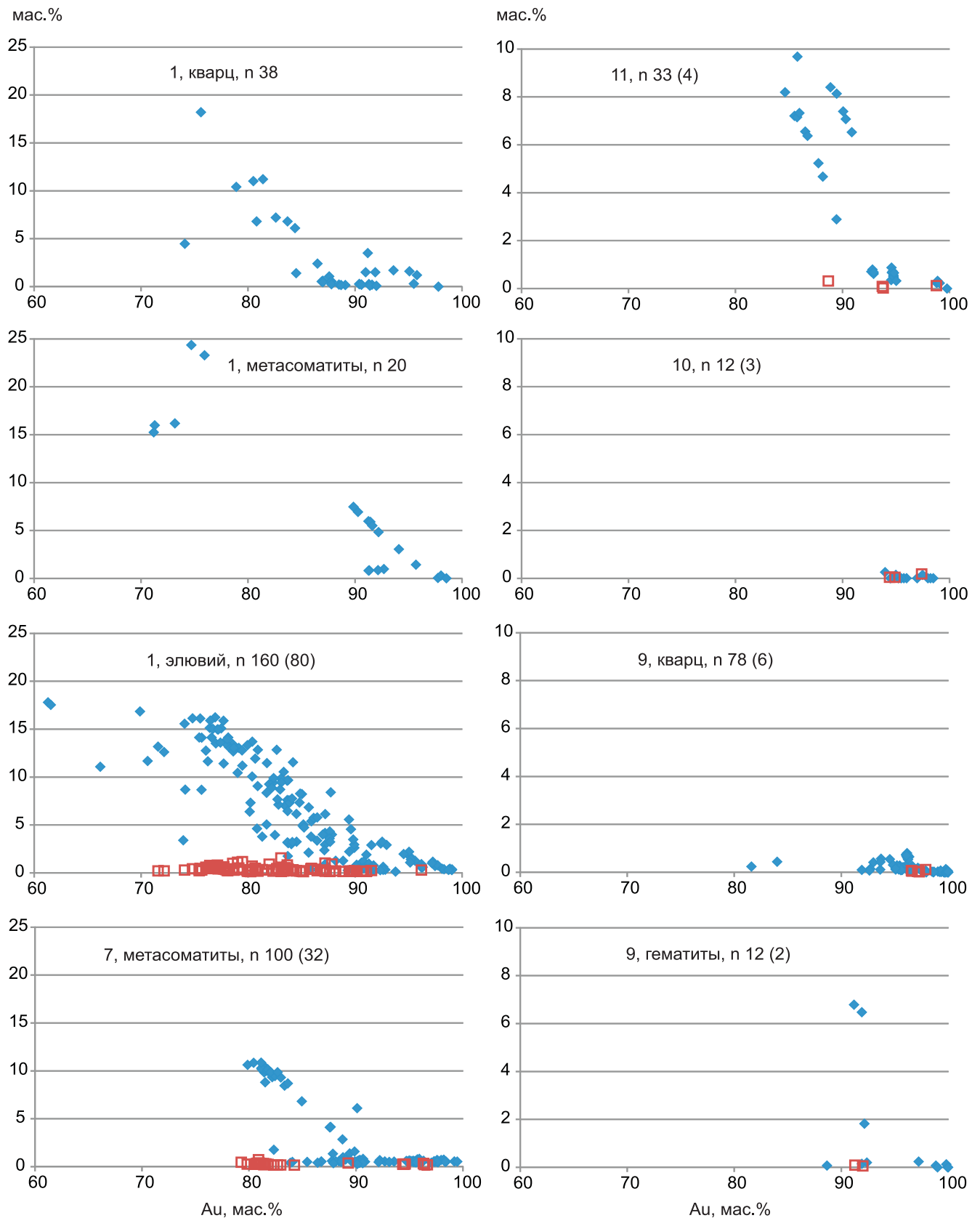


**Рис. 3.** Содержание примесей Hg и Cu в самородном золоте коры выветривания и россыпей (n – объем выборки; для меди на графиках показаны фигуративные точки с содержаниями 0,1 мас. % и более, в круглых скобках – количество таких анализов; привязку выборки см. на рис. 1)

рассмотрен в [7, 8], меди не обнаружено; единичными анализами установлено наличие меди и на рудопроявлениях № 9, 10 в преобладающих здесь золотилах с пробностью более 900 ‰ и низкими (до 1 мас. %) содержаниями ртути.

На рис. 3, 4 для меди показаны фигуративные точки только со значимыми содержаниями (0,1 мас. % и более), для ртути – со всеми содержаниями, в том числе и менее 0,1 мас. %. Гистограммы распределения пробности золотинов и поинтервальное наличие в них значимых примесей Hg и Cu приведены на рис. 5. Общим для всех выборок является преобладание ртутьсодержащих разновидностей самородного золота. Распределением пробности, близким к нормальному (с максимумом в инт. 850–900 ‰), выделяются золотины коры выветривания выборки № 2 (водораздел р. Еловочка). В выборках № 3, 7, 8, характеризующих самородное золото всех трех рассматриваемых площадей пространства коры выветривания, распределение

пробности близко к логнормальному с максимумом в интервале 950–1000 ‰; промежуточное положение по этому признаку занимают золотины коры выветривания левобережья р. Кинтереп (№ 4). Самородное золото Новолушниковского месторождения и метасоматитов Егорьевского (№ 1, 7) выделяется более низкой пробностью, иным распределением примеси меди и повышенными содержаниями ртути. Частота встречаемости разноуровневых содержаний Hg в частицах Au приведена на рис. 6. Наиболее характерны для коры выветривания, кроме выборки № 2, золотины с примесью ртути до 1 мас. %, а в коре выветривания Лапинского участка (№ 7) около 40 % золотинов ртути не содержит, что видно и на рис. 5. Около 20 % всех анализов показали пробность 990–1000 ‰, что характеризует гипергенные каймы на золотилах, в большинстве которых, однако, сохраняются остаточные содержания серебра. В самородном золоте рудных источников (см. рис. 6, выборки № 1, 7, 11) содержания



**Рис. 4.** Содержание примесей Hg и Cu в самородном золоте рудных источников

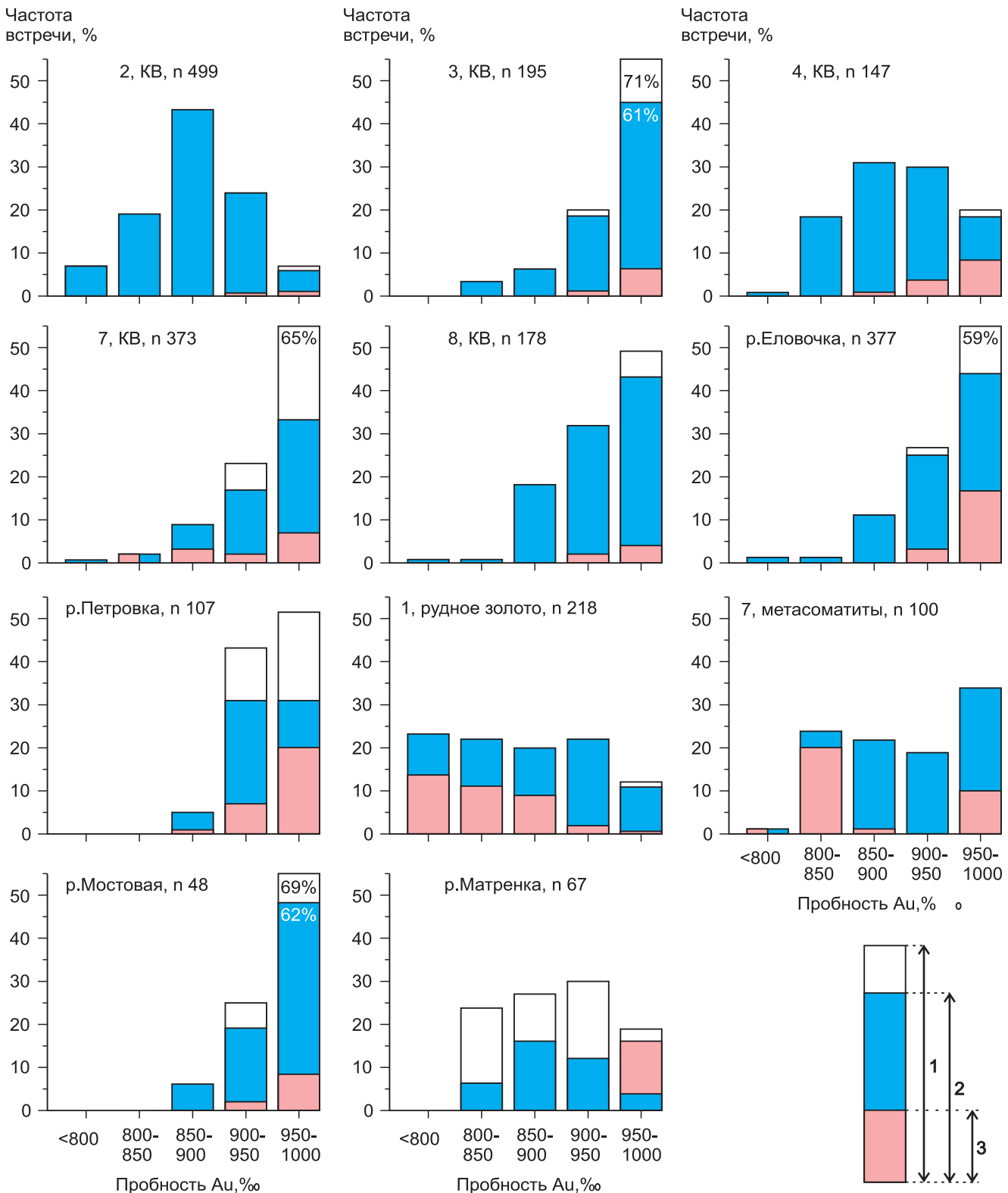
Усл. обозн. см. на рис. 3, привязку выборок – на рис. 1

ртути чаще всего составляют 0,1–1 мас. % и более 5 мас. %.

Для сравнения на рис. 3, 5, 6 приведены также графики по составу золотин нескольких россыпей: рек Еловочка, Петровка, Мостовая, Матренка, дре-

нирующих площади распространения изучаемой коры выветривания.

В питании россыпи р. Еловочка почти не участвует самородное золото коры выветривания, развитой в ее верховьях, на водоразделе (№ 2). Эта раз-

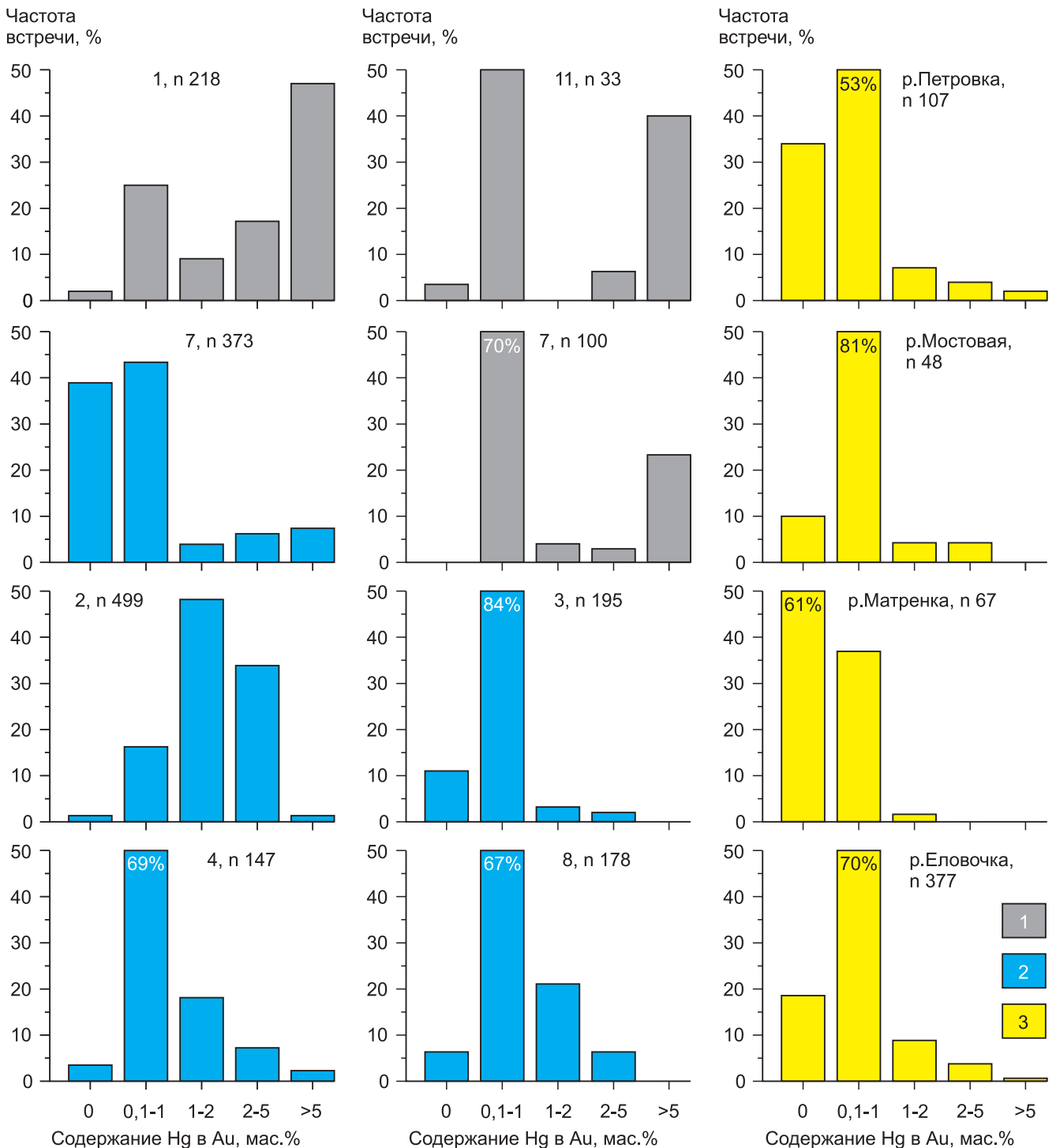


**Рис. 5.** Гистограммы пробности самородного золота и частота встречаемости в его составе примесей Hg и Cu  
 1 – общий процентный выход золотин данной пробности в выборке; 2 – частота встречаемости в них примеси Hg;  
 3 – частота встречаемости в них примеси Cu; KB – кора выветривания; привязку выборок см. на рис. 1

новидность самородного золота (с пробностью менее 900 ‰ и содержанием Hg до 4–5 мас. %) мало распространена в рудных объектах № 1, 4 и в россыпях Егорьевского района и в целом не характерна для них. По химическому составу золото россыпи р. Еловочка хорошо соответствует золоту подсти-

лающей коры выветривания (№ 3), но в россыпи больше выход высокопробной медьсодержащей разновидности (см. рис. 3, 5).

Химический состав самородного золота россыпи р. Петровка близок таковому золотин коры выветривания Лапинского участка (№ 7) в высокопроб-



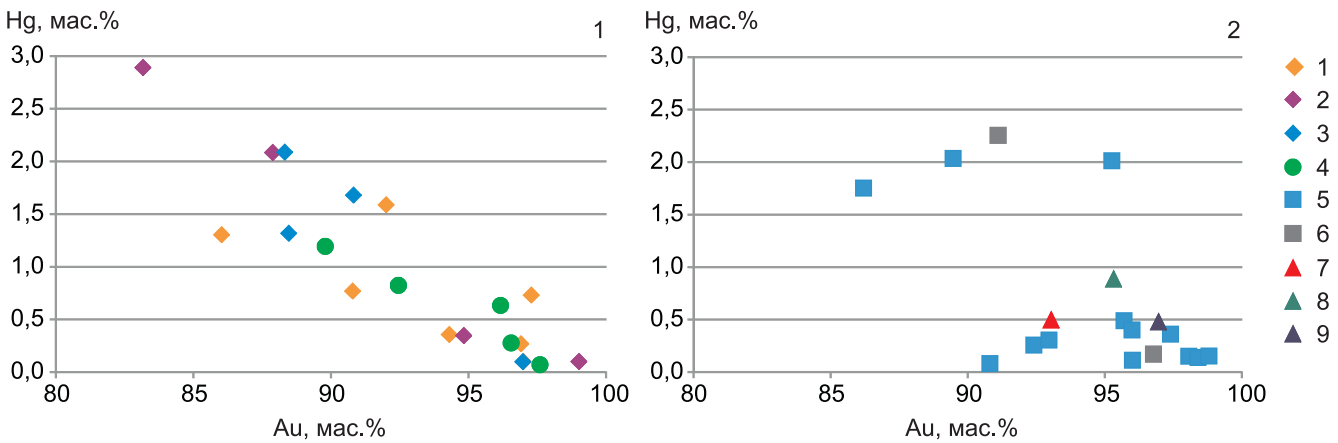
**Рис. 6.** Частота встречаемости различных содержаний ртути в самородном золоте  
 Золото: 1 – рудное, 2 – коры выветривания, 3 – россыпей

ной области (900–1000 ‰) графиков (см. рис. 3), а по наличию медьсодержащих золотин (31 %) – и коры выветривания Гусельнятского участка (№ 6). В россыпи р. Мостовая нет самородного золота, по составу отличающегося от золота коры выветривания Матвеевского участка (№ 8), в то время как в россыпи р. Матренка (сравнительно с корой выветривания) присутствуют золотины с более низкой пробностью и также очень высокопробные золотины с относительно повышенным (1–2 мас. %) содержанием меди (см. рис. 3, 5). Кроме того, в россыпи

преобладает самородное золото, свободное от примесей Hg и Cu (состава Au, Ag). В коре выветривания Матвеевского участка содержания Hg в золотилах выше, чем в россыпях рек Мостовая и Матренка.

В целом во всех рассмотренных россыпях наиболее распространены золотины, содержащие до 1 мас. % ртути и золотины без примеси ртути (см. рис. 6), а также по сравнению с корой выветривания повышен выход медьсодержащих золотин с пробностью более 900 ‰ (кроме россыпи р. Мостовая). Эти особенности состава самородного зо-





**Рис. 7.** Состав золотин с микровключениями рудных минералов

Минералы: 1 – арсенопирит, 2 – аллоклазит, 3 – кобальтин, 4 – халькопирит, 5 – пирит, 6 – пирротин, 7 – ауристобит, 8 – ульманит, 9 – ватанабит

**Таблица 3**

Коэффициенты корреляции между содержаниями Au, Ag, Hg в золотинах по представительным выборкам

r	Коры выветривания					Россыпи		Рудное золото		
	№ 2	№ 3	№ 4	№ 7	№ 8	р. Еловочка	р. Петровка	№ 1	№ 7	№ 11
Au–Ag	–0,97	–0,99	–0,97	–0,68	–0,98	–0,97	–0,90	–0,72	–0,75	–0,65
Au–Hg	–0,53	–0,34	–0,31	–0,76	–	–0,44	–0,30	–0,82	–0,78	–0,86
Ag–Hg	0,32	0,21	–	–	–	0,31	–	0,20	–	–

лота характерны не только для рассмотренных, но и для большинства россыпей Северо-Западного Салаира [7, 12].

Корреляция между содержаниями Au и Ag во всех выборках самородного золота сильная отрицательная (табл. 3), поэтому графики зависимости Ag–Hg, Ag–Cu, Au–Ag не приводятся; особенности состава золотин зеркально и более наглядно отображены в координатах Au–Hg, Cu (см. рис. 3–5).

В табл. 3 приведены только значимые коэффициенты корреляции при уровне вероятности 99 %. Корреляция между содержаниями Ag и Hg в золотинах отсутствует или более слабая (положительная), чем корреляция Au–Hg, с медью корреляции у Au, Ag, Hg нет. В самородном золоте рудных источников и коры выветривания Лапинского участка (выборки № 1, 7, 11) корреляция Au–Hg даже более сильная чем Au–Ag; уровни содержания Ag и Hg в золотинах во многих случаях сопоставимы, ртуть наравне с серебром является не примесью, а основным компонентом макросостава самородного золота.

Самородное золото выборки, включающей в себя только золотины (около 40), в которых были обнаружены и определены включения рудных минералов, имеет пробность 830–990 ‰ при содержаниях в нем ртути до 3 мас. % (рис. 7). В трех золотинах с пробностью 950–990 ‰ и 0,15–0,35 мас. % Hg присутствует небольшая примесь меди (0,14–0,21 мас. %); в них обнаружены включения аллоклазита, пирита, пирротина. Четкой зависимости набора минералов-микровключений в золотинах от их химического состава не наблюдается. Линейное

расположение на графике 1 рис. 7 фигуративных точек сульфидов Fe, Co, Ni (арсенопирита, кобальтина, аллоклазита) и халькопирита – следствие отрицательной корреляции между пробностью самородного золота и содержаниями в нем ртути. Фигуративные точки этих минералов равномерно распределены по всему диапазону состава золотин. Включения пирита (график 2) более характерны для золотин с содержаниями ртути до 0,5 мас. %, особенно если они имеют пробность более 950 ‰. В самородном золоте Новолушниковского месторождения (не показано на рис. 7) присутствуют микровключения теллуридов Bi, Pb, Hg, галенита (см. табл. 2); оно имеет пробность 550–850 ‰, содержит 10–25 мас. % ртути и до 0,2 мас. % меди [12]. Единичные включения теллурида (нагьягита) и галенита встречены также в золотинах россыпи р. Еловочка (см. табл. 2, № 3).

В коре выветривания Егорьевского месторождения по сравнению с таковой Бубенщиковского и Матвеевского участков чаще встречаются золотины (около 20 и 30 % в выборках № 7 и № 5) со следами гипергенного преобразования, которое выражается в наличии отдельных золотин, участков в них и кайм выщелачивания с пробностью 990–1000 ‰ [4]. В большинстве кайм сохраняются остаточные содержания Ag, редко – Hg. В коре выветривания Бубенщиковского и Матвеевского участков гипергенное преобразование золотин проявлено очень слабо. Каймы выщелачивания обнаружены на единичных золотинах, также редко наблюдается увеличение пробности от центра к краю зерен золота



(например, от 920 до 960 ‰), что отражает постепенность процесса формирования кайм этого типа. Вариация пробности в этих золотилах обычно не превышает 30–50 ‰, а содержания Ag, Hg от центра к краю зерен уменьшаются, но, как правило, не исчезают. Подавляющее большинство золотинов в центральной и краевой частях имеют близкий химический состав. К экзогенным образованиям относятся гематит-лимонитовые породы на рудопроявлении лог Бобровский; третья часть анализов самородного золота в них показала пробность 990–1000 ‰ (см. рис. 4, № 9). При этом из четырех таких золотинов в одной содержится 0,13 мас. % Hg, в другой – 1 мас. % Ag, две – без примесей.

### Обсуждение результатов

Золотоносная кора выветривания представляет собой промежуточное звено между эндогенным золотым оруденением и аллювиальными россыпями золота. Тесная связь с коренными источниками позволяет, используя минералого-геохимические характеристики и минеральные ассоциации самородного золота коры выветривания, прогнозировать золоторудную минерализацию протолита, подобно тому как это давно делается применительно к россыпям [3, 11, 14 и др.]. Слабая гипергенная преобразованность изучаемого самородного золота коры выветривания не создает значительных трудностей для использования его первичных эндогенных признаков, в том числе его химического состава, в прогнозных целях.

Закономерностью поведения ртути в процессе рудоотложения является увеличение ее активности от ранних стадий к поздним независимо от формационной принадлежности месторождений, поэтому примесь ртути чаще встречается в самородном золоте эпitherмальных месторождений. В таких рудах часто существует прямая корреляция между содержаниями Hg и Ag в составе золотинов [10]. Наиболее распространены в природе системы Au–Ag, в которых содержания остальных примесей, главные из которых Hg и Cu, составляют менее 1 мас. % [2, 3]. Высокое содержание Hg в золотилах (10 мас. % и более) – индикатор тектономагматической активации региона. Ртутистое (до 24 мас. %) самородное золото в ассоциации с теллуридами установлено на гидротермальных месторождениях Урала, связанных с габбро-гранитными массивами. Эти массивы локализованы в зонах крупных разломов, которые служат путями миграции как золота, так и ртути [10]. Уровень содержания Hg в самородном золоте зависит и от пород, вмещающих оруденение: например, он минимален (до 1–1,5 мас. %), если это известняки, а если алюмосиликаты – до 26 мас. % [1]. В Егорьевском районе ртутное оруденение (кварц, барит, киноварь, пирит) сосредоточено в Мавринско-Матвеевской рудной зоне и контролируется активизированными в последовонское время разломами северо-западного простирания. Рудовме-

щающими в основном служат терригенные породы суенгинской свиты ( $E_1$ ). Ртутное и золотое оруденение формировались в одних и тех же структурах, но в разное время. Механизмы образования золото-ртутного оруденения пока неясны. У юго-западной границы указанной зоны находится Новолушниковское месторождение с ртутистым самородным золотом. За пределами основной ртутноносной зоны также наблюдается пространственная совмещенность золотой минерализации и менее масштабной ртутной. Это подтверждается наличием киновари и барита в золотоносных россыпях рек Каменка, Суенга, Кинтереп и др. и постоянной примесью ртути в самородном золоте. В коре выветривания Лапинского участка, развивающейся по крупному телу гидротермально измененных диоритов, содержания Hg в золотилах достигают максимальных значений. В золото-кварцевых рудах примесь Hg в самородном золоте не превышает 1 мас. % (рудопроявление лог Бобровский); в золото-сульфидно-кварцевых присутствует более низкопробное самородное золото и повышается его ртутистость.

Многие минералы-микровключения, обнаруженные в золотилах (см. табл. 2), являются обычными минералами среднетемпературных (халькопирит, арсенопирит, кобальтин) и низкотемпературных (аллоклазит, ульманит, галенит, минералы Au, теллуриды) гидротермальных жильных и прожилково-вкрапленных руд, с которыми может быть связано оруденение с ртутьсодержащим самородным золотом. Например, на золото-медно-скарновом месторождении Тардан (Тува) в метасоматитах поздней стадии оруденения, развитых по зонам дробления разных по составу пород, самородное золото в числе прочих минералов ассоциирует с сульфоарсенидами Co и Ni. Температура образования этих руд 200 °C и ниже, содержание Hg в золотилах до 5,5 мас. % [2]. Сульфоарсениды Ni, Fe, Co присутствуют в золото-(сульфидно)-кварцевых жилах рудопроявления Хаак-Сайр (Тува). Оруденение Au–Ag–Hg–Te профиля локализуется в листовниках, температура его формирования 290–130 °C [5]. Множество выделяемых здесь по химическому составу типов самородного золота ранней и средней стадий рудоотложения включает в себя разновидности ртутьсодержащего самородного золота Егорьевского района, кроме таковых с пробностью золотинов более 950 ‰.

Медьсодержащее самородное золото известно в связи с высокотемпературными гидротермальными системами, однако самородное золото с содержаниями меди менее 1 мас. % может отлагаться даже при 300 °C и ниже [2, 9]. Необходимое условие – повышенный геохимический фон меди в среде рудообразования [2]. Например, на крупнейшем в Европе по запасам золота вулканогенном полиметаллическом Cu–Au месторождении Челопеч самородное золото основной стадии парагенетически ассоциирует с минералами Cu и As: халькопи-



ритом, халькозином, борнитом, теннантитом, энаргитом и др. [15]. Температура формирования этих руд оценивается в 280–300 °С. Размеры выделений Au достигают 0,5–1 мм, их пробность 900–1000 % (средняя 940 %), содержание Cu в золотилах до 0,53 мас. %, редко до 2–3 мас. %, более 80 % анализов самородного золота показывают наличие примеси Cu.

Примесь меди характерна и для более низкопробного самородного золота (до 650 %) заключительной галенит-сфалеритовой стадии оруденения. Корреляции между содержаниями Au и Cu в золотилах нет. В Егорьевском районе химический состав медьсодержащего самородного золота также указывает на рудные источники мезотермального или эпитеpmального типов.

По химическому составу в коре выветривания Егорьевского района можно выделить минимум три разновидности самородного золота. Главная из них (пробность более 900 %, примесь ртути до 1–2 мас. %, реже без ртути) широко представлена или преобладает во всех выборках изучаемых кор выветривания, кроме выборок № 2 и отчасти № 4 (см. рис. 3, 5, 6). Эта разновидность самородного золота по составу сопоставима с таковым Бобровского и Удивительного рудопроявлений жильного золото-кварцевого типа, а также распространена (33 % анализов) в метасоматитах Лапинского участка (№ 7). Самородное золото с пробностью менее 900 % и содержаниями в нем ртути до 4–5 мас. % характерно для Бубенчиковского участка (кроме выборки № 3) и присутствует на Матвеевском, однако содержания Hg в золотилах здесь в основном до 1 мас. %. Самородное золото выборки № 2 Бубенчиковского участка (от 1 до 4–5 мас. % Hg) выделяется обособленным химическим составом, что хорошо видно на рис. 3, 5, 6. По наличию сильной обратной корреляции Au–Hg оно приближается к золоту рудных источников (см. табл. 3). Эта разновидность самородного золота отсутствует в коре выветривания Егорьевского месторождения и редко встречается в рудах Новолушниковского месторождения, а также в метасоматитах Лапинского участка, в которых содержания ртути в золотилах с пробностью менее 900 % в основном превышают 5 мас. % (третья разновидность самородного золота). Источником ртутистого и ртутьсодержащего самородного золота (пробность менее 900 %), вероятно, является золото-сульфидно-кварцевое оруденение, а различия в уровне содержаниях ртути в золотилах могут быть обусловлены в числе прочих причин разной насыщенностью ртутью среды рудообразования. Примесь меди встречается в самородном золоте с пробностью более 900 %, а также на Новолушниковском месторождении и на Лапинском участке (№ 7) Егорьевского в самородном золоте с более низкой пробностью (см. рис. 3, 4). Зависимости между содержаниями Hg и Cu в золотилах нет, медь входит в их состав именно как примесь, ее содержа-

ния (в отличие от концентраций ртути) в самородном золоте не зависят от типа золотого оруденения. Им определяется пробность медьсодержащих золотилов. Наличие примеси Cu в самородном золоте – индикатор наличия медной минерализации в золотых рудах.

Исходя из установленных минералого-геохимических характеристик самородного золота коры выветривания, можно сделать вывод о мезо-эпитеpmальном характере эндогенного золотого оруденения на рассматриваемых площадях. Эпитеpmальное прожилково-вкрапленное золотое оруденение с ртутистым самородным золотом, подобное таковому на Новолушниковском месторождении и в пункте минерализации Суенга, проявлено в метасоматитах Лапинского участка Егорьевского месторождения. Для мезотермального золото-кварцевого жильного оруденения характерно высокопробное (более 900 %) самородное золото с небольшой (до 1–2 мас. %) примесью ртути. Такое золото в Егорьевском районе встречается часто, кроме Новолушниковского месторождения и выборки № 2 Бубенчиковского участка, расположенной в крайней западной его части, на водоразделе. Своеобразное самородное золото здесь по химическому составу занимает промежуточное положение между самородным золотом мезотермального и эпитеpmального оруденений. Рудные (см. табл. 2) и шлиховые минеральные ассоциации (ильменит, пирит, слюды, кобальтин, аллоклазит, арсенопирит, халькопирит и др.) подтверждают мезо-эпитеpmальный характер золотого оруденения и его связь с гидротермально измененными породами основного состава.

## Выводы

Химический состав и минеральные ассоциации самородного золота коры выветривания указывают на мезотермальное или эпитеpmальное жильное и прожилково-вкрапленное золото-(сульфидно)-кварцевое оруденение, в разной степени проявленное на изучаемых Егорьевской, Бубенчиковской и Матвеевской площадях Егорьевского рудно-россыпного района.

В коре выветривания наиболее распространено самородное золото с пробностью более 900 % и примесью ртути до 1–2 мас. % (реже без нее). Источником высокопробного золота является жильное мезотермальное оруденение золото-кварцевого типа, как, например, на рудопроявлении лог Бобровский.

Повышенные (до 8–12 мас. %, в единичных случаях до 23 мас. %) содержания ртути в самородном золоте с пробностью менее 900 % характерны для эпитеpmального золото-сульфидно-кварцевого оруденения, подобного проявленному на Новолушниковском месторождении. В коре выветривания присутствие такого самородного золота значимо только на Лапинском участке Егорьевского месторождения.



Самородное золото с пробностью менее 900 ‰ и содержаниями ртути до 4–5 мас. %, источником которого, вероятно, является золото-сульфидно-кварцевое оруденение, распространено в коре выветривания Бубенщиковского и Матвеевского (менее) участка.

Постоянное наличие в самородном золоте соединений ртути, вплоть до очень высоких, – региональная специфика северо-западного Салаира. Оно определяется совмещенностью золотого и ртутного оруденений. Примесь меди встречается в самородном золоте значительно реже, чем примесь ртути. Наличие медьсодержащих золотин указывает на медную минерализацию в золоторудных источниках.

Гипергенные преобразования золотин проявлены в целом слабо, более заметно – в фациально зрелой коре выветривания Егорьевского месторождения.

Химические составы самородного золота аллювиальных россыпей и остаточной коры выветривания в основном хорошо сопоставимы. В россыпях чаще встречаются высокопробные золотины с примесью меди. Состав россыпного самородного золота подчеркивает относительную распространенность соответствующих разновидностей золотого оруденения на исследуемых площадях.

Работа выполнена по Государственному заданию ИГМ СО РАН.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Борисенко А. С., Наумов Е. А., Оболенский А. А.** Типы золото-ртутных месторождений и условия их образования // Геология и геофизика. – 2006. – Т. 47, № 3. – С. 342–354.

2. **Гаськов И В.** Главные элементы-примеси самородного золота и связь их с условиями его образования на примере месторождений складчатых поясов Азии // Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58, № 9. – С. 1359–1376.

3. **Геохимические** особенности самородного золота месторождений различных рудно-формационных типов / Л. А. Николаева, А. Н. Некрасова, С. А. Маляев и др. // Геология рудных месторождений. – 2013. – Т. 55, № 3. – С. 203–213.

4. **Золотоносность** кор выветривания Салаира / Н. А. Росляков, Г. В. Нестеренко, Ю. А. Калинин и др. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1995. – 170 с.

5. **Золоторудная** минерализация Хаак-Сайрского золото-кварцевого рудопоявления в листовитых (Западная Тува) / Р. В. Кужугет, В. В. Зайков, В. И. Лебедев, А. А. Монгуш // Геология и геофизика. – 2015. – № 9. – С. 1693–1712.

6. **Калинин Ю. А., Прудников С. Г., Росляков Н. А.** Золотоносные коры выветривания юга Сибири. – Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2006. – 339 с.

7. **Колпаков В. В., Неволько П. А., Фоминых П. А.** Россыпное золото Егорьевского района (северо-западный Салаир) как прогнозный кри-

терий золотого оруденения // Разведка и охрана недр. – 2017. – № 5. – С. 12–18.

8. **Минералогия** зоны сочленения Салаира и Кольвань-Томской складчатой зоны / А. Н. Росляков, Ю. Г. Щербаков, Л. В. Алабин и др. – Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2001. – 243 с.

9. **Мурзин В. В.** Химический состав самородного золота как показатель условий его отложения (на примере Урала) // Металлогения древних и современных океанов-2010: Рудоносность рифтовых и островодужных структур. – Миасс: ИМин, 2010. – С. 155–159.

10. **Наумов В. А., Осовецкий Б. М.** Ртутистое золото и амальгамы в мезозой-кайнозойских отложениях Вятско-Камской впадины // Литология и полезные ископаемые. – 2013. – № 3. – С. 256–273.

11. **Нестеренко Г. В.** Прогноз золотого оруденения по россыпям. – Новосибирск: Наука, 1991. – 200 с.

12. **Самородное** золото аллювиальных россыпей Егорьевского района (северо-западный Салаир): особенности состава, типы и минеральные микровключения / П. А. Неволько, В. В. Колпаков, Г. В. Нестеренко, П. А. Фоминых // Геология и геофизика. – 2019. – Т. 60, № 1. – С. 79–100.

13. **Хомичев В. Л.** Рудно-магматическая система месторождений золота. – Новосибирск: СНИИГ-ГИМС, 2019. – 340 с.

14. **Chapman R. J., Mortensen J. K.** Application of microchemical characterization of placer gold grains to exploration for epithermal gold mineralization in regions of poor exposure // Journal of Geochemical Exploration. – 2006. – Vol. 91, no. 1–3. – P. 1–26.

15. **Morphogenesis** and composition of native gold in the Chelopech volcanic-hosted Au-Cu epithermal deposit, Srednogie zone, Bulgaria / I. K. Bonev, T. Kerestedjian, R. Atanassova, C. J. Andrew // Mineralium deposita. – 2002. – Vol. 37. – P. 614–629.

## REFERENCES

1. Borisenko A.S., Naumov E.A., Obolensky A.A. [Types of gold-mercury deposits and their formation conditions]. *Geologiya i geofizika*, 2006, vol. 47, no. 3, pp. 342–354. (In Russ.).

2. Gaskov I.V. Major impurity elements in native gold and their association with gold mineralization settings in deposits of Asian folded area]. *Russian Geology and Geophysics*, 2017, vol. 58, no. 9, pp. 1080–1092.

3. Nikolaeva L.A., Nekrasova A.N., Malyaev S.A., et al. Geochemistry of native gold from deposits of various types]. *Geology of Ore Deposits*, 2013, vol. 55, no. 3, pp. 176–184.

4. Roslyakov N.A., Nesterenko G.V., Kalinin Yu.A. et al. *Zolotonosnost kor vyvetrivaniya Salaira* [The gold content of the weathering crust of Salair]. Novosibirsk, SB RAS Publ., 1995. 170 p. (In Russ.).

5. Kuzhuget R.V., Lebedev V.I., Mongush A.A., Zaikov V.V. Gold mineralization of the Khaak-Sair gold-quartz ore occurrence in listwanites (Western Tuva).



*Russian Geology and Geophysics*, 2015, vol. 56, no. 9, pp. 1332–1348.

6. Kalinin Yu.A., Prudnikov S.G., Roslyakov N.A. *Zolotonosnyye kory vyvetrivaniya yuga Sibiri* [Gold-bearing weathering crusts of the south of Siberia]. Novosibirsk, Geo Publ., 2006. 339 p. (In Russ.).

7. Kolpakov V.V., Nevolko P.A., Fominykh P.A. [Alluvial gold of the Yegoryevsky region (northwestern Salair) as a predictive criterion for gold mineralization]. *Razvedka i okhrana nedr*, 2017, no. 5, pp. 12–18. (In Russ.).

8. Roslyakov N.A., Scherbakov Yu.G., Alabin L.V., et al. *Minerageniya zony sochleneniya Salaira i Kolyvan-Tomskoy skladchatoy zony* [Minerageny of the junction zone of Salair and Kolyvan-Tomsk folded zone]. Novosibirsk, Geo Publ., 2001. 243 p. (In Russ.).

9. Murzin V.V. [The chemical composition of native gold as an indicator of the conditions of its deposition (on the example of the Urals)] *Metallogeniya drevnykh i sovremennykh okeanov-2010: Rudonosnost riftovykh i ostrovozhdzhykh struktur* [Metallogeny of ancient and modern oceans-2010: Ore bearing of rift and island arc structures]. Miass, Imin Publ., 2010, pp. 155–159. (In Russ.).

10. Naumov V. A., Osovetskiy B.M. [Mercury gold and amalgams in the Mesozoic-Cenozoic sediments of

the Vyatka-Kama depression]. *Litologiya i poleznyye iskopayemyye*, 2013, no. 3, pp. 256–273. (In Russ.).

11. Nesterenko G.V. *Prognoz zolotogo orudneniya po rossypyam* [The forecast of gold mineralization in placers]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1991. 200 p. (In Russ.).

12. Nevolko P.A., Kolpakov V.V., Nesterenko G.V., Fominykh P.A. Alluvial-placer gold of Northwestern Salair: composition, types, and mineral microinclusions. *Russian Geology and Geophysics*, 2019, vol. 60, no. 1, pp. 67–85.

13. Khomichev V.L. *Rudno-magmaticheskaya sistema mestorozhdeniy zolota* [Ore-magmatic system of gold deposits]. Novosibirsk: SNIIGGIMS Publ., 2019. 340 p. (In Russ.).

14. Chapman R.J., Mortensen J.K. Application of microchemical characterization of placer gold grains to exploration for epithermal gold mineralization in regions of poor exposure. *Journal of Geochemical Exploration*. 2006. vol. 91, no. 1–3, pp. 1–26.

15. Bonev I.K., Kerestedjian T., Atanassova R., Andrew C.J. Morphogenesis and composition of native gold in the Chelopech volcanic-hosted Au-Cu epithermal deposit, Srednogorie zone, Bulgaria. *Mineralium deposita*, 2002, vol. 37, pp. 614–629.

© В. В. Колпаков, П. А. Неволько, П. А. Фоминых, 2020



UDC 338.31:621.644(571.5)

## ANALYSIS OF THE ECONOMIC IMPACT OF THE «POWER OF SIBERIA» PROJECT ON THE DEVELOPMENT OF THE EASTERN REGIONS OF RUSSIA

T. Mamakhatov<sup>1</sup>, M.J. Mohammad<sup>2</sup>, A. Chaykovskiy<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Educational and Scientific Center «Economics» Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia; <sup>2</sup>Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia; <sup>3</sup>Educational and Scientific Center «Finance», Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

This article is devoted to the role of the construction of the Power of Siberia gas pipeline in the economic development of the regions of Eastern Siberia and the Far East. The pipeline in question will connect the two production centers of Irkutsk and Yakutsk, which will ultimately contribute to the development of not only the gas industry in the country but will also make the economy of these regions more efficient. This project is a prospect that will also provide a large number of jobs. Thus, the gas pipeline opens up huge prospects for the development of the eastern regions of the country.

**Keywords:** gas pipeline, regional economy, infrastructure, field development, eastern territories of Russia.

## АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ПРОЕКТА «СИЛА СИБИРИ» НА РАЗВИТИЕ ВОСТОЧНЫХ РЕГИОНОВ РОССИИ.

Т. Мамахатов<sup>1</sup>, М. Дж. Мухаммед<sup>2</sup>, А. Чайковский<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Образовательно-научный центр «Экономика» Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова, <sup>2</sup>Южный федеральный университет Ростов-на-Дону, Россия; <sup>3</sup>Образовательно-научный центр «Финансы» Российского экономического университета им. Г. В. Плеханова

Рассмотрена роль строительства газопровода «Сила Сибири» в экономическом развитии регионов Восточной Сибири и Дальнего Востока. Показано, что газопровод открывает огромные возможности как для региона, так и для страны в целом. Он свяжет два центра добычи (Иркутский и Якутский), что в конечном итоге не только поспособствует развитию газовой отрасли в стране, но и сделает экономику этих регионов более эффективной. Таким образом, газопровод открывает огромные перспективы для развития восточных регионов страны.

**Ключевые слова:** газопровод, региональная экономика, инфраструктура, освоение месторождений, восточные территории России.

DOI 10.20403/2078-0575-2020-2-110-122

Development of the economy of Eastern Siberia and the Far East in modern conditions is possible only through the development of the sphere of production and processing with the output of final products of hydrocarbon raw materials processing with high added value [6].

The long-term sustainable development of the economies of Eastern Siberia and the Far East can be achieved only through the integrated development of natural resources of these regions on the basis of modern technological and innovative approaches. It is necessary to modernize transport infrastructure and increase capacity, implement high transit capacity, introduce innovations and modern technologies in the extractive, metallurgical industry, electric power, the development of engineering, including electronics, aviation, ship building. This will allow to form in the eastern territories the financial and banking sector, the sphere of quality services.

The development of transport, processing and social infrastructure at the expense of initial large public investments is a prerequisite for the sustainable development of the economy of Eastern Siberia and the Far East. The creation of infrastructure and stable public economic policies will subsequently make private investment possible.

The construction of the *magistral gas pipeline* “Power of Siberia” should be a powerful impetus for

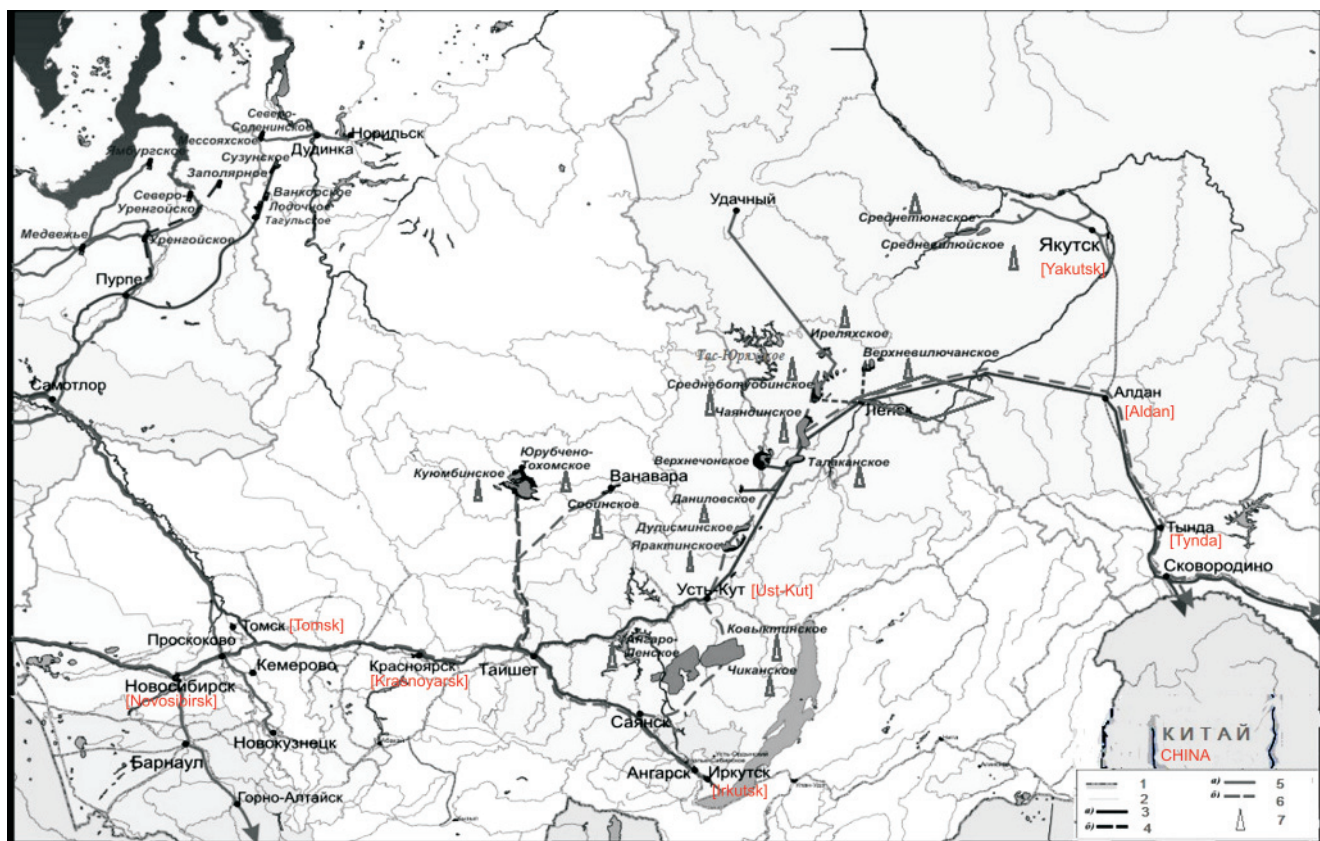
the development of gas potential in the east of the country. This pipeline will become the main gas transport artery in the east of the country, which will allow transportation of natural gas from the Chayandin field (Sakha Republic) and Kovvyktin field (Irkutsk region) to China and to ports in the Far East.

The Power of Siberia gas transportation system will become a common gas transportation system for the Irkutsk and Yakutsk gas production centers and will transport gas from these centers through Khabarovsk to Vladivostok. The length of the pipeline will be about 4000 km (Yakutia – Khabarovsk – Vladivostok – about 3200 km, Irkutsk Oblast – Yakutia – about 800 km), the pipe diameter will be 1420 mm, the operating pressure – 9.8 MPa (100 atm.) and the design total capacity – 61 billion cubic meters of gas per year (See figure 1).

According to the order of the Government of the Russian Federation dated January 20, 2016, the amount of investment in the complex development of the regions of Eastern Siberia and the Far East until 2020 is estimated at 32 trillion rubles [7].

Considering the special importance for the state of the territories of Eastern Siberia and the Far East, it is necessary to develop and implement a system of state support measures, which include:

- Introduction of tax and customs privileges for investment projects;
- Establishment of special transport tariffs;



Hydrocarbon Transport Development Scheme in Eastern Russia [Развитие углеводородной транспортной системы на Востоке России]

1 – border of the Russian Federation; 2 – administrative borders; oil pipelines: 3 – operating, 4 – project; gas pipelines: 5 – operating, 6 – project; 7 – hydrocarbon deposits [1 – граница Российской Федерации; 2 – административные границы; нефтепроводы: 3 – действующие, 4 – проектные; газопроводы: 5 – действующие, 6 – проектные; 7 – месторождения углеводородов]

- Decrease of interest rates and expansion of crediting of innovative projects in all sectors of the economy;
- Development of transport and processing infrastructure;
- Establishment of accelerated depreciation for high-tech equipment;
- Direct financing from the federal and regional budgets for geological exploration [2].

In the conditions of weakening of the economy and introduction of economic and financial sanctions for Russian companies, there is an urgent need for elaboration and clear implementation of the state program of regional development, justification of the state ideology, support of priority directions of development of domestic enterprises and technologies.

The peculiarity of the majority of fields in the Eastern territories of Russia is that they are of a complex nature, i.e. contain oil, gas, gas condensate, and in some cases contain significant concentrations of a valuable resource – helium. In this connection, when developing and creating new NGK centers, it is necessary to synchronize the parameters of oil and gas industry development, develop schemes for hydrocarbon processing, as well as extraction and sale of dissolved valuable components.

One of the most significant factors hindering the development of the extractive and oil and gas processing industries is the lack of developed infrastructure for transportation, processing and sale of resources.

One of the main problems of the entire oil and gas industry in Russia, and in particular of the gas industry, is the extremely low degree of diversification. The main emphasis in this industry is on the production and sale of primary raw materials – that is, natural gas, while the share of refined products is extremely low or absent. Poor development of gas processing infrastructure leads to huge losses of raw materials and potential profit. The volume of losses from flaring of associated petroleum gas alone is estimated at 15 billion cubic meters per year. Lack of fatty helium-rich gas processing capacities produced at Russian fields also leads to huge losses of the most valuable raw materials, which is about 50 billion cubic meters of helium per year.

More than 35% of the gas produced in the region (about 15 billion cubic meters) is pumped into the formation or flared irrevocably. At the same time, significant volumes of associated petroleum gas, which is a valuable raw material for the petrochemical industry, are flared due to the lack of transport infrastructure, and about 8 billion cubic meters of gas produced within the frame-



work of the Sakhalin-1 project is injected into the formation as a result of an undeveloped sales market [5].

Within the framework of the Sakhalin-2 project, the first liquefied natural gas (LNG) production plant in Russia was built, which made it possible to enter the promising energy market of the Asia-Pacific region and export about 10 million tons of liquefied natural gas annually to Japan and South Korea [5].

Most of the gas produced in Eastern Siberia is supplied to local industrial enterprises, power generating facilities, gas supply to the population in the Norilsk-Talnakhsky industrial hub and Yakutsk industrial center.

Over the past 20 years, near the borders of Russia's eastern territories, the economy and markets of the Asia-Pacific region have been developing dynamically, and new industrial and financial centers have been formed. The region is characterized by high growth rates of population, development of industry, transport and high technologies. As a result, there is a rapid growth in demand for the main types of fossil fuels, metals, chemical products, etc.

Existing software developments and investment projects initiated by public and private companies should be integrated into a single coordinated system, which will serve as a basis for comprehensive development of the territories of Eastern Siberia and the Republic of Sakha in accordance with the interests of Russia's internal development and taking into account external economic and political factors.

Given the depleting reserves of Russia's unique and largest fields, which for many years have allowed maintaining a high level of gas production at a relatively low cost, the task of developing medium and small natural gas fields located in new gas production regions is particularly urgent. Development of small fields will allow to diversify the natural gas market through the development of regional gas supply zones remote from gas mains; to increase the volume of gas production in the country; to increase the reliability of power and heat supply in some regions by involving small fields in the economic turnover of natural gas reserves; to increase the energy efficiency of the economy through gasification of the regions [4, 8].

The analysis of long-term development programs of various Asia-Pacific countries allows making an assumption about further increase of energy consumption in the region during the first half of the XXI century [3].

Despite the territorial proximity of Russia and the APR countries, supplies of the extractive and processing industries of the East of Russia to the largest market of the Asia-Pacific region do not play a significant role in Russian exports, and significant resource potential remains unclaimed.

Pacific region is the low level of transport infrastructure, in particular, insufficient capacity of the Trans-Siberian Railway and the Baikal-Amur Mainline, low capacity of the eastern Russian ports, difficult transport accessibility of the majority of fields, limited

Table 1

Gas production forecast for Eastern Siberia and the Republic of Sakha (Yakutia), bcm

Field, region	2020	2025	2030	2014–2030	From the beginning of development
Eastern Siberia	93,4	120,5	128,2	1556,5	1637,0
Irkutsk region	46,9	63,1	63,2	749,9	753,0
Krasnoyarsk region	20,6	27,2	29,5	401,6	428,3
Republic of Sakha	25,9	30,2	35,5	405,0	455,7

capacity of gas pipelines, which limits access to them by independent gas producers.

It is well known that the development of the entire gas transportation infrastructure in the East of Russia is based on the officially adopted Eastern Gas Program document. The document entitled "Program for the creation of an integrated gas production, transportation and supply system in Eastern Siberia and the Far East, taking into account possible gas exports to China and other Asia-Pacific countries (i.e. the Eastern Gas Program) was approved in September 2007 through the order of the Ministry of Industry and Energy of the Russian Federation. The Government of the Russian Federation appointed Gazprom as the coordinator of the project implementation [6].

The Power of Siberia project is one of the most important projects of the Eastern Gas Program, which will become a common gas transportation system for the Irkutsk and Yakutia gas production centers and will transport gas from these centers through Khabarovsk to Vladivostok. The length of the pipeline will be approximately 4,000 km, with a capacity of 61 billion cubic meters of gas per year. The Power of Siberia project will solve the problems of gas transportation to Far Eastern consumers and for export to China.

The regions of Eastern Siberia are predominantly subsidized and the budgets are in short supply. However, the positive impact of the start of large-scale production in the Irkutsk Region and the Republic of Sakha (Yakutia) is reflected in the steady growth of the budget surplus in these regions since 2009. Investments in Eastern Siberia and the Republic of Sakha account for 6% of the total Russian figure, amounting to 746 billion rubles. In the sectoral structure, about 60% of investments are directed to transport and communications (37%) and mining (22%). This is due to the commissioning of oil and gas fields and the construction of pipeline and port infrastructure to ensure the sale of raw materials [8].

Most of the gas produced (about 18.2 billion cubic meters) goes to the domestic market and for export to foreign countries. The rest is about 10 billion cubic meters, i.e. 22% of gas production in Eastern Siberia and the Republic of Sakha is pumped back into the formation or flared [3].

Natural gas production in Eastern Siberia and the Sakha Republic should exceed 146 billion cubic meters





in 2020, in 2030 – 211 billion cubic meters. In total, the accumulated natural gas production from the beginning of the development of the region's fields until 2030 will have to exceed 2,370 billion cubic meters, which is currently 79% of all discovered reserves, taking into account the expected increase in reserves, this share will not exceed 50% (See table 1).

The Chayandinskoye field is the base field for the formation of the Yakutsk gas production center, with gas reserves of over 1.2 trillion cubic meters. In 2019, Gazprom will start gas production with a design level of 25 bcm per year. The company also owns the Sobolokh-Nedzhelinskoye, Verkhnevilyuchanskoye, Tas-Yuryakhs-koye and Srednetyungskoye fields in Yakutia.

The Kovykta field is the base field for the formation of the Irkutsk gas production center with gas reserves of 1.5 trillion cubic meters. The field is at the stage of pilot development and the company continues exploration work. The expected production level is about 35 billion cubic meters of gas per year. The Chikanskoye field has been discovered near Kovykta Gazprom and is at the pilot production stage.

The Yuzhno-Soleninskoye, Severo-Soleninskoye, Messoyakhskoye and Pelyatinskoye gas and gas condensate fields are in the Evenkiysky district. These fields are producing raw materials, but there is no access to the main pipeline systems, which form the local gas transportation system to the Norilsk-Talnakhsky industrial hub. Existing software developments and investment projects initiated by public and private companies should be integrated into one coordinated system, which will serve as a basis for comprehensive development of the territories of Eastern Siberia and the Republic of Sakha in accordance with the interests of Russia's internal development and taking into account foreign economic and political factors.

Thus, for the successful development of the economy and the entire industry of the region, it is necessary to attract small and medium-sized businesses, for example, in the form of independent gas companies to develop small and possibly unattractive fields in Eastern Siberia and the Republic of Sakha. Independent producers will be able to develop those fields, which the «monopolist» passed by, considering them not too profitable or unprofitable. With high decision-making mobility and the ability to attract new innovative technologies, oil refineries will be able to build the necessary gas transportation infrastructure in the region and bring the remaining fields to the payback level. Increasing the differentiation of the Russian gas market through small and medium-sized independent companies will enable the development of both the gas transmission network and the transport infrastructure throughout Eastern Siberia and the Republic of Sakha in the future.

New oil and gas producing regions in Eastern Siberia offer new opportunities for the oil and gas business, but at the same time pose several specific challenges. Thus, the lack of infrastructure and low population

density require a particularly careful approach to the development of field infrastructure, the location of processing facilities, and the identification and evaluation of markets for products [3].

Each field requires an individual approach to the development of its development system, which is united by the general concept of infrastructure.

When developing transport infrastructure in Eastern Siberia, it is necessary to consider the climatic conditions of the region. Such specificity will mean an increase in costs. This is the predominance of excavation work on the vertical layout of sites through the use of imported soil quarries, the wider use of pile foundations and metal grills on them, the laying of all intra-situ pipelines above ground on supports and overpasses, a higher degree of industrialization, reducing the volume of bricks and monolithic concrete. In addition, the development of fields in Eastern Siberia and the Republic of Sakha requires considering the level of seismicity.

Development of fields in undeveloped areas of Eastern Siberia and the Republic of Sakha begins with infrastructure development. First of all, the issues of development of external and internal field transport schemes, provision of electricity, water and life support for workers are being addressed.

Due to the fact that new gas fields in Eastern Siberia are usually located in uninhabited and underdeveloped areas with difficult natural and climatic conditions, simultaneously with the construction of the main production facilities should be organized work on the construction of industrial infrastructure and life support facilities for both operating personnel and builders.

A distinctive feature of field development is the developed structure of work on creation of fixed assets of the gas industry. This also includes industrial, energy, transport, housing and civil and other types of infrastructure construction.

Since the development of fields is expected to last for a long period of time, field development works are carried out continuously for several years. At the same time, it is important to determine the order of commissioning of facilities and changes in their production characteristics over time (changes in production volumes, sequence of commissioning of pipelines, wells, construction of roads, power lines, residential houses, service facilities, etc.) [6].

Due to the uniqueness of the parameters of each field, the use of standard design solutions, unified methods and techniques of construction and installation works is significantly limited. Development of each new field requires an individual approach and a unique development model.

Creation of pipeline transport infrastructure in the East of Russia gives an impulse for development of the whole industry of the region. This is the construction of roads and gas pipelines, development of new fields, which were previously difficult to access or unprofitable due to the lack of developed transport in-

infrastructure. Economic development of new gas fields in Eastern Siberia and the Republic of Sakha will create a basis for further growth and development of the entire region, creation of new jobs and new industrial centers.

The development of major railway transport projects in Eastern Siberia and the Republic of Sakha is associated with the exploration and development of oil and gas fields and the development of the region's transit potential. The development of transport infrastructure in the region is determined by the completion of the railway backbone network. This requires the modernization and increase of the throughput capacity of the Trans-Siberian Railway. Construction of the BAM and ANM (Amur-Yakutsk Railway) projects should also be completed, and new railway lines should be constructed and connected to each other.

Road transport in the region will be developed together with the beginning of development of new fields, construction of gas and oil processing centers and development of pipeline transport. The emergence of large transport corridors will improve the quality of infrastructure in Eastern Siberia and the Republic of Sakha and will have a positive impact on the number and quality of roads.

Development of the gas complex in Eastern Siberia should be carried out within the framework of a single long-term state program for the development of Russia's eastern territories, which will protect the country's economic and geopolitical interests and ensure its territorial integrity and national energy security.

The main factors hindering the development of the gas industry in the east of the country are external factors – uncertainty in negotiations on price policy and volumes of gas export supplies, and internal factors – lack of a clear state position in the issue of solving the problem of complex and qualified use of all associated components of natural gas from East Siberian and Far Eastern fields (ethane, propane, butane, helium).

In order to develop the industry and transport infrastructure in Eastern Siberia and the Sakha Republic, it is necessary, first of all, to successfully develop the oil and gas industry in the region and then to raise the entire industry of the region on its basis.

In order to achieve these goals, it is necessary to achieve a multiplier and synergetic effect from the development of pipeline transport in Eastern Siberia and the Republic of Sakha, when the construction of gas pipelines and field development will give impetus to the development of the entire transport infrastructure in Eastern Siberia and the Republic of Sakha. It is planned to differentiate the region's gas industry by locating gas processing plants and increasing the share of gas products in the country's exports.

Most of the natural gas from hydrocarbon fields in Eastern Siberia contains a high number of homologs (methane, ethane, propane, butane), as well as condensate and helium. This is called «fat gas», a very valuable raw material that requires further processing

and separation of valuable components necessary for oil and gas chemical production [9].

Therefore, when developing gas fields in the east of the country, it is necessary at the same time to plan the placement of processing facilities and underground storage of natural gas and related raw materials, immediately building and planning the entire production chain in the region and the transport infrastructure that can ensure the proper functioning of the entire industry.

It will be necessary to build gas processing plants for the disposal of helium, because today the largest helium deposits in Russia are almost all in Eastern Siberia – this is Kovyktinsky (Irkutsk region) with the volume of proven reserves categories A+B+C<sub>1</sub>+C<sub>2</sub>, Chayandinsky (Republic of Sakha), Sobinsky (Krasnoyarsk region), Astrakhan (Astrakhan region), Middle-Botuobinsky (Republic of Sakha (Yakutia)), Orenburg (Orenburg region), Tas-Yuryakh (Republic of Sakha (Yakutia)). At the same time, the concentration of helium at the only Orenburg field being developed in Russia is only 0.053–0.055%, while in the fields of Eastern Siberia and the Republic of Sakha, the largest untapped helium province in the world, this the index is significantly higher, averaging 0.33–0.42 percent and 0.65 percent (See figure 1).

Differentiation of the gas industry by increasing the share of processing of raw materials will significantly increase the profit from the export of products with high added value and will attract additional investment in the region and the industry itself. Growth in the gas production and processing industry will give impetus to the development of the entire regional economy and differentiation of the entire industrial structure of Eastern Siberia and the Republic of Sakha, based on promising gas fields and a well-developed transportation network.

The main Russian project to reorient gas exports to the east – the Power of Siberia gas pipeline – is ready for more than 95%. Construction is progressing at an accelerated pace, which should add at least 700 billion rubles to the turnover of Siberian industrial enterprises, and not only to them. Metallurgical companies were the first to feel the effect of the start of construction. Last year, the tender for the supply of rolled products worth more than 7 billion rubles was won by the Pipe Metallurgical Company, the United Metallurgical Company, the Chelyabinsk Pipe Plant and the Izhora Pipe Plant Severstal. At the end of July this year Gazprom purchased pipes for the Eastern Gas Program for 34.6 billion rubles. Soon the increase in sales will be felt by machine builders, in particular Kamaz.

The Power of Siberia gas pipeline will pass through the southern regions of Yakutia, which will be among the first regions to receive an impetus for social and economic development. The gas pipeline route has been chosen in such a way as to gasify as many settlements as possible. This will reduce energy costs and increase the efficiency of local enterprises.



New production facilities will appear around the gas fields which mean that cities will develop as well. In addition, the creation of the Yakut gas production center will increase the employment rate of the local population. Gazprom's gas pipeline and production facilities in Yakutia alone will require the involvement of about 3,000 specialists, which is 10% of all employees in the gas industry of the Far Eastern Federal District. "Gazprom already organizes training of specialists, including those from Yakutia, in Russian specialized educational centers and stimulates the development of new educational programs. It is expected that about 15 thousand people will be involved in the construction of the Power of Siberia.

The promising project of the Power of Siberia gas pipeline has not yet been implemented, but the benefits of its implementation have already been felt in the regions where the pipeline runs. More than 10,000 workers have already been involved in the construction of this large-scale project and have been able to revitalize the regional economy by increasing demand in local markets. In addition, a significant proportion of the vacancies were filled by local workers, which led to a sharp increase in employment. This trend is on the rise, and recruitment is now beginning to take place to service the ready-made sections of the Siberian Air Force. At the same time, more than 1,200 employees will be hired at a single site in the next two years. This trend in cooperation with regional employment centers allows the Company to provide a share of the local population working in the Company's subdivisions in the regions of construction of the Siberian Powers in the amount of 92% of the total number of employees [1].

As a result, it becomes obvious that, although there is no "power of Siberia" now, many regions have already felt the benefit, in which local markets were able to receive an influx of new monetary resources. In addition, there has also been a significant increase in employment there, which gives the regional economy a strong incentive to develop the market for services and goods for the local population, which can now afford to spend much more money.

This pipeline will be built into the Siberian gas transport system and will allow for more efficient gas supply to the settlements of the Far East, although very small volumes are expected there in the next few years, but an increase in domestic gas consumption in the Far East is possible due to the development of industry, and this is also an important sales potential of the new pipeline. The strength is not in exports, but in processing. In the long term, Russia will get the main effect from the development of the Chayandinskoye and Kovykta fields not so much from gas exports as from the development of petro chemistry. The uniqueness of these fields is that they are very rich in ethane and helium, which are the most promising for industry. There are up to 200 million tons of ethane, 73 million tons of propane and 44 million tons of butane in the region. The helium reserves of the Kovykta field are estimated

at 2.3 billion cubic meters, while those of the Chayandinskoye field are estimated at 1.4 billion cubic meters.

A gas processing plant will be built in the Amur region to extract valuable components, where gas will be processed to extract helium and ethane. The total cost of the project is estimated at about 620 billion rubles. The creation of the Power of Siberia pipeline system will make it possible to move raw materials as close as possible to the region of consumption of polymer and other petrochemical products. Each job in the petrochemical industry creates several jobs in related fields, primarily in polymer processing and construction. If the MCC project is implemented, new prospects may arise for these segments of the regional economy. In addition, gas processing plants may become large consumers of electricity and large shippers, which will give an additional impetus to the development of transport and energy industries. But the main achievement in the development of the region's economy, obtained with the help of the basic fields of the "Siberian Forces" may be the extraction of helium. Its global reserves amount to about 41 billion cubic meters, the main ones are concentrated in Qatar, Algeria, the USA and Russia. The world produces about 175 million cubic meters of helium per year, and its consumption is steadily growing. The largest producer of this product is the USA. Only about 5 million cubic meters of helium are produced in Russia so far. According to estimates by Gazprom VNIIGAZ, by 2030 helium consumption may reach 238–312 million cubic meters, and by that time its production will be only 213–238 million cubic meters. That is, there will be a shortage of helium in the world.

At the same time, according to E&Y's forecasts, by 2022–2025 the volume of helium production in Russia may already be comparable to the current production in the USA.

Thus, the development of gas chemistry in Eastern Siberia will give a synergetic effect, and in terms of helium it will give the world leadership.

"The Power of Siberia is a gas transportation system through which gas from fields in Yakutia and Irkutsk Region will be transported both to the domestic Russian market (via Khabarovsk to Vladivostok) and to export to China (via Blagoveshchensk).

The construction of the Power of Siberia gas pipeline has opened up opportunities for the region's gasification with network gas. It will supply gas from Irkutsk Oblast and Yakutia to consumers in the Far East and China. Gazprom finances the construction of inter-settlement gas pipelines (bringing gas directly to settlements), and the regional and municipal authorities are responsible for laying street networks and preparing consumers for receiving gas.

As it is known, the Program of gas supply and gasification development in the Amur region till 2025, formed on the proposals of the regional government, provides for the design and construction of 4 gas branches and gas distribution stations (GDS), as well as 5 inter-settlement gas pipelines with a total length



of 105 kilometers. Investments are planned within the framework of the program of gasification of Russian regions. Theoretically, the main gas pipeline "Power of Siberia" will simultaneously allow gasifying 29 settlements in four districts of Yakutia. In the Neryungri district it is primarily Yengra and Chulman, where a number of houses still use furnace heating.

The Siberia Force construction project includes three stages. At the first stage, which will be completed by the end of 2019, it is planned to complete the construction of a section of gas pipeline from the Chayandinskoye field in Yakutia to the border with China, as well as the Zeiskaya compressor station. Construction of another 7 compressor stations with the capacity of 481 MW will be completed only by 2022. And in the third stage, the capacity of the gas pipeline will be expanded from the Chayandinskoye field to Blagoveshchensk.

The largest gas transportation project of today will provide Russia with diversification of raw material exports, have a synergetic impact on the development of Eastern Siberia regions, and allow it to become the world's leading helium producer.

## REFERENCES

1. Valtukh K.K. Reproduction and pricing. Theory of research of system statistics. Volume 2 Product Dynamics. The dynamics of prices of capital investments. Part 1. Moscow, 2010. 494 p.

2. Varlamov A.I., Gert A.A., Staroseltsev V.S., Volkova K.N., et al. Prospects for the development of hydrocarbon resources in Eastern Siberia. *Exploration and protection of mineral resources*, 2013, no. 11–12, pp. 32–41.

3. Vladimirova T.A., Sokolov V G., Unitsky A.E. New technologies in the creation and development of transport systems. Khanty-Mansiysk. Polygraphist Publ., 2008. 238 p.

4. Gorev A.E. Fundamentals of the theory of transport systems. Saint Petersburg, SPbGASU Publ., 2009. 214 p.

5. Dementiev A.P., Davydov A.V., Eder L.V., Filimonova I.V. Pipeline transport of oil and gas in eastern Russia. *Transport: science, technology, management*, 2016, vol. 8, pp. 52–55.

6. Krasnova T.L., Bocharnikova A.S. Prospects for the development of main gas pipeline transport in Russia at the present stage. *Problems of sustainable development of Russian regions materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation*. Tyumen, 2016, pp. 258–262.

7. Kulagin V.A., Sorokin S.N., Grushevenko D.A., et al. Forecast until 2040. The main problems and challenges for energy INEI RAS. [http://www.ng.ru/ng\\_energiya/2013-06-11/11\\_prognoz.html](http://www.ng.ru/ng_energiya/2013-06-11/11_prognoz.html).

8. Lobanov N. Ya., Nevskaya M.A. Economic assessment of natural resources as a component of national wealth. *Zapiski Gornogo Instituta*, 2012, vol. 194. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskaya-otsenka-prirodnih-resursov-kak-sostavlyayushey-natsionalnogo-bogatstva/viewer>.

9. Plyaskina N.I., Kharitonova V.N. Strategic planning of intersectoral resource mega-projects: methodology and tools. *Problemy prognoztovaniya*, 2013, no. 2, pp. 15–27.

© T. Mamakhatov, M. J. Mohammad, A. Chaykovskiy, 2020

Развитие экономики Восточной Сибири и Дальнего Востока в современных условиях возможно лишь за счет развития сферы добычи и переработки с выпуском конечной продукции переработки углеводородного сырья с высокой добавленной стоимостью [4].

Долгосрочное устойчивое развитие этих регионов можно обеспечить только за счет комплексного освоения их природных ресурсов на основе современных технологических и инновационных подходов. Необходимо проведение модернизации транспортной инфраструктуры и увеличения пропускной способности, реализация высокого транзитного потенциала, внедрение инноваций и современных технологий в добывающей, металлургической промышленности, электроэнергетике, развитие машиностроения, в том числе электроники, авиастроения, судостроения. Это позволит сформировать на восточных территориях финансовый и банковский сектор, сферу качественных услуг.

Необходимое условие для этого – развитие транспортной, перерабатывающей и социальной

инфраструктуры за счет первоначальных крупных государственных инвестиций. Создание инфраструктуры и стабильной государственной экономической политики впоследствии сделает возможным приток частных инвестиций.

Мощным стимулом развития газового потенциала на востоке страны должно стать строительство магистрального газопровода «Сила Сибири», в будущем – главной газотранспортной артерии на востоке страны, которая позволит транспортировать природный газ с Чаяндынского (Республика Саха) и Ковыктинского (Иркутская область) месторождений в Китай и порты на Дальнем Востоке.

«Сила Сибири» станет общей газотранспортной системой для Иркутского и Якутского центров газодобычи и будет транспортировать газ этих центров через Хабаровск до Владивостока. Протяженность составит около 4000 км (Якутия – Хабаровск – Владивосток – около 3200 км, Иркутская область – Якутия – около 800 км), диаметр трубы 1420 мм, рабочее давление 9,8 МПа (100 атм), проектная



общая производительность 61 млрд м<sup>3</sup> газа в год (см. рисунок).

Согласно поручению Правительства Российской Федерации от 20 января 2016 г. объем инвестиций в комплексное развитие регионов Восточной Сибири и на Дальнего Востока до 2020 г. оценивается в 32 трлн руб. [7].

С учетом особой значимости для государства указанных территорий необходима разработка и реализация системы мер государственной поддержки, которые будут включать:

- введение налоговых и таможенных льгот для инвестиционных проектов;
- установление специальных транспортных тарифов;
- снижение процентных ставок и расширение сферы кредитования инновационных проектов во всех отраслях экономики;
- развитие транспортной и перерабатывающей инфраструктуры;
- установление ускоренной амортизации для высокотехнологичного оборудования;
- прямое финансирование из федерального и региональных бюджетов проведения геолого-разведочных работ (ГРР) [6].

В условиях ослабления экономики и введения экономических и финансовых санкций для российских компаний насущной необходимостью является выработка и четкая реализация государственной программы развития регионов, обоснование государственной идеологии, поддержка приоритетных направлений развития отечественных предприятий и технологий.

Особенность большинства месторождений восточных территорий России заключается в том, что они носят комплексный характер, т. е. содержат нефть, газ, газовый конденсат, а в некоторых случаях и значительные концентрации ценного ресурса – гелия. В связи с этим при развитии и создании новых центров НГК необходимо синхронизировать параметры развития нефтяной и газовой промышленности, разработать схемы переработки углеводородов, а также извлечения и реализации растворенных ценных компонентов.

Одним из наиболее значимых факторов, сдерживающих развитие добывающей и нефте-газоперерабатывающей промышленности, является отсутствие развитой инфраструктуры по транспортировке, переработке и реализации ресурсов.

Одной из главных проблем всего нефтегазового комплекса в России, и в частности газовой отрасли, можно назвать крайне низкую степень диверсификации. Основной упор делается на добычу и продажу первичного сырья, т.е. природного газа, в то время как доля продуктов его переработки крайне низка либо совсем отсутствует. Слабая развитость газоперерабатывающей инфраструктуры приводит к колоссальным потерям сырья и, следовательно, потенциальной прибыли. Объем потерь

только от сжигания попутного нефтяного газа в год оценивается в 15 млрд м<sup>3</sup>. Отсутствие мощностей по переработке жирного богатого гелием газа, добываемого на российских месторождениях, также приводит к огромным потерям ценнейшего сырья (около 50 млрд м<sup>3</sup> гелия в год).

Более 35 % добытого газа в регионе (около 15 млрд м<sup>3</sup>) закачивается в пласт или безвозвратно сжигается в факелах. При этом значительные объемы попутного нефтяного газа, являющегося ценным сырьем для нефтехимической промышленности, сжигается ввиду отсутствия транспортной инфраструктуры, и около 8 млрд м<sup>3</sup> газа, добытого в рамках проекта «Сахалин-1», закачивается в пласт вследствие неразвитого рынка сбыта [9].

В рамках проекта «Сахалин-2» построен первый в России завод по производству сжиженного природного газа (СПГ), что позволило выйти на перспективный рынок энергоресурсов Азиатско-Тихоокеанского региона и ежегодно экспортировать около 10 млн т сжиженного природного газа в Японию и Южную Корею [9].

Большая часть добытого газа в Восточной Сибири идет на нужды местных промышленных предприятий, электрогенерирующих мощностей, газоснабжения населения в Норильско-Талнахском промышленном узле и Якутском промышленном центре.

На протяжении последних 20 лет вблизи границ восточных территорий России динамично развивается экономика стран АТР и их рынки, формируются новые индустриальные и финансовые центры. Регион характеризуется высокими темпами роста численности населения, развитием промышленности, транспорта, высоких технологий. Вследствие этого быстро растет и спрос на основные виды ископаемых энергоносителей, металлов, продукции химической промышленности и т.д.

Существующие программные разработки и инициированные государственными и частными компаниями инвестиционные проекты должны быть объединены в одной согласованной системе, на основе которой будет осуществляться комплексное развитие территорий Восточной Сибири и Республики Саха в соответствии с интересами развития России и учетом внешнеэкономических и политических факторов.

Анализ долгосрочных программ развития различных стран АТР позволяет сделать предположение о дальнейшем увеличении энергопотребления в регионе на протяжении первой половины XXI в. [2].

Несмотря на территориальную близость России и стран АТР, поставки продукции добывающих и перерабатывающих отраслей Востока России на этот крупнейший рынок не играют значительной роли в российском экспорте и значительный ресурсный потенциал остается невостребованным.

Одной из основных причин слабых позиций России на рынках в странах АТР является низкий



уровень транспортной инфраструктуры, в частности недостаточная пропускная способность Транссиба и БАМа, низкие мощности восточных российских портов, сложная транспортная доступность большинства месторождений, ограниченная мощность газопроводов, что ограничивает доступ к ним независимых производителей газа.

Как известно, развитие всей газотранспортной инфраструктуры на Востоке России основывается на официально принятом документе «Программа создания в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке единой системы добычи, транспортировки газа и газоснабжения с учетом возможного экспорта газа на рынки Китая и других стран АТР» (Восточная газовая программа), который утвержден в сентябре 2007 г. приказом Министерства промышленности и энергетики РФ. Координатором реализации всего проекта Правительством РФ назначен «Газпром» [4].

Проект «Сила Сибири» – один из важнейших проектов указанной программы, который станет общей газотранспортной системой для Иркутского и Якутского центров газодобычи и будет транспортировать газ этих центров через Хабаровск до Владивостока. Проект решит проблемы транспортировки газа к дальневосточным потребителям и на экспорт в Китай.

Регионы Восточной Сибири преимущественно дотационные, бюджеты исполняются с дефицитом. Однако отражением положительного влияния начала крупномасштабной добычи в Иркутской области и Республике Саха (Якутия) служит устойчивый рост профицита бюджета в этих регионах начиная с 2009 г. Доля инвестиций в эти регионы составляет 6 % от общероссийского показателя, – 746 млрд руб. В отраслевой структуре около 60 % инвестиции направляются в транспорт и связь (37 %) и добычу полезных ископаемых (22%) Это связано с вводом в разработку нефтегазовых месторождений и строительством трубопроводной и портовой инфраструктуры для обеспечения сбыта сырья [5].

Большая часть добытого газа (около 18,2 млрд м<sup>3</sup>) направляется на внутренний рынок и на экспорт в зарубежные страны. Остальное (около 10 млрд м<sup>3</sup>, или 22 %) либо закачивается обратно в пласт, либо сжигается в факелах [2].

Добыча природного газа в процессе эксплуатации газовых месторождений в Восточной Сибири и Республике Саха в 2020 г. должна будет превысить 146 млрд м<sup>3</sup>, в 2030 г. – 211 млрд м<sup>3</sup>. Всего же накопленная добыча природного газа с начала разработки месторождений региона до 2030 г. должна будет превысить 2370 млрд м<sup>3</sup>, что в настоящее время составляет 79 % от всех открытых запасов, с учетом же ожидаемого прироста запасов эта доля будет составлять не более 50 % (см. таблицу).

Чаяндинское месторождение с запасами газа более 1,2 трлн м<sup>3</sup> является базовым для формирования Якутского центра газодобычи и ресурсной базой для газопровода «Сила Сибири». Создание Якутско-

Прогноз объемов добычи газа в Восточной Сибири и Республике Саха (Якутия), млрд м<sup>3</sup>

Регион	2020	2025	2030	2014–2030	С начала разработки
Восточная Сибирь	93,4	120,5	128,2	1556,5	1637,0
Иркутская обл.	46,9	63,1	63,2	749,9	753,0
Красноярский край	20,6	27,2	29,5	401,6	428,3
Республика Саха	25,9	30,2	35,5	405,0	455,7

го центра газодобычи в первую очередь направлено на обеспечение газом российских потребителей. С его развитием будут созданы необходимые условия для газоснабжения и газификации населенных пунктов Якутии и других регионов Дальнего Востока. В Якутии компании также принадлежат Соболюх-Неджелиинское, Верхневилучанское, Тас-Юряхское и Среднетюнгское месторождения

Ковыктинское месторождение с запасами газа 1,5 трлн м<sup>3</sup> является базовым для формирования Иркутского центра газодобычи. Оно находится в стадии опытно-промышленной разработки, лицензия на его разработку принадлежит Газпрому. Месторождение расположено на территории Жигаловского и Казачинско-Ленского районов Иркутской области. Запасы газа по категориям C<sub>1</sub>+C<sub>2</sub> составляют 2,7 трлн м<sup>3</sup>. Ожидаемый уровень добычи около 35 млрд м<sup>3</sup> газа в год. В 2019 г. «Газпром добыча Иркутск» завершила здесь работы по реконструкции опытной установки подготовки газа УПГ-102. Она обеспечивает топливным газом электростанцию месторождения и энергоблок подрядной организации, снабжающий электроэнергией эксплуатационное бурение на месторождении. Рядом с Ковыктинским «Газпромом» открыто Чиканское месторождение, оно находится в стадии опытно-промышленной эксплуатации.

Южно-Соленинское, Северо-Соленинское, Мессояхское и Пеляткинское газовые и газоконденсатные месторождения расположены в Эвенкийском районе. На этих месторождениях идет добыча сырья, но отсутствует выход на магистральные трубопроводные системы, которые связывают местную систему транспортировки газа в Норильско-Талнахский промышленный узел.

В условиях истощающихся запасов уникальных и крупнейших месторождений России, которые на протяжении многих лет позволяли поддерживать высокий уровень добычи газа при относительно низкой его себестоимости, особо актуальной видится задача разработки средних и мелких месторождений природного газа, расположенных в новых регионах газодобычи. Разработка малых месторождений позволит диверсифицировать рынок природного газа за счет развития зон регионального газоснабжения, удаленных от газовых магистралей; нарастить объем добычи газа в стране; повысить надежность электро- и теплоснабжения отдельных ре-



гионов путем вовлечения в хозяйственный оборот запасов природного газа малых месторождений; увеличить энергоэффективность экономики за счет газификации регионов [3, 5].

Таким образом, для успешного развития экономики и всей промышленности региона необходимо привлечение малого и среднего бизнеса, например, в лице независимых газовых компаний для разработки малых и, возможно, инвестиционно непривлекательных месторождений Восточной Сибири и Республики Саха. Независимые производители смогут разрабатывать те месторождения, мимо которых прошел «монополист», сочтя их не слишком выгодными либо убыточными. Обладая высокой мобильностью принятия решений и привлечения новых инновационных технологий, независимые производители газа (НПГ) смогут выстроить необходимую газотранспортную инфраструктуру в регионе и вывести остальные месторождения на окупаемый уровень. Повышение дифференциации российского газового рынка за счет малых и средних независимых компаний позволит в будущем обеспечить развитие как газотранспортной сети, так и транспортной инфраструктуры всей Восточной Сибири и Республики Саха.

Новые нефтегазодобывающие регионы в Восточной Сибири предоставляют новые возможности для нефтегазового бизнеса, но в то же время ставят ряд специфических задач. Так, отсутствие инфраструктуры и низкая плотность населения требуют особо тщательного подхода к разработке инфраструктуры месторождения, расположению перерабатывающих мощностей, определению и оценке рынков сбыта продукции [2].

Каждое месторождение требует индивидуального подхода к разработке системы его обустройства, что объединяется общим понятием инфраструктуры.

При развитии транспортной инфраструктуры Восточной Сибири необходимо брать во внимание климатические условия региона. Такая специфика будет означать увеличение расходов (преобладание земляных работ по вертикальной планировке площадок за счет использования привозного грунта карьеров; более широкое применение свайных фундаментов и металлических ростверков по ним; прокладка всех внутриплощадочных трубопроводов надземно на опорах и эстакадах; более высокая степень индустриализации; сокращение объемов с применением кирпича и монолитного бетона). Кроме того, для обустройства месторождений здесь требуется и учет уровня сейсмичности.

Из-за того что новые газовые месторождения Восточной Сибири обычно расположены в необжитых и малоосвоенных районах со сложными природно-климатическими условиями, одновременно со строительством объектов основного производственного назначения должны быть организованы работы по строительству объектов производствен-

ной инфраструктуры и жизнеобеспечения как для эксплуатационного персонала, так и для строителей.

Отличительной особенностью работ по обустройству месторождений является развитая структура работ по созданию основных фондов газовой промышленности. Сюда также относятся и объекты промышленности, энергетики, транспорта, жилищно-гражданские и другие виды строительства инфраструктуры.

Так как разработка месторождений предполагается в течение длительного периода, работы по обустройству промысла ведутся непрерывно в течение нескольких лет. При этом важно определить очередность ввода объектов и изменение их производственных характеристик во времени (изменение объемов добычи, последовательности ввода в действие трубопроводов, скважин, строительства дорог, линий электропередач, жилых домов, объектов обслуживания и т.д.) [4].

В связи с уникальностью параметров каждого месторождения применение типовых проектных решений, унифицированных приемов и методов производства строительно-монтажных работ в значительной степени ограничено. При освоении каждого нового месторождения требуется индивидуальный подход и уникальную модель развития.

Создание трубопроводной транспортной инфраструктуры (строительство дорог и газопроводов, разработка новых месторождений, раньше труднодоступных либо нерентабельных в силу отсутствия развитой транспортной инфраструктуры) на Востоке России дает импульс для развития всей промышленности региона. Экономическое освоение новых газовых месторождений создаст базу для дальнейшего роста и развития всего региона, создания новых рабочих мест и новых промышленных центров.

Развитие основных проектов железнодорожного транспорта связано с разведкой и разработкой нефтегазовых месторождений и развитием транзитного потенциала области. Развитие транспортной инфраструктуры в регионе определяется завершением формирования опорной железнодорожной магистральной сети. Для этого требуется модернизация и увеличение пропускной мощности Транссибирской магистрали. Также должно быть завершено строительство проектов Байкальской и Амуро-Якутской железнодорожных магистралей, новые железнодорожные линии должны быть построены и соединены друг с другом.

Автомобильный транспорт в регионе будет развиваться вместе с началом освоения новых месторождений, строительством центров газо- и нефтепереработки сырья и развитием трубопроводного транспорта. Появление крупных транспортных коридоров будет повышать качественную инфраструктуру регионов и благоприятно сказываться на количестве и качестве автодорог.

Развитие газового комплекса Восточной Сибири следует проводить в рамках единой долгосроч-

ной государственной программы развития восточных территорий России, которая позволит защитить экономический и геополитический интерес страны и обеспечить ее территориальную целостность и национальную энергетическую безопасность.

Основными факторами, сдерживающими развитие газовой промышленности на востоке страны, является внешние (неопределенность в переговорах о ценовой политике и объемах поставок газа на экспорт) и внутренние (отсутствие четкой государственной позиции в вопросе решения проблемы комплексного и квалифицированного использования всех попутных компонентов природного газа (этана, пропана, бутана, гелия) восточносибирских и дальневосточных месторождений).

Для развития промышленности и транспортной инфраструктуры регионов необходимо в первую очередь успешно развивать нефтегазовую отрасль региона и потом уже на ее основе поднимать всю промышленность.

Для достижения поставленных целей следует добиться мультипликативного и синергетического эффекта от развития трубопроводного транспорта в Восточной Сибири и Республике Саха, когда строительство газопроводов и разработка месторождений даст импульс для развития всей транспортной инфраструктуры. Планируется дифференцировать газовую промышленность региона путем строительства газоперерабатывающих заводов и увеличения доли продуктов газопереработки в экспорте страны.

В составе природного газа большинства месторождений углеводородов Восточной Сибири содержится высокое количество гомологов (метан, этан, пропан, бутаны), а также конденсат и гелий. Это так называемый жирный газ, очень ценное сырье, требующее последующей переработки и выделения ценных компонентов, необходимых для нефтегазохимического производства [8]. Поэтому при разработке газовых месторождений на востоке страны необходимо одновременно с этим планировать размещение мощностей по переработке и подземному хранению природного газа и попутного сырья, сразу выстраивая и планируя всю производственную цепь в регионе и транспортную инфраструктуру, способную обеспечить должное функционирование всей отрасли.

Необходимо будет построить газоперерабатывающие заводы по утилизации гелия, ведь на сегодняшний день крупнейшие гелиевые месторождения в России почти все находятся в Восточной Сибири: в Иркутской области – Ковыктинское, в Республике Саха – Чаяндинское, Среднеботуобинское, Тас-Юряхское, в Красноярском крае – Собинское. При этом концентрация гелия на единственном разрабатываемом в России Оренбургском месторождении составляет всего 0,053–0,055 %, в то время как на месторождениях Восточной Сибири и Республики Саха, крупнейшей неосвоенной гелиевой провинции мира, этот показатель существенно выше – до 0,65 %, в среднем 0,33–0,42 % (см. рисунок).

Дифференциация газовой отрасли за счет увеличения доли переработки сырья позволит значительно повысить прибыль от экспорта продуктов с высокой добавленной стоимостью и привлечь дополнительные инвестиции в регион и отрасль. Рост в газодобывающей и перерабатывающей отрасли послужит импульсом к развитию всей экономики региона и дифференциации уже всей промышленной структуры Восточной Сибири и Республики Саха (Якутия), на базе перспективных газовых месторождений и развитой транспортной сети.

Основной российский проект по переориентации газового экспорта на восток – газопровод «Сила Сибири» – готов более чем на 95 %. Строительство идет активными темпами, что должно добавить промышленным предприятиям Сибири, и не только им, оборотов как минимум на 700 млрд руб. Первыми ощутили эффект от начала строительства металлургические компании. Еще в прошлом году конкурс на поставку проката общей стоимостью более 7 млрд руб. выиграли Трубная металлургическая компания, Объединенная металлургическая компания, ЧТПЗ и Ижорский трубный завод «Северстали». В 2018 г. «Газпром» закупил трубы для Восточной газовой программы на 34,6 млрд рублей. Вскоре увеличение объема продаж ощутят и машиностроители, в частности КамАЗ. Газопровод «Сила Сибири» пройдет в том числе через южные районы Якутии, которая в числе первых регионов получит импульс для социально-экономического развития. Трасса газопровода выбрана таким образом, чтобы газифицировать максимально возможное количество населенных пунктов. Это сократит затраты на энергию, повысит эффективность местных предприятий. Вокруг газовых месторождений появятся новые производства, а значит и поселки, будут развиваться города. Кроме того, создание Якутского центра газодобычи позволит повысить уровень занятости местного населения. При эксплуатации газопровода и добычных объектов «Газпрома» только в Якутии необходимо будет задействовать около 3 тыс. специалистов – это 10 % всех занятых в газовой отрасли Дальневосточного федерального округа. «Газпром» уже организует подготовку специалистов, в том числе из числа жителей Якутии, в российских профильных образовательных центрах, стимулирует разработку новых образовательных программ. Предполагается, что всего на строительстве «Силы Сибири» будет задействовано около 15 тыс. человек. Перспективный проект газопровода еще не реализован, однако выгоду от его реализации уже ощутили в регионах, по территории которых он проходит. Для этой масштабной стройки уже было задействовано более 10 000 рабочих, которые смогли оживить региональную экономику, увеличив спрос на местных рынках. Помимо этого значительная часть вакансий была занята местными, что привело к резкому увеличению занятости населения. Данная тенденция носит возрастающий характер,





в настоящее время начинается набор кадров для обслуживания готовых участков «Силы Сибири». При этом лишь на одном отдельном участке работает более 1200 сотрудников. Данная тенденция при взаимодействии с региональными центрами занятости позволяет обеспечить долю местного населения, работающего в подразделениях Газпрома в регионах строительства «Силы Сибири», до 92 % от общей численности сотрудников [1].

В итоге очевидно, что, хотя «Силы Сибири» еще нет, выгоду уже ощутили многие регионы, в которых местные рынки смогли получить приток новых денежных ресурсов. Помимо этого там также значительно увеличилась занятость населения, благодаря чему региональная экономика получает мощный стимул для развития рынка услуг и товаров для местного населения, которое теперь может себе позволить тратить значительно больше денег.

Этот трубопровод будет встроен в сибирскую газотранспортную систему и позволит более эффективно газифицировать населенные пункты Дальнего Востока, хотя там объемы в ближайшие несколько лет ожидаются очень маленькие, однако увеличение внутреннего потребления газа на Дальнем Востоке возможно за счет развития промышленности, и это тоже важный сбытовой потенциал нового газопровода. Сила не в экспорте, а в переработке. В долгосрочной же перспективе основной эффект от разработки Чаюдинского и Ковыктинского месторождений Россия получит не столько от экспорта газа, сколько от развития нефтехимии. Уникальность этих месторождений в том, что они очень богаты наиболее перспективными для промышленности этаном и гелием. Здесь содержится до 200 млн т этана, 73 млн т пропана, 44 млн т бутанов; запасы гелия Ковыктинского месторождения оцениваются в 2,3 млрд м<sup>3</sup>, Чаюдинского – в 1,4 млрд м<sup>3</sup>.

Для выделения ценных компонентов в Амурской области будет построен завод, где будут перерабатывать газ для выделения гелия и этана. Общая стоимость проекта оценивается примерно в 620 млрд руб. Создание трубопроводной системы «Сила Сибири» позволит переместить сырье максимально близко к региону потребления полимерной и другой продукции нефтехимической отрасли. Каждое рабочее место в нефтехимической отрасли создает несколько рабочих мест в смежных сферах, прежде всего в переработке полимеров и строительстве. В случае реализации проекта газохимического комплекса (ГХК) для этих сегментов экономики региона могут возникнуть новые перспективы. Кроме того, газоперерабатывающие заводы могут стать крупными потребителями электроэнергии и крупными грузоотправителями, что даст дополнительный импульс развитию транспортной и энергетической отраслей. Но главным достижением в развитии экономики региона может оказаться добыча гелия. Его мировые запасы составляют порядка 41 млрд м<sup>3</sup>, основные сосредоточены в Ката-

ре, Алжире, США и России. В мире производится около 175 млн м<sup>3</sup> гелия в год, а его потребление неуклонно растет. Крупнейший производитель этого продукта – США. В России пока производится лишь около 5 млн м<sup>3</sup> гелия в год. По оценкам «Газпром ВНИИГаза», к 2030 г потребление гелия может достичь 238–312 млн м<sup>3</sup>, а его производство к этому времени будет составлять лишь 213–238 млн м<sup>3</sup>, т.е. в мире возникнет дефицит гелия. При этом, по прогнозам компании E&Y, к 2022–2025 гг. объем добычи гелия в России уже может быть сопоставим с текущим производством в США.

Таким образом, развитие газохимии в Восточной Сибири даст синергетический эффект, а по гелию и вовсе позволит получить мировое лидерство.

«Сила Сибири» – газотранспортная система, по которой газ из месторождений в Якутии и Иркутской области будет транспортироваться как на внутренний российский рынок (через Хабаровск до Владивостока), так и на экспорт в Китай (через Благовещенск).

С его строительством открылись возможности для газификации региона сетевым газом. По нему газ с месторождений Иркутской области и Якутии будет поступать потребителям Дальнего Востока и Китая. Газпром финансирует строительство межпоселковых газопроводов (доведет газ непосредственно до населенных пунктов), а руководство регионов и муниципалитетов отвечает за прокладку уличных сетей и подготовку потребителей к приему газа.

Как известно, Программой развития газоснабжения и газификации Амурской области до 2025 г., сформированной по предложениям правительства региона, предусмотрено проектирование и строительство четырех газоотводов и газораспределительных станций, а также пяти межпоселковых газопроводов общей протяженностью 105 км. Инвестиции предусмотрены в рамках программы газификации регионов России. Теоретически газопровод попутно позволит газифицировать 29 населенных пунктов в четырех районах Якутии. В Нерюнгринском районе это в первую очередь Иенгра и Чульман, где в ряде домов до сих пор используется печное отопление.

Проект строительства «Силы Сибири» включает три этапа. На первом, который завершился к концу 2019 г., построен участок газопровода протяженностью около 2200 км от Якутии до границы с Китаем в районе Благовещенска, а также компрессорной станции Зейская. Строительство еще семи компрессорных станций мощностью 481 МВт будет завершено лишь к 2022 г. На втором этапе якутские газовые месторождения будут соединены трубопроводом с иркутскими, а на третьем – будет расширена мощность газопровода на участке от Чаюдинского месторождения до Благовещенска.

Самый масштабный газотранспортный проект современности обеспечит России диверсификацию экспорта сырья, окажет синергетическое воздействие на развитие регионов Восточной Сибири,



а также позволит занять лидирующие в мире позиции по производству гелия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Вальтух К. К.** Воспроизводство и ценообразование. Теория исследования системной статистики. Т. 2 Динамика продукции. Динамика цен капитальных вложений. Ч. 1. – М., 2010. – 494 с.

2. **Владимирова Т. А., Соколов В. Г., Юницкий А. Э.** Новые технологии в создании и развитии транспортных систем. – Ханты-Мансийск: Полиграфист, 2008. – 238 с.

3. **Горев А. Э.** Основы теории транспортных систем. – СПб.: СПбГАСУ, 2009. – 214 с.

4. **Краснова Т. Л., Бочарникова А. С.** Перспективы развития магистрального трубопроводного транспорта газа в России на современном этапе // Проблемы устойчивого развития российских регионов: матер. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. 2016. – С. 258–262.

5. **Лобанов Н. Я., Невская М. А.** Экономическая оценка природных ресурсов как составляющей на-

ционального богатства // Зап. Горн. ин-та. – 2012. – Т. 194. – Точка доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskaya-otsenka-prirodnih-resurov-kak-sostavlyayushey-natsionalnogo-bogatstva/viewer>.

6. **Перспективы** освоения ресурсов углеводородного сырья Восточной Сибири / А. И. Варламов, А. А. Герт, В. С. Старосельцев и др. // Разведка и охрана недр. – 2013. – № 11–12. – С. 32–41.

7. **Прогноз** до 2040 года. Главные проблемы и вызовы для энергетики / В. А. Кулагин, С. Н. Сорокин, Д. А. Грушевенко и др. // Независимая газета. – Точка доступа: [http://www.ng.ru/ng\\_energiya/2013-06-11/11\\_prognoz.html](http://www.ng.ru/ng_energiya/2013-06-11/11_prognoz.html).

8. **Пляскина Н. И., Харитонов В. Н.** Стратегическое планирование межотраслевых ресурсов мегапроектов: методология и инструментарий // Проблемы прогнозирования. – 2013. – № 2. – С. 15–27.

9. **Трубопроводный** транспорт нефти и газа на востоке России / А. П. Дементьев, А. В. Давыдов, Л. В. Эдер, И. В. Филимонова // Транспорт: наука, техника, управление. – 2016. – № 8. – С. 52–55.

© Т. Мамахатов, М. Дж. Мухаммед, А. Чайковский, 2020



## ГЕОЛОГ С ТВЕРДЫМ ХАРАКТЕРОМ Памяти Бориса Константиновича Михайлова

### GEOLOGIST WITH A STRONG CHARACTER

In memoriam of Boris Mikhaylov

21 мая безвременно ушел из жизни выдающийся российский советский геолог Борис Константинович Михайлов, заместитель генерального директора АО «Росгеология», руководитель блока геологии ТПИ, кандидат экономических наук, действительный член РАЕН, заслуженный геолог РФ, лауреат премии правительства РФ в области науки и техники, член редколлегии нашего журнала.

Б. К. Михайлов – геолог по образованию, профессии и призванию. Его родина – Уфа, где он окончил среднюю школу, а альма-матер – геолого-геофизический факультет Новосибирского государственного университета. Еще будучи студентом, он проходил производственные практики в полевых геолого-разведочных отрядах в Магаданской области, а получив в 1972 г. диплом инженера-геолога, вернулся на Колыму. Так его жизнь и работа оказались связанными на долгие годы с Северо-Востоком России – главной золотоносной кладовой страны. Колыма закаляла характер. Здесь он прошел все ступени профессиональной лестницы от рядового радиометриста до крупного специалиста в области рудно-металлогенических исследований, государственного геокартирования, прогнозирования и поисков месторождений ТПИ. В 1989–1997 гг. Борис Константинович занимал руководящие должности регионального масштаба (Колыма и Чукотка) в системе государственного управления недропользованием.

Авторитет Б. К. Михайлова в этой сфере способствовал тому, что в 1997 г. он был приглашен на работу в одну из крупнейших горно-добывающих компаний мира Би-Эйч-Пи, реализовавшей ряд геолого-разведочных проектов в Магаданской области. Это позволило ему приобрести опыт сотруд-

ничества с квалифицированными иностранными коллегами и получить возможность повысить свою квалификацию за счет посещения ряда зарубежных месторождений (США, Австралия, Англия). Вернувшись в 1999 г. в Комитет природных ресурсов по Магаданской области на должность заместителя председателя, он использовал эти знания при разработке планов и программ геологических исследований и воспроизводства МСБ на территории области.

Целый ряд масштабных инициатив в этом качестве послужили основанием для перевода Б. К. Михайлова в 2001 г. в центральный аппарат МПР России, затем в образованное в 2004 г. Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра) в качестве начальника управления геологии твердых полезных ископаемых, где он проработал до июня 2012 г. Среди коллег Бориса Константиновича есть мнение, что за этот период ему удалось коренным образом изменить ситуацию по воспроизводству МСБ целого ряда твердых полезных ископаемых, и в первую очередь золота и серебра, за счет концентрации средств государства и частных компаний. Большое значение он придавал сохранению общей культуры геолого-разведочных работ по воспроизводству МСБ твердых полезных ископаемых на основе внедрения в практику работ их научно-методического обеспечения и сопровождения со стороны отраслевых НИИ. При этом и сам в 2010 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата экономических наук на тему «Развитие экономических механизмов модернизации минерально-сырьевого сектора России на инновационной основе», являясь автором и соавтором семи



монографий, более 100 статей и докладов на различного рода конференциях и симпозиумах, в том числе и международных.

В 2012 г. по итогам объявленного Роснедрами конкурса Б. К. Михайлов был назначен директором ФГУП ЦНИГРИ, а в 2015 г. перешел на работу в АО «Росгеология», где в ранге заместителя генерального директора до последнего дня жизни

руководил всеми работами на твердые полезные ископаемые.

Борис Константинович награжден нагрудным знаком «Отличник разведки недр» и медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени.

Образ замечательного человека, преданного своему делу геолога и талантливого руководителя надолго сохранится в памяти его коллег и соратников.

*Редакционная коллегия*



## НАШИ АВТОРЫ

- АЛОКЛА Рияд**, Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия, аспирант, младший научный сотрудник; Университет Алеппо, г. Алеппо, Сирия. *E-mail: riyad.198762@gmail.com*
- БЕСПЕЧНЫЙ Владимир Николаевич**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, директор департамента. *E-mail: bespechnyy@sniiggims.ru*
- ГОЛЫШЕВ Станислав Иванович**, Томский филиал Сибирского НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (ТФ СНИИГГиМС), Томск, Россия, вед. науч. сотр.; к.ф.-м.н. *E-mail: golyshev@tf-sniiggims.ru*
- ДОРОГИНИЦКАЯ Лидия Михайловна**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, вед. науч. сотр., к.г.-м.н. *E-mail: dlm1931@mail.ru*
- КОЛПАКОВ Владислав Владимирович**, Институт геологии и минералогии (ИГМ) им. В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия, ст. науч. сотр., к.г.-м.н. *E-mail: vladk@igm.nsc.ru*
- КОТЕЛЬНИКОВ Алексей Дмитриевич**, Томский государственный университет (ТГУ), Томск, Россия, зав. лабораторией. *E-mail: geokart@ggf.tsu.ru*
- ЛАПТЕВА Елена Юрьевна**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, вед. геолог. *E-mail: Lapteva@sniiggims.ru*
- МАКАРЕНКО Николай Андреевич**, Томский государственный университет (ТГУ), Томск, Россия, геолог, к.г.-м.н. *E-mail: geokart@ggf.tsu.ru*
- МАМАХАТОВ Тлеш Муратович**, образовательно-научный центр «Экономика» Российского экономического университета им. Г. В. Плеханова, Москва, Россия, к.э.н. *E-mail: Mamahatov.TM@rea.ru*
- МИГУРСКИЙ Феликс Анатольевич**, Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт (ВНИГНИ), Москва, Россия, зав. отделом, к.г.-м.н. *E-mail: fam@vnigni.ru*
- МИТРОФАНОВ Георгий Михайлович**, Институт нефтегазовой геологии и геофизики (ИНГГ) им. А. А. Трофимука СО РАН, вед. науч. сотр.; д.ф.-м.н., доцент; НГУ, Новосибирск, Россия, профессор. *E-mail: georgymitrofanov@rambler.ru*
- МУХАММЕД Джеймс Маллах**, Южный Федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия, аспирант. *E-mail: jamesmanaffmallah@gmail.com*
- НЕВОЛЬКО Петр Александрович**, Институт геологии и минералогии (ИГМ) им. В. С. Соболева СО РАН, ст. науч. сотр., Новосибирский государственный университета (НГУ), Новосибирск, Россия, ст. преподаватель, к.г.-м.н. *E-mail: nevolko@igm.nsc.ru*
- ОРЛОВ Юрий Анатольевич**, Институт нефтегазовой геологии и геофизики (ИНГГ) им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия, вед. инженер. *E-mail: orlovyu@ipgg.sbras.ru*
- ОЩЕПКОВА Анастасия Владимировна**, Иркутский государственный университет, преподаватель; Институт геохимии имени А. П. Виноградова СО РАН, Иркутск, Россия, мл. науч. сотр. *E-mail: oshepkova-anasta@mail.ru*
- ПАДАЛКО Наталия Львовна**, Томский филиал Сибирского НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (ТФ СНИИГГиМС), Томск, Россия, зав. лабораторией, к.х.н. *E-mail: padalko@tf-sniiggims.ru*
- ПОДОБИНА Вера Михайловна**, Национальный исследовательский Томский государственный университет, д.г.-м.н., проф. *E-mail: podobina@ggf.tsu.ru*
- ПРАЗДНИЧНЫХ Максим Игоревич**, Томский филиал Сибирского НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (ТФ СНИИГГиМС), Томск, Россия, науч. сотр. *E-mail: maxim.prazdnichnykh@gmail.com*
- РАССКАЗОВ Сергей Васильевич**, Иркутский государственный университет, профессор; Институт земной коры (ИЗК) СО РАН, Иркутск, Россия, зав. лабораторией д.г.-м.н. *E-mail: rassk@crust.irk.ru*
- САПЬЯНИК Виктор Васильевич**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, нач. отдела, к.г.-м.н. *E-mail: sapjanik@sniiggims.ru*
- СМОЛИН Сергей Николаевич**, Институт нефтегазовой геологии и геофизики (ИНГГ) им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия, вед. инженер. *E-mail: smolwork56@gmail.com*
- СОБОЛЕВ Петр Николаевич**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, зав. лабораторией, к.г.-м.н. *E-mail: geochim@sniiggims.ru*
- ФИЛЕВА Татьяна Семеновна**, Институт земной коры (ИЗК) СО РАН, Иркутск, Россия, вед. инженер. *E-mail: tsfileva@rambler.ru*
- ФОМИНЫХ Павел Андреевич**, Институт геологии и минералогии (ИГМ) им. В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия, мл. науч. сотр. *E-mail: fominykh@igm.nsc.ru*
- ХИЛЬКО Анатолий Павлович**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, ст. эксперт, к.г.-м.н. *E-mail: hilko\_anatoliy@sniiggims.ru*
- ХИЛЬКО Иван Анатольевич**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, зав. лабораторией. *E-mail: hilko\_ivan@sniiggims.ru*
- ЧАЙКОВСКИЙ Алексей Михайлович**, образовательно-научный центр «Финансы» Российского экономического университета им. Г. В. Плеханова, Москва, Россия, мл. научн. сотр.
- ЧЕРНИКОВ Евгений Викторович**, Томский филиал Сибирского НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (ТФ СНИИГГиМС), Томск, Россия, гл. специалист. *E-mail: evc@sibmail.com*
- ЧУВАШОВА Ирина Сергеевна**, Иркутский государственный университет, доцент; Институт земной коры (ИЗК) СО РАН, Иркутск, Россия, ст. науч. сотр., к. г.-м. н. *E-mail: chuvashova190684@mail.ru*
- ШИГАНОВА Ольга Викторовна**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, ст. эксперт, к. г.-м. н. *E-mail: shiganova@sniiggims.ru*
- ЩИГОРЕВА Наталья Васильевна**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, вед. геофизик. *E-mail: Shigoreva@sniiggims.ru*



**ЯВОРОВ Петр Филиппович**, Томский филиал Сибирского НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (ТФ СНИ-ИГГиМС), Томск, Россия, вед. инженер. *E-mail: Yavorov@tf-sniiggims.ru*

**ЯКУПОВА Елена Маратовна**, Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт (ВНИГНИ), Москва, Россия, науч. сотр., к. г.-м. н. *E-mail: emyakupova@vnigni.ru*



## OUR AUTHORS

- ALOKLA Riyad**, Irkutsk State University, Irkutsk, Russia; Aleppo University, Aleppo, Syria. *E-mail: riyad.198762@gmail.com*
- BESPECHNYI Vladimir**, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: bespechnyy@sniiggims.ru*
- CHAYKOVSKIY Alexey**, Educational and Scientific Center «Finance», Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia.
- CHERNIKOV Evgeniy**, Tomsk branch of Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (TF JS SNIIGGiMS), Tomsk, Russia. *E-mail: evc@sibmail.com*
- CHUVASHOVA Irina**, PhD, Irkutsk State University, Irkutsk, Russia. *E-mail: chuvashova190684@mail.ru*
- DOROGINITSKAYA Lidiya**, PhD, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: dlm1931@mail.ru*
- FILEVA Tatyana**, Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia. *E-mail: tsfileva@rambler.ru*
- FOMINYKH Pavel**, V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy (IGM) of SB RAS, Novosibirsk, Russia. *E-mail: fominykh@igm.nsc.ru*
- GOLYSHEV Stanislav**, PhD, Tomsk branch of Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (TF SNIIGGiMS), Tomsk, Russia. *E-mail: golyshev@tf-sniiggims.ru*
- HILKO Anatoliy**, PhD, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: hilko\_anatoliy@sniiggims.ru*
- HILKO Ivan**, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: hilko\_ivan@sniiggims.ru*
- KOLPAKOV Vladislav**, PhD, V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy (IGM) of SB RAS, Novosibirsk, Russia. *E-mail: vladk@igm.nsc.ru*
- KOTELNIKOV Alexey Dmitrievich**, Tomsk State University, Tomsk, Russia. *E-mail: geokart@ggf.tsu.ru*
- LAPTEVA Elena**, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: Lapteva@sniiggims.ru*
- MAKARENKO Nikolay Andreevich**, PhD, Tomsk State University, Tomsk, Russia. *E-mail: geokart@ggf.tsu.ru*
- MAMAKHATOV Tlesh**, PhD, Educational and Scientific Center «Economics» Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia. *E-mail: tmmamakhatov@gmail.com*
- MIGURSKIY Felix**, PhD, All-Russian Scientific Research Geological Petroleum Institute (VNIGNI), Moscow, Russia. *E-mail: fam@vnigni.ru*
- MITROFANOV Georgiy**, DSc, prof., A. A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics (IPGG) SB RAS; Novosibirsk State Technical University (NSTU), Novosibirsk, Russia. *E-mail: georgymitrofanov@rambler.ru*
- MOHAMMAD Mallah James**, PhD, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia. *E-mail: jamesmanaffmallah@gmail.com*
- NEVOLKO Petr**, PhD, V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy (IGM) of SB RAS; Novosibirsk State University (NSU), Novosibirsk, Russia. *E-mail: nevolko@igm.nsc.ru*
- ORLOV Yuriy**, A.A.Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics (IPGG) SB RAS, Novosibirsk, Russia. *E-mail: orlovya@ipgg.sbras.ru*
- OSHEPKOVA Anastasia**, Irkutsk State University; A.P.Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia. *E-mail: oshepkova-anasta@mail.ru*
- PADALCO Nataliya**, PhD, Tomsk branch of Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (TF SNIIGGiMS), Tomsk, Russia. *E-mail: padalko@tf-sniiggims.ru*
- PODOBINA Vera**, DSc, prof., National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia. *E-mail: podobina@ggf.tsu.ru*
- PRAZDNICHNYKH Maksim**, Tomsk branch of Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (TF SNIIGGiMS), Tomsk, Russia. *E-mail: maxim.prazdnichnykh@gmail.com*
- RASSKAZOV Sergey**, DSc, prof., Irkutsk State University, Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia. *E-mail: rassk@crust.irk.ru*
- SAPYANIK Victor**, PhD, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: sapjanik@sniiggims.ru*
- SCHIGOREVA Natalia**, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: Shigoreva@sniiggims.ru*
- SHIGANOVA Olga**, PhD, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: shiganova@sniiggims.ru*
- SMOLIN Sergey**, A.A.Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics (IPGG) SB RAS, Novosibirsk, Russia. *E-mail: smolwork56@gmail.com*
- SOBOLEV Petr**, PhD, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: geochim@sniiggims.ru*
- YAKUPOVA Elena**, PhD, All-Russian Scientific Research Geological Petroleum Institute (VNIGNI), Moscow, Russia. *E-mail: emyakupova@vnigni.ru*
- YAVOROV Petr**, Tomsk branch of Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (TF SNIIGGiMS), Tomsk, Russia. *E-mail: Yavorov@tf-sniiggims.ru*

Подписано в печать 20.06.20. Формат 60×84/8. Бумага офсетная 80 г/м<sup>2</sup>. Печать цифровая.  
Тираж 100 экз. Гарнитура Calibri. Объем 14,6 печ. л. Заказ №  
Отпечатано в соответствии с предоставленными материалами в ПАО «Т8 Издательские Технологии»  
109316, Москва, Волгоградский проспект, д. 42, корпус 5.  
Тел: 8 (495) 322 38 30  
[www.t8print.ru](http://www.t8print.ru)