



ГЕОЛОГИЯ И МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫЕ РЕСУРСЫ СИБИРИ

ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 4 ♦ 2022

Главный редактор –

Акад. РАН М. И. Эпов (Новосибирск)

Редакционная коллегия

Свиньин 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)

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

Зайнидинов Х., д.т.н. (Ташкент, Узбе-
кистан)

Конторович А. Э., акад. РАН (Ново-
сибирск)

Крюков В. А., акад. РАН (Новосибирск)

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

Похиленко Н. П., акад. РАН (Новоси-
бирск)

Птицын А. Б., д.г.-м.н. (Чита)

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

Собисевич А. Л. чл.-кор. РАН (Москва)

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

Шапорина М. Н., к.г.-м.н., ответственный
секретарь (Новосибирск)

Шацкий В. С., акад. РАН (Новосибирск)

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

Редакционный совет

Алексеев Г. Ф., к.т.н. (Кемерово)

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

Васильев В. И., к.г.-м.н. (Иркутск)

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

Глинских В. Н., чл.-кор. РАН (Новоси-
бирск)

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 (Ново-
сибирск)

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

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

Поляков А. А. (Москва)

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

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

Смирнов М. Ю., к.г.-м.н. (Москва)

Татьянин Г. М., к.г.-м.н. (Томск)

Филипцов 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.

Содержание

Региональная геология, стратиграфия, тектоника

В. М. Подобина. Новые сведения по биостратиграфии тавдинского горизонта (рюпельский ярус) Западной Сибири (по данным изучения фораминифер) 3

Д. Г. Маликов, С. Е. Голованов. Млекопитающие позднего неоплейстоцена Предалтайской равнины по материалам разреза Новосуртаевка 14

И. А. Мельник. Статистическая интенсивность процессов преобразования открытых геологических систем на основе геофизических данных 22

Нефтегазовая геология

М. Ю. Зубков. Роль тектоно-гидротермальных процессов в формировании залежей газа на севере Западной Сибири 28

Ю. Л. Зайцева, В. В. Сапьяник. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности Кузнецкого самостоятельного нефтегазоносного района 46

Минералогия, рудные и нерудные месторождения

М. М. Шац, В. Н. Макаров. Геоэкологические условия в районе Депутатского оловорудного месторождения (Северо-Восточная Якутия) .. 55

В. С. Шкодзинский. Происхождение автономных россыпей алмазов.... 64

Гидрогеология, геоэкология и мониторинг геологической среды

А. Эль-Меселхи, Г. М. Митрофанов. Исследование водоносных горизонтов на примере области Ел-Овейнат, Египет 70

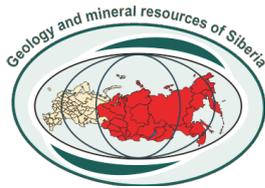
Экономика и управление

Е. И. Головина, А. В. Гребнева. Особенности управления ресурсами подземных вод на трансграничных территориях (на примере Калининградской области) 85

Наши авторы 95

Алфавитный список статей за 2022 г. 97

Авторы журнала за 2022 г. 101



GEOLOGY AND MINERAL RESOURCES OF SIBERIA

QUARTERLY SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

No. 4 ♦ 2022

Editor

Acad. RAS M.I. Epov (Novosibirsk)

Editorial board:

Svinyin V.F., executive editor, associated editor, Novosibirsk
Afanasenkov A.P. (Moscow)
Brekhtunsov A.M., DSc (Tyumen)
Gert A.A., DSc (Novosibirsk)
Kontorovich A.E., acad. RAS (Novosibirsk)
Kryukov V. A., acad. RAS (Novosibirsk)
Melnikov N.V., DSc (Novosibirsk)
Pokhilenko N.P., acad. RAS (Novosibirsk)
Ptitsyn A.B., DSc (Chita)
Shaporina M. N., PhD, executive secretary (Novosibirsk)
Shatskiy V. S., acad. RAS (Novosibirsk)
Shin E.Ch., PhD, prof. (Incheon, Republic of Korea)
Seiful'-Mulyukov R.B., DSc, prof. (Moscow)
Sobisevich A. L., corr. memb. RAS (Moscow)
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)
Chernykh A.I., PhD (Moscow)
Devyatov V.P., DSc (Novosibirsk)
Eder L. V., DSc (Moscow)
Efimov A.S. (Novosibirsk)
Filiptsov 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)
Smirnov E.V., PhD (Novosibirsk)
Smirnov M.Yu., PhD (Moscow)
Tatyanin 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.

Content

Regional Geology, Stratigraphy, Tectonics

- V. M. Podobina.* New data on biostratigraphy of the Tavda Horizon (Ryupelian Stage) in Western Siberia (based on the results of the study of foraminifera)..... 3
D. G. Malikov, S. E. Golovanov. Mammals of the late Pleistocene of the Pre-Altai Plain based on the materials of the Novosurtaevka Section 14
I. A. Melnik. Statistical intensity of transformation processes of open geological systems based on geophysical data..... 22

Petroleum Geology

- M. Yu. Zubkov.* Role of tectonic and hydrothermal processes in the formation of gas pools in the north of Western Siberia..... 28
Yu. L. Zaytseva, V. V. Sapyanik. Geological structure and petroleum potential prospects of the Kuznetsk independent petroleum region 46

Minerogenesis, ore and non-metallic mineral resources

- M. M. Shats, V. N. Makarov.* Geoecological conditions in the area of the Deputatskoye tin ore deposit (North-Eastern Yakutia)..... 55
V. S. Shkodzinsky. Origin of autonomous diamond placers 64

Hydrogeology, Geoecology and Monitoring of the Geological Environment

- A. El-Meselhy, G.M. Mitrofanov.* Study of aquifer layers: an example of El-Oweinat Region, Egypt 70

Economics and Management of subsoil Resources Use

- E. I. Golovina, A. V. Grebneva.* Features of groundwater resources management in the transboundary territories (on the example of the Kaliningrad Region) 85
Our authors 96
Alphabetical list of articles in 2022..... 98
The authors of journal in 2022 103



НОВЫЕ СВЕДЕНИЯ ПО БИОСТРАТИГРАФИИ ТАВДИНСКОГО ГОРИЗОНТА (РЮПЕЛЬСКИЙ ЯРУС) ЗАПАДНОЙ СИБИРИ (ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ ФОРАМИНИФЕР)

В. М. Подобина

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

Возраст тавдинского горизонта и положение ярусов олигоцена являются проблемными в биостратиграфии палеогена Западной Сибири. В региональной стратиграфической схеме палеогена Западной Сибири в основе выводов по возрасту тавдинской свиты (горизонта) использованы одноклеточные водоросли и некоторые другие материалы. Вследствие этого его возраст датирован поздним бартоном (средний эоцен). По данным изучения фораминифер с использованием геологической информации, а также по опубликованным работам возраст горизонта определен как рюпельский (средний олигоцен). Латдорфский ярус нижнего олигоцена, как выяснилось, выпадает из стратиграфического разреза Западной Сибири из-за положительных тектонических движений, подъема этого и других северных регионов. В южных регионах Европы, США, Атлантики латдорфский ярус присутствует как нижний олигоцен или как планктонные фораминиферовые зоны.

Ключевые слова: фораминиферы, тавдинский горизонт, рюпельский ярус, Западная Сибирь.

NEW DATA ON BIOSTRATIGRAPHY OF THE TAVDA HORIZON (RYUPELIAN STAGE) IN WESTERN SIBERIA (BASED ON THE RESULTS OF THE STUDY OF FORAMINIFERA)

V. M. Podobina

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

The problematic point in the Paleogene biostratigraphy of Western Siberia is the age of the Tavda Horizon as well as the position of Oligocene Stages. In the regional stratigraphic chart for the Paleogene of Western Siberia, unicellular algae and some other data were used as the basis for conclusions on the age of the Tavda Formation (Horizon). As a result, the age of the Tavda Horizon is dated back to the Late Bartonian (Middle Eocene). According to the foraminifera data using geological information, as well as publications, the age of the Tavda Horizon is defined as the Ryupelian (Middle Oligocene). The Latdorfian Stage of the Lower Oligocene, as it turned out, falls out of the stratigraphic section of Western Siberia due to manifestation of positive tectonic movements, the rise of this and other northern regions. In the southern regions of Europe, the USA, and the Atlantic, the Latdorfian Stage is present as the Lower Oligocene or as planktonic foraminiferous zones.

Keywords: foraminifera, Tavda Horizon, Ryupelian Stage, Western Siberia.

DOI 10.20403/2078-0575-2022-4-3-13

Стратиграфическое положение тавдинской свиты одноименного горизонта Западной Сибири – вопрос спорный. По последней региональной стратиграфической схеме [23] горизонт датируется поздним бартоном (средний эоцен). Вследствие этого граница между эоценом и олигоценом проведена на рубеже тавдинского и атлымского горизонтов. При этом согласно решению МСК [21] латдорфский ярус упразднен, а рюпельский соответствует нижнему олигоцену. Автор не согласна с подобным решением, так как имеются доказательства в пользу восстановления обоих ярусов на прежних местах в стратиграфических схемах. Чтобы доказать присутствие в стратиграфической шкале латдорфского яруса нижнего олигоцена и рюпельского яруса как среднего подотдела, в статье приведены сведения по фораминиферам, некоторым геологическим данным и опубликованным работам. На основании обобщения всей указанной информации автор пришла к выводу о присутствии латдорфского яруса или нижнего олигоцена в южных регионах Евразии, США, Атлантики. В Западной Сибири и не-

которых других северных регионах латдорфский ярус отсутствует из-за перерыва в осадконакоплении, поэтому автор считает его упразднение неправомерным.

Предполагается, что слои с *Reorpha*, выделяемые местами в верхах нижележащей нюрольской свиты (горизонта), представляют собой начало формирования отложений латдорфского яруса, но выше в разрезе он отсутствует. Причина, по-видимому, заключается в положительных тектонических движениях, которые привели к подъему территории Западной Сибири и размыву его отложений. Однако в других регионах (Южная Европа, США, Атлантика и др.) ярус выделяется в разрезах по соответствующим зонам планктонных фораминифер и нанопланктону. Вышележащим отложениям среднего подотдела (рюпельского яруса) также соответствуют микропалеонтологические зоны. В Западной Сибири в тавдинской свите (горизонте) автором установлена рюпельская зона бентосных фораминифер *Cibicidoides pseudoungerianus*, *Evolutononion decoratum* [15, 17].



В отдельных разрезах Западной Сибири совместно с бентосными обнаружены характерные планктонные фораминиферы. Например, подобным видом является *Globigerina ampliapertura* Bolli, вид-индекс одноименной рюпельской зоны.

В данной статье приведены обобщающие сведения в пользу восстановления в стратиграфических схемах латдорфского яруса и перемещения рюпельского яруса на его прежнее место.

Краткая история исследований

Палеонтологические данные, в основном по фораминиферам из тавдинской свиты (горизонта), изучались с 1950-х гг. Одной из первых была исследователь из ВСЕГЕИ (Ленинград) Р. Х. Липман [2, 11]. Затем эти работы продолжила сотрудница НТГУ (Новосибирск) М. В. Ушакова [4, 24]. Почти одновременно изучение палеогеновых фораминифер начала Е. В. Фрейман [25] в СНИИГГиМС (Новосибирск). В. М. Подобина продолжила исследование палеогеновых фораминифер в Томском государственном университете (ТГУ) [15, 17–19].

Эти ученые определили возраст тавдинской свиты (частично или полностью) как раннеолигоценый, а В. М. Подобина несколько уточнила его как рюпельский. Палинологи [9] и карпологи [13] датировали возраст тавдинской свиты как верхнеэоценовый. В дальнейшем определение возраста взяли в свои руки альгологи и в основном по диноцистам с привлечением некоторых других сведений определили его как среднеэоценовый (верхний подъярус бартонского яруса).

В дальнейшем на эту тему появилось много статей, одна из них – обобщение коллектива авторов во главе с М. А. Ахметьевым и В. Н. Беньямовским [14]. Эти данные внесены в региональную стратиграфическую схему палеогена Западной Сибири [23]. В ней приведены единичные сведения по фораминиферам палеогена 1950–1960-х гг., кроме материалов В. М. Подобиной, которая не согласилась с предлагаемой биостратиграфией тавдинской свиты (горизонта), так как многие годы исследовала фораминиферы указанной части разреза на большом фактическом материале. Тем более что в отличие от кварцево-кремнистых фораминифер из нижележащих отложений нюрольского горизонта в тавдинском горизонте распространены бентосные секреторно-известковые и реже планктонные раковины.

Многолетние исследования В. М. Подобиной по этой теме отражены не только в опубликованных работах, но и в докладах на конгрессах и симпозиумах в стране и за рубежом.

Так, в 2003 г. в Левене (Бельгия) на международном симпозиуме автором представлено сообщение о верхнеэоценовых и нижнеолигоценых фораминиферных зонах Западно-Сибирской равнины, проблеме латдорфского яруса (тезисы опубликованы).

В 2004 г. в Луксоре (Египет) на V Международной конференции по климату и биоте палеогена

представлены материалы о палеогеновых фораминиферных зонах Западной Сибири.

На XXXII сессии Международного геологического конгресса во Флоренции (Италия) в 2004 г. автором сообщены новые данные по раннеолигоценой фораминиферной зоне Западной Сибири и по проблеме латдорфского яруса.

На Второй научно-практической стратиграфической конференции в 2004 г. в Саратове рассказано о сравнении олигоценового комплекса фораминифер Западной Сибири с таковым из стратотипа рюпеля Бельгии. Подобные исследования с доказательством необходимости восстановления латдорфского яруса затем были опубликованы в Германии.

В книге «Практическое руководство по микрофауне» [20] в разделе «Западно-Сибирская плита» автором отражены новые сведения по фораминиферам и стратиграфии морского палеогена (в основном центрального, восточного и южного районов).

В 2006 г. в Санкт-Петербурге на III сессии Всероссийского палеонтологического общества «Современная палеонтология: классическая и нетрадиционная» автором (совместно с Т. Г. Ксенёвой и Г. М. Татьяниным) приведена новая информация по фораминиферам как индикаторам перерывов в осадконакоплении (на примере палеогена Западной Сибири).

В трудах 33-го Международного геологического конгресса в Осло в 2008 г. опубликованы новые данные автора по фораминиферам, на основании которых было предложено восстановить в разрезе олигоцена латдорфский ярус.

На Международной конференции по агглютированным фораминиферам Micro-2010 в Бонне (Германия) В. М. Подобиной опубликованы сведения о значении фораминифер для палеогеновой биостратиграфии Западной Сибири.

На научной сессии, организованной в 2011 г. ИНГГ СО РАН и посвященной проблемам палеонтологии, стратиграфии и палеогеографии мезозоя и кайнозоя бореальных районов, опубликованы материалы автора по биостратиграфии тавдинской свиты Западной Сибири.

В Москве в 2013 г. на XI Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле» представлены и опубликованы в трудах конференции данные о проблеме латдорфского яруса.

На LX сессии Всероссийского палеонтологического общества в Санкт-Петербурге в 2014 г. «Диверсификация и этапность эволюции органического мира в свете палеонтологической летописи» ею сделано и опубликовано сообщение на тему «Разнообразие раннеолигоценых фораминифер Западной Сибири и сравнение с фауной других регионов».

Исследования, проведенные В. М. Подобиной за многие десятилетия, посвящены систематике фораминифер, анализу их комплексов, вопросам стратиграфии, палеогеографии, палеобиогеографии, вы-



явлению ритмостратонов, перерывов в осадконакоплении на основании распределения фораминифер, что подтверждает положение латдорфского яруса в разрезе палеогена [15].

Сравнение олигоценовых фораминифер Западной Сибири и других провинций

Многолетние исследования показали, что в тавдинской свите одноименного горизонта фораминиферы распространены во всех палеобиогеографических районах Западно-Сибирской провинции, кроме северного [15–17]. С продвижением к югу количество и разнообразие фораминифер значительно возрастает. Примером может служить разрез скв. 4-к у с. Петухово (южный район). В пределах других районов в основном встречаются единичные секреционно-известковые бентосные фораминиферы. Слои с комплексами фораминифер тавдинской свиты Западной Сибири характеризуют зону *Cibicidoides pseudoungerianus*, *Evolutononion decoratum*, в составе комплекса которой присутствуют единичные секреционно-известковые формы в основном бентосных раковин, а среди последних, кроме видов-индексов, определены таксоны родов *Cibicides*, *Nonionellina*, *Bulimina* и др.

В некоторых разрезах обнаружены планктонные формы, количество экземпляров которых увеличивается с продвижением к югу. Возраст тавдинской свиты датирован рюпельским веком [15–17] (см. рисунок).

В нижележащих пограничных отложениях нюрольской свиты одноименного горизонта (лю-

линворский надгоризонт) прослежены единичные агглютированные кварцево-кремнистые пиритизированные формы родов *Reophax*, *Labrospira*, *Amotomarginulina* и др. Виды фораминифер, подобные западносибирским из тавдинской свиты, обнаружены в стратотипе рюпельского яруса Бельгии. Образцы из этого стратотипа отобраны автором во время полевой экскурсии на симпозиуме по палеогену (25–30 августа 2003 г., Левен, Бельгия).

Бельгийский комплекс обнаружен в темно-серых и серых глинах формации Боом. Они отличаются от западносибирской тавдинской свиты содержанием большей примеси алевритового материала, без пятен ожелезнения и почти не расслаиваются при выветривании. Сравнимые комплексы незначительно различаются по видовому составу и количественному содержанию. Общими и характерными видами в обоих регионах, по определению В. М. Подобиной, являются *Cibicidoides pseudoungerianus* (Cushman), *Evolutononion decoratum* (Cushman et McGlamery), *Nonionellina oligocenica* (Cushman et McGlamery) и виды рода *Globigerina*: *G. ouachitaensis* Howe et Wallace, *G. juvenilis* (Bolli), *G. officinalis* Subbotina *praesentata* Podobina, *G. ampliapertura* Bolli, *G. angustiumbilitata* Bolli. Эльфидииды и булимиды в бельгийском рюпеле не обнаружены [15, 17] (табл. I, II).

Нижележащий комплекс агглютированных фораминифер (нижние слои формации Боом) с раковинами почти белого цвета встречен в образце из карьера Бельгии: виды *Rhabdammina cylindrica* Glaessner, *Ammodiscus* sp. indet., *Haplophragmoides*

Отдел	Подотдел	Ярус	Западно-сибирский горизонт	Западная Сибирь [15] (зоны и слои)	Северная Европа [27] (зоны)			Атлантический океан [35] (зоны)	
					Планктонные фораминиферы	Нанопланктон			
Олигоцен	Средний	Рюпельский	Тавдинский	Бентосные фораминиферы	Планктонные фораминиферы		Нанопланктон	Планктонные фораминиферы	
				<i>Cibicidoides pseudoungerianus</i> , <i>Evolutononion decoratum</i> ⊗ ₁	<i>Globigerina ampliapertura</i> , <i>G. selli</i>	P20 P19	<i>Sphenolithus predistentus</i> , <i>Helicopontosphaera reticulata</i>	NP23 NP22	<i>Globigerina ampliapertura</i>
	Нижний	Латдорфский	I	Перерыв в осадконакоплении	<i>Globigerina tapuriensis</i>	P18	<i>Cocolithus (Ericsonia?) subdistichus</i>	NP21	<i>Globigerina selli</i> , <i>G. tapuriensis</i>
Слои с <i>Reophax</i>				Местами отсутствует латдорфский ярус			⊗ ₃		
Эоцен	Верхний	Приабонский	Нюрольский	<i>Labrospira honesta</i> ⊗ ₂	<i>Globigerina gortanii</i> , <i>Turborotalia centralis</i>	P17	<i>Sphenolithus pseudoradians</i>	NP20	<i>Globigerina turritilina</i> , <i>Turborotalia centralis</i>

⊗₁ – среди видов планктонных фораминифер есть *Globigerina ampliapertura*
 ⊗₂ – присутствует вид *Globigerina officinalis* Subbotina
 ⊗₃ – примечание В.М. Подобиной

Схема зональной корреляции пограничных эоцен-олигоценовых отложений Западной Сибири, Северной Европы и Атлантического океана

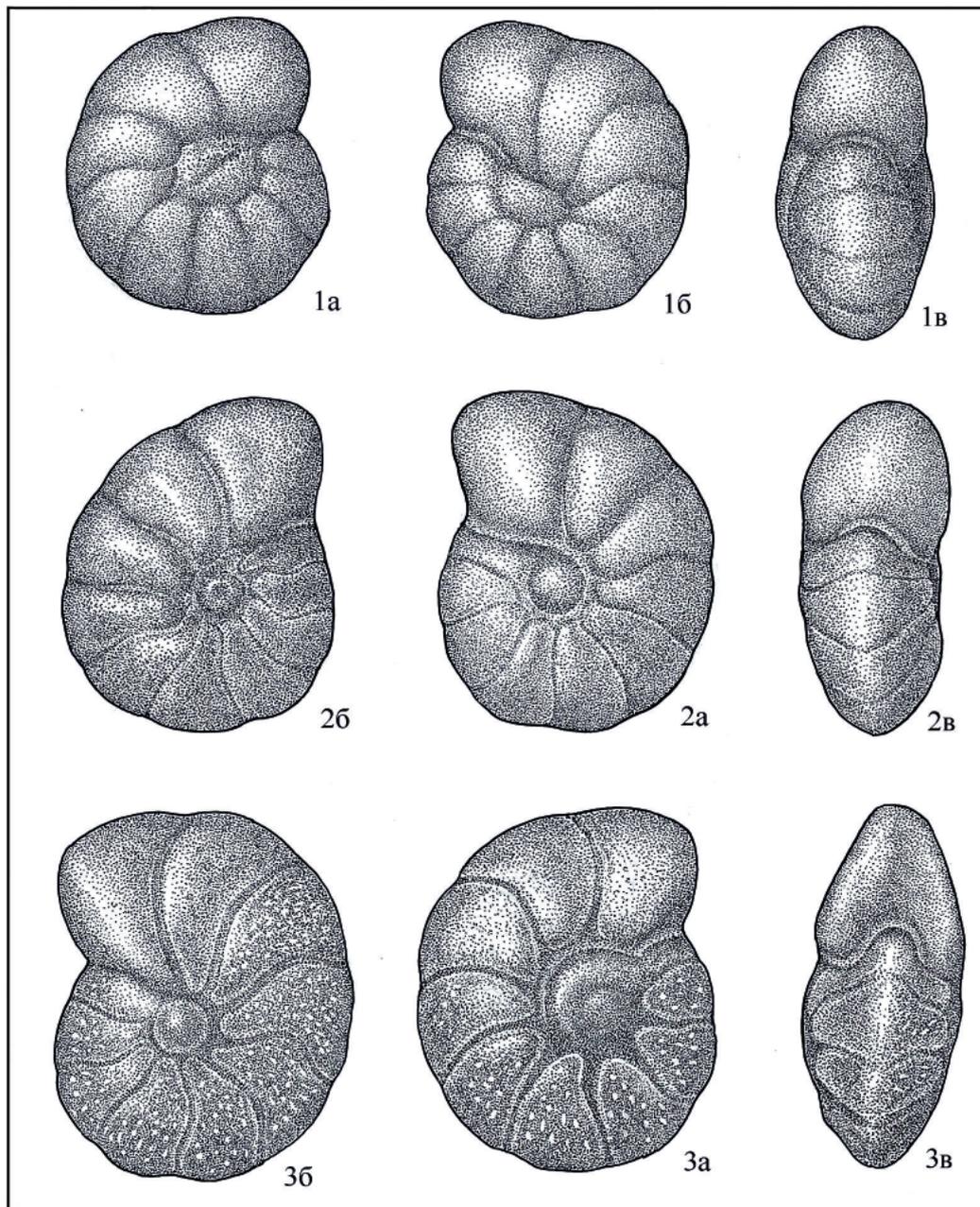


Таблица I

Западная Сибирь; вид со стороны: а – спинной, б – брюшной, в – устья

Фиг. 1, 2. *Evolutononion decoratum* (Cushman et McGlamery) (Томская область, меридиональное течение р. Васюган (Западная партия), скв. 3, тавдинский горизонт, средний олигоцен, рюпельский ярус): 1 – экз. № 1834, гл. 343,0 м, $\times 80$; 2 – экз. № 1836, гл. 299,0 м, $\times 80$

Фиг. 3. *Cibicidoides pseudoungerianus* (Cushman): экз. № 1823; Омская область, Тарский профиль, скв. 46-к, гл. 204,0 м; тавдинский горизонт, средний олигоцен, рюпельский ярус; $\times 100$

rotundidorsatum Hantken, *Ammomarginulina kiewensis* (Kaptarenko), *Textularia* sp. и др. Данный комплекс сходен с таковым агглютинированных фораминифер, установленным в самых низах олигоцена Причерноморской впадины [8]. По-видимому, это раннеолигоценовый комплекс, широко распространенный в Европе, и на данном стратиграфическом уровне он, видимо, местами встречается в Западной Сибири (самые верхние слои нюрольской свиты) и других регионах.

В Северной Европе (Нидерланды) установлена фораминиферная (возможно, рюпельская) зона

Cibicides (= *Cibicidoides*) *ungerianus* (= *pseudoungerianus*), *Rotaliatina bulimoides* [33]. Видовой состав комплекса сходен по находкам представителей родов *Nonionellina*, *Cibicides*, *Cibicidoides* и др. с таковыми из Западной Сибири и Бельгии. Однако олигоценовый (рюпельский) комплекс из Нидерландов отличается присутствием видов *Bulimina alsatica* Cushman et Parker, *Rotaliatina bulimoides* (Reuss), *Trifarina gracialis* (Reuss) и др. Находки булиминид указывают на более глубоководные условия существования, по-видимому, в пределах глубин, соответствующих внутренней части современного шельфа.

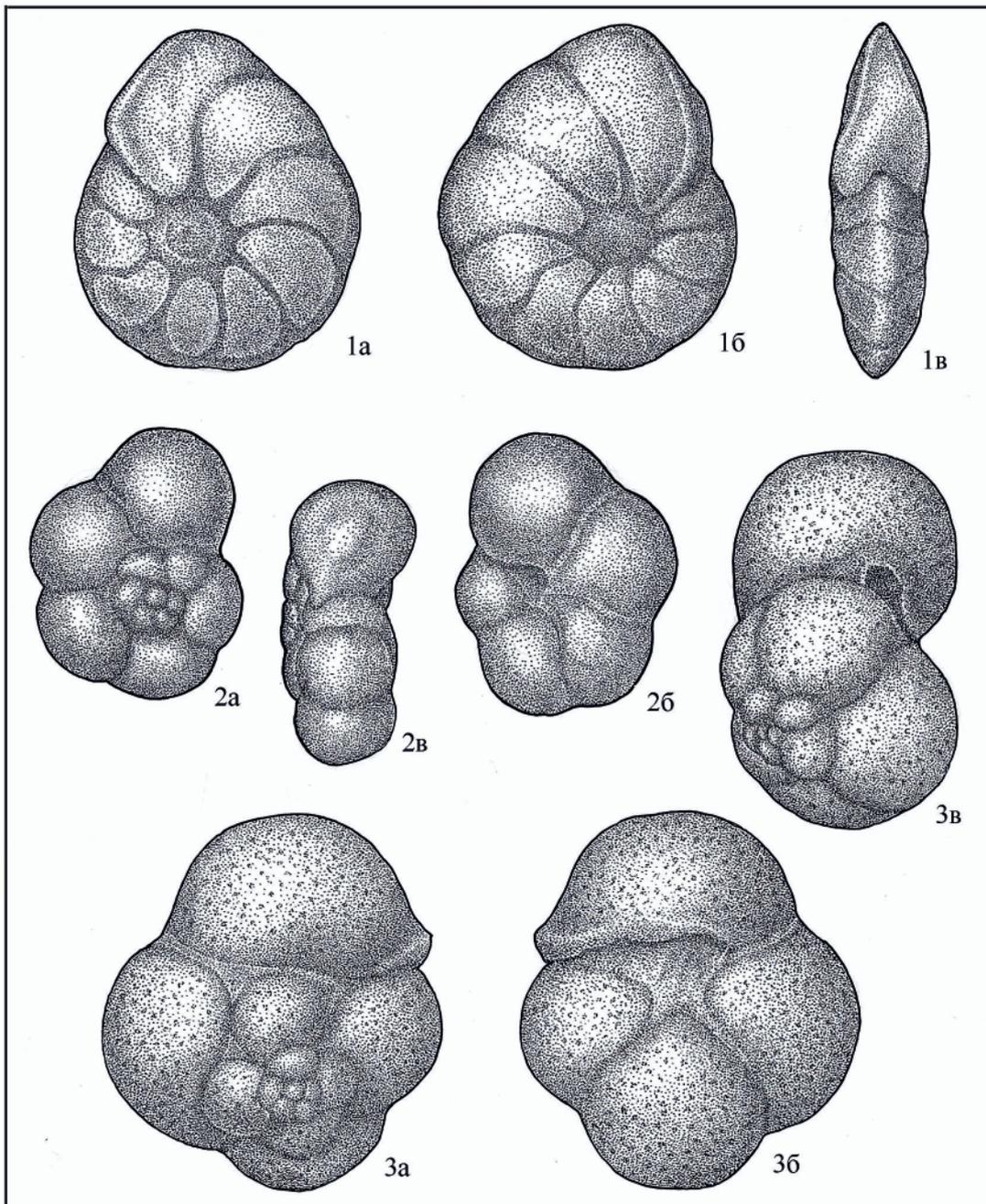


Таблица II

Западная Сибирь; вид со стороны: а – спинной, б – брюшной, в – устья

Фиг. 1. *Cibicidoides pseudoungerianus* (Cushman): экз. № 1877; Томская область, меридиональное течение р. Васюган (Западная партия); скв. 1, гл. 285,0 м; тавдинский горизонт, рюпельский ярус; $\times 60$

Фиг. 2. *Paragloborotalia postcretacea* (Mjatliuk): экз. № 1258; Томская область, бассейн р. Чижанка, скв. 13-к, гл. 293,0 м; тавдинский горизонт, рюпельский ярус; $\times 60$

Фиг. 3. *Globigerina ampliapertura* Bolli: экз. № 1260; Омская область, с. Петухово, скв. 4-к, гл. 101,1–94,8 м; тавдинский горизонт, рюпельский ярус; $\times 60$

Сходный с западносибирским комплекс обнаружен в среднем олигоцене Польши [38]. Он довольно разнообразен, представлен 74 видами, из них 12 – планктонные формы. Присутствие *Globigerina officinalis* Subbotina (= *G. officinalis praesentata* Podobina) и *G. turritina* Blow et Banner (= *G. ouachitaensis* Howe et Wallace *gnaucki* Blow et Banner), по мнению польских исследователей, ука-

зывает на раннерюпельский возраст вмещающих пород, как и обнаруженный здесь вид *Globigerina angustiumbilitata* Bolli.

Важно отметить присутствие в олигоцене Северных Карпат вида *Globigerina (Paragloborotalia) postcretacea* Mjatliuk [12]. Подобный вид установлен В. М. Подобиной [17, 19] в тавдинской свите Западной Сибири. Он же, но под названием

Globorotalia gemma Jenkins, известен в олигоцене Новой Зеландии [34]. Д. Дженкинс считал, что новозеландский вид по морфологии немного отличается от впервые установленного Е. В. Мятлюк [12] вида *Paragloborotalia postcretacea* (Mjatljuk) в олигоцене Северных Карпат. Позднее подобный вид под названием *Globorotalia gemma* Jenkins выделен в олигоцене Атлантического океана юго-западнее Африки [35]. По мнению В. М. Подобиной [17, 19], вид *Paragloborotalia postcretacea* (Mjatljuk) типичен для среднего олигоцена многих регионов мира, в том числе Западной Сибири, а *Globorotalia* (*Paragloborotalia*) *gemma* Jenkins, по-видимому, – его младший синоним.

В олигоцене платформенной части Украины (юго-запад Восточно-Европейской платформы) известны характерные виды фораминифер, прослеженные в стратотипе рюпеля Бельгии и в тавдинской свите Западной Сибири: *Spiroplectamina carinata* (Orb.) (= *S. attenuata* Reuss), *Cibicidoides pseudoungerianus* (Cushman), *Cibicides oligocenicus* Samoilova (= *C. borislavensis* Aisenstat), *Globigerina bulloides* Orbnigny (= *G. officinalis* Subbotina *praesentata* Podobina), *Sphaeroidina variabilis* Reuss и др. [1].

Алабамский олигоценый комплекс (США) отличается от евроазиатских значительным видовым разнообразием [31]. Однако общие элементы между ними прослеживаются по присутствию сходных видов родов *Nonionellina*, *Nonion* (*Evolutononion*), *Elphidium*, *Elphidiella* и др. По наличию последних можно предположить, что фораминиферы (возможно, среднеолигоценые) в обоих регионах обитали в сравнительно мелководном и немного опресненном бассейне. Подобное видовое разнообразие (преимущественно отряд *Rotaliida*) наблюдается и в канадских ранне- и среднеолигоценых комплексах [37].

Большое значение имеют находки в Западной Сибири вида *Globigerina ampliapertura* Bolli ранее известной одноименной среднеолигоценной зоны. Этот вид впервые установлен Г. Болли в низах олигоцена о. Тринидад [30]. Он же по присутствию этого вида выделил одноименную среднеолигоценую зону. Находки вида *G. ampliapertura* Bolli в тавдинской свите указывают на подобную зону олигоцена (рюпельского яруса). Кроме того, Г. Болли впервые определил вид *Globigerina juvenilis* Bolli. Несколько отличающийся от него подвид *G. officinalis* Subbotina *praesentata* Podobina обнаружен В. М. Подобиной [17, 19] совместно с *Globigerina ampliapertura* Bolli в тавдинской свите.

Следовательно, многие из видов планктонных фораминифер среднего олигоцена известны в разновозрастных отложениях Бельгии, Польши, Прикарпатья, о. Тринидад, США, Атлантики и Западной Сибири: *Globigerina ampliapertura* Bolli, *G. ouachitaensis* Howe et Wallace, *G. ouachitaensis gnaucki* Blow et Banner, *G. angustumillicata* Bolli, *G. brevispira* Subbotina, *G. praebulloides* Blow et Banner, *G. prasaepis* Blow.

У. Б. Харленд, А. В. Кокс и др. [27] выделили в Северной Европе нижнюю зону с одним видом-индексом – *Globigerina tapuriensis* (P18; NP21). Выше лежащую зону *G. selli* они объединили с *G. ampliapertura* (P19, P20; NP22, NP23) рюпельского возраста (NP – зоны нанопланктона).

В южной части Атлантического океана (близ юго-западного побережья Африки) в разрезе скв. 69А обнаружены все зоны олигоценых планктонных фораминифер [35]. Зоны *Globigerina tapuriensis* и *G. selli* авторы указанной публикации рассматривают как нижний олигоцен. Выше в этом разрезе установлена зона среднего олигоцена *Globigerina ampliapertura*. Первая зона соответствует латдорфскому ярусу олигоцена, вторая – рюпельскому. Систематический состав в них почти одинаков. Однако в комплексе с *Globigerina ampliapertura* отсутствуют виды-индексы нижней зоны.

В обобщающей сводке [31] по планктонным фораминиферам олигоцена о. Тринидад и Восточной Венесуэлы (по которой указана нижняя зона) приведены зоны по этим организмам (снизу вверх): *Cassiglobigerina chipolensis*, *Pseudohastigerina micra* (нижний олигоцен); *Globigerina ampliapertura*, *G. optima optima* (средний олигоцен), *Globigerina ciperoensis ciperoensis*, *G. kugleri* (верхний олигоцен). При сравнении со схемой в работах В. М. Подобиной [15, 17] можно отметить, что зона *Globigerina ampliapertura*, *G. optima optima* [31] имеет рюпельский возраст и в Западной Сибири соответствует слоям с подобным комплексом планктонных фораминифер, а также зоне бентосных фораминифер *Cibicidoides pseudoungerianus*, *Evolutononion decoratum*, распространенных южнее широтного течения р. Обь.

Западносибирская зона *Cibicidoides pseudoungerianus*, *Evolutononion decoratum* по возрасту соответствует в стратотипе рюпельской зоне Бельгии и является почти одновозрастной с рюпельской зоной *Globigerina ampliapertura* о. Тринидад и других регионов [15, 17].

Проблема латдорфского яруса

В Западной Сибири имеются данные (по фораминиферам и некоторым геологическим событиям) в пользу восстановления латдорфского яруса в качестве самостоятельного подразделения нижнего олигоцена, к которому относится зона планктонных фораминифер *Globigerina officinalis*, *G. tapuriensis*, соответствующая по нанопланктону зоне *Ericsonia subdisticha* (NP21 – низы NP22) [21].

Как известно, нижний олигоцен (латдорфский ярус) впервые был установлен в 1950-х гг. Е. Берихом в Северной Германии. Далее в типовых разрезах отложений подразделения, выделенного в латдорфский ярус, была обнаружена не только раннеолигоценая, но также (ниже) поздне- и среднеолигоценая фауна моллюсков. Значение латдорфского яруса как стратиграфической единицы общей и международной шкалы было утрачено.



Впоследствии существенные данные для установления нижней границы олигоцена и утверждения латдорфского яруса получены немецкими исследователями Е. Мартини и З. Рицковски [36] по нанопланктону (кокколитофоридам) в его стратотипической местности.

На основании изучения западносибирских секретионных известковых планктонных и бентосных фораминифер, их сопоставления с европейскими, атлантическими и американскими видами автор пришла к выводу о соответствии тавдинской свиты (горизонта) рюпельскому ярусу среднего олигоцена.

По представлению автора и других указанных исследователей, известная зона планктонных фораминифер *Globigerina ampliapertura* (P19) и зоны по нанопланктону (NP22 низы, NP23) относятся к рюпельскому ярусу среднего олигоцена.

Зонам *G. tapuriensis* и *G. ampliapertura* нижнего и среднего олигоцена (латдорфский и рюпельский ярусы) в унифицированной региональной стратиграфической схеме [23], по-видимому, соответствует одна зона планктонных фораминифер *Globigerina tapuriensis*, *G. officinalis*, что, по мнению В. М. Подобиной, нереально. К среднеолигоценовой зоне *G. ampliapertura* правильнее присоединить зону *G. selli*, как это сделали У. Б. Харленд, А. В. Кокс и др. [27].

По американской шкале планктонных фораминифер [29] зоне P18, ранее считавшейся латдорфской, соответствует рюпельская зона *Turborotalia cerroazulensis*, *Pseudohastigerina* sp. и зона *P. naguewichiensis* [28], а по кокколитах – большая часть зоны NP21 и низы NP22.

Латдорфский ярус в Западной Сибири, кроме, возможно, самых нижних редко сохранившихся слоев в верхах нюрольской свиты (горизонта), выпадает из разреза. Его время, по-видимому, соответствует перерыву в осадконакоплении. Вероятно, уже с конца осадконакопления нюрольской свиты (горизонта) начались восходящие тектонические движения второй фазы альпийского тектогенеза, в результате которых отложения нижнего олигоцена в разрезе почти отсутствуют. Предположительно, подобное явление происходило и в некоторых других северных регионах Евразии. Из-за подъема этих регионов в результате восходящих тектонических движений латдорфский ярус обнаружен местами, в частности в стратотипической местности Германии. Более надежно латдорфский ярус или его фораминиферная зона (*G. tapuriensis*) установлен в непрерывном разрезе палеогена юго-восточной части Атлантического океана [35].

Необходимо отметить отсутствие радиолярий в олигоцене во всех регионах Европы, в том числе и в тавдинской свите Западной Сибири. Р. Х. Липман в своей обобщающей работе также показала отсутствие радиолярий в олигоцене по многим регионам России [10]. Это указывает на значительные события, связанные с тектоническими движениями

второй фазы альпийского тектогенеза, структурными перестройками, подъемом территории северных регионов и резким изменением условий обитания организмов, в том числе и в тавдинском бассейне.

Следует отметить также, что выпадение латдорфского яруса из многих разрезов в северных регионах Европы и Западной Сибири связано с их подъемом в это время. В южных регионах (юг Европы, Крым, Средняя Азия и др.), наоборот, прослеживается нижний олигоцен, а также вышележащие средний и верхний подотделы и их зоны планктонных фораминифер [3, 5–7, 22, 26].

В. М. Подобина считает, что зона P18 соответствует латдорфскому ярусу, а не рюпельскому. Вышележащая зона планктонных фораминифер *Globigerina ampliapertura* [28, 29] (в объеме рода *Turborotalia*) во всех схемах, как принято и по решению МСК [21], соответствует рюпельскому ярусу нижнего олигоцена. По В. М. Подобиной, это зона рюпельского яруса, но не нижнего, а среднего олигоцена. Нижний олигоцен, по мнению автора, – упраздненный латдорфский ярус, который, учитывая все приведенные доказательства, целесообразнее восстановить в разрезе нижнего олигоцена.

Таким образом, сведения по находкам планктонных, бентосных секреторионно-известковых фораминифер тавдинского горизонта, сопоставление последних с подобными комплексами нижних зон олигоцена Атлантического океана, Европы, США, общее представление об изменении физико-географических условий на границе нюрольского и тавдинского горизонтов дают основание считать возраст отложений последнего среднеолигоценовым. Следовательно, границу между эоценом и олигоценом в Западной Сибири целесообразнее провести между нюрольским и тавдинским горизонтами, а не внутри или по кровле тавдинского горизонта.

Выводы

Исследования фораминифер из тавдинской свиты (горизонта) Западной Сибири показали их сходство с таковыми из рюпельского яруса (среднего олигоцена) многих провинций мира, включая Европу, США, Атлантику и др. Однако неясно положение латдорфского яруса, который исключен из известных стратиграфических шкал. Этому ярусу, выпадающему из стратиграфического разреза Западной Сибири, в других провинциях мира соответствуют зоны планктонных фораминифер, относимые к нижнему подотделу олигоцена.

Тавдинскую свиту, включающую зону с комплексом фораминифер *Cibicidoides pseudoungerianus*, *Evolutononium decoratum*, автор датирует средним олигоценом (рюпельским веком). Основанием для этого послужили находки характерных среднеолигоценовых бентосных и планктонных фораминифер, широко распространенных в пределах Европы, Атлантики и юго-восточной части США. В образцах из формации Боом (стратотип рюпеля, Бельгия),



отобранных автором, обнаружены фораминиферы, сходные с таковыми из тавдинской свиты. Подтверждением олигоценного возраста послужили также геодинамические и палеобиогеографические исследования автора, благодаря которым в Западно-Сибирской провинции и всей Арктической области на протяжении палеогена выделены две стадии в развитии фораминифер [15, 17].

Установление границы эоцена и олигоцена (между нюрольской и тавдинской свитами одноименных горизонтов) в Западно-Сибирской провинции основано не только на изучении фораминифер, но и на геологических данных, опубликованных работах, подтверждающих существование перерыва в осадконакоплении, время которого соответствует, по мнению автора, латдорфскому веку.

В Южной Европе, США, Атлантике нижний олигоцен прослеживается в виде соответствующих ему нижнеолигоценных (латдорфских) фораминиферозных зон.

Следовательно, латдорфский ярус целесообразно восстановить в нижнем олигоцене, переместив при этом рюпельский ярус на его прежнее место (средний олигоцен) в стратиграфических схемах палеогена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Атлас** характерных фораминифер юры, мела и палеогена платформенной части Украины / О. К. Каптаренко-Черноусова, Л. М. Голяк, Б. Ф. Зернецкий и др. – Киев: Изд-во АН УССР, 1963. – С. 115–180, 19 палеонт. табл. – (Тр. ИГН АН УССР. Сер. стратиграфии и палеонтологии; вып. 45).
2. **Балахматова В. Т., Липман Р. Х., Романова В. И.** Характерные фораминиферы мела и палеогена Западно-Сибирской низменности // Матер. ВСЕГЕИ. Нов. сер. Палеонтология и стратиграфия. Вып. 2. – М.: Гостоптехиздат, 1955. – С. 65–106.
3. **Бугрова Э. М.** Биостратиграфические подразделения палеогена и неогена по фораминиферам // Практическое руководство по микрофауне. Т. 8. Фораминиферы кайнозоя. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2005. – С. 38–45.
4. **Булатова З. И., Войцель З. А.** Стратиграфия мезозоя и кайнозоя Западно-Сибирской низменности. – М.: Гостоптехиздат, 1957. – 148 с.
5. **Бурштар М. С., Никитина Ю. П., Швембергер Ю. Н.** Стратиграфия и условия формирования верхнеэоценовых и майкопских отложений Северного Ставрополя и Сало-Маньчского междуречья // Материалы по геологии и нефтегазоносности юга СССР / под ред. М. С. Бурштара. – М.: Госгеолтехиздат, 1963. – С. 89–104. – (Тр. ВНИГРИ; вып. 38).
6. **Быкова Н. К.** Зональное расчленение по фораминиферам майкопских отложений глубокой опорной Карауданской скв. б юго-востока Мангышлака // Микрофауна и биостратиграфия фанерозоя нефтегазоносных районов СССР. – Л.: ВНИГРИ, 1980. – С. 139–156.
7. **Вялов О. С., Ильина А. П.** О некоторых важных двухстворчатых моллюсках олигоцена и нижнего миоцена юга СССР // Палеонтологический сборник, № 10. – Львов: Изд-во ун-та, 1974. – С. 44–49.
8. **Каптаренко-Черноусова О. К., Липник Е. С.** Про нижньоолігоценовий горизонт низаних форамініфер Причорноморської западини // Геол. журн. Акад. наук УССР. – 1953. – Т. 13, вып. 1. – С. 51–62.
9. **Лаухин С. А., Кулькова И. А.** К проблеме границы эоцена и олигоцена в центральных районах Сибири // Палеоген и неоген Сибири. – Новосибирск: Наука, 1978. – С. 74–81.
10. **Липман Р. Х.** Значение радиолярий для зональной шкалы палеогена юга СССР // Планктон и органический мир пелагиали в истории Земли: тр. XIX сес. ВПО. – Л.: Наука, 1979. – С. 69–86.
11. **Липман Р. Х., Буртман Е. С., Хохлова И. А.** Стратиграфия и фауна палеогеновых отложений Западно-Сибирской низменности // Тр. ВСЕГЕИ. Нов. сер. – 1960. – Т. 28. – 230 с.
12. **Мятлюк Е. В.** Стратиграфия флишевых осадков северных Карпат в свете данных фауны фораминифер // Микрофауна СССР. Сб. 4. Нов. сер. – М., 1950. – С. 225–287, 4 палеонт. табл. – (Тр. ВНИГРИ; вып. 51).
13. **Никитин В. П.** Флора и растительность Западной Сибири в позднем палеогене и неогене // Палеоген и неоген Сибири (Палеонтология и стратиграфия). – Новосибирск: Наука, 1978. – С. 68–73.
14. **Новые** данные по морскому палеогену Западно-Сибирской плиты. Ст. 2 / М. А. Ахметьев, Т. Н. Александрова, В. Н. Беньямовский и др. // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2004. – Т. 12, № 5. – С. 65–86.
15. **Подобина В. М.** Биостратиграфия и фораминиферы палеогена Западной Сибири. – Томск: Издательский дом ТГУ, 2020. – 276 с.
16. **Подобина В. М.** Скрытые перерывы в стратиграфии палеогена Западной Сибири // Геосферные исследования. – 2021. – № 1. – С. 61–73.
17. **Подобина В. М.** Фораминиферы, биостратиграфия верхнего мела и палеогена Западной Сибири. – Томск: ТГУ, 2009. – 432 с.
18. **Подобина В. М.** Фораминиферы верхнего мела и палеогена Западно-Сибирской низменности, их значение для стратиграфии. – Томск: Изд-во ун-та, 1975. – 163 с., 40 палеонт. табл.
19. **Подобина В. М.** Фораминиферы и биостратиграфия палеогена Западной Сибири. – Томск: НТЛ, 1998. – 338 с.
20. **Практическое** руководство по микрофауне. Т. 8. Фораминиферы кайнозоя / ред. Э. М. Бугрова. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2005. – 323 с.
21. **Решение** XVI пленарного заседания МСК по палеогеновой системе. – Л.: Недра, 1999. – 6 с.
22. **Самойлова Р. Б.** О некоторых новых и характерных видах фораминифер из верхнего палеогена Крыма // Бюл. МОИП. – 1947. – Т. 22, № 4. – С. 77–101.



23. **Унифицированная** региональная стратиграфическая схема палеогеновых и неогеновых отложений Западно-Сибирской равнины. Принята на Межвед. регион. стратигр. совещ. 28.09.2000 г. Утв. МСК России 02.02.2001 г. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2001.

24. **Фораминиферы** меловых и палеогеновых отложений Западно-Сибирской низменности / под ред. Н. Н. Субботиной. – Л.: Недра, 1964. – 456 с.

25. **Фрейман Е. В.** Планктонные фораминиферы раннего олигоцена на юге Западно-Сибирской низменности // Материалы по стратиграфии и палеонтологии Сибири. – Новосибирск, 1969. – С. 142–145. – (Тр. СНИИГГиМС; вып. 84).

26. **Халилов Д. М.** О фауне фораминифер и расчленении олигоценовых отложений северо-восточного предгорья Малого Кавказа // Изв. АН АзССР. – 1951. – № 3. – С. 43–61.

27. **Шкала** геологического времени / ред. В. В. Меннер. – М.: Мир, 1985. – 140 с.

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

29. **Berggren W. A., Kent D. V., Aubry M. P.** Geochronology, time scales and Global stratigraphic correlation // *Publ. Society for Sedimentary Geology. Ill. Cenozoic Era*, 1995. – P. 129–212.

30. **Bolli H. M.** Planktonic foraminifera from the Oligocene–Miocene Cipero and Lengua Formations of Trinidad, B.W.I. // *Bull. United States National Museum*. – 1957. – Vol. 215. – P. 97–121.

31. **Bolli H. M., Saunders J. B.** Oligocene to Holocene low latitude planktonic foraminifera // *Plankton Stratigraphy. Vol. 1. Planktic foraminifera, calcareous nannofossils and calpionellids*. – Cambridge: University Press, 1985. – P. 155–262.

32. **Cushman J. A., McGlamery W.** Oligocene Foraminifera near Millry, Alabama // *Geological Survey*. – 1942. – Vol. 197-B. – P. 63–83.

33. **Doppert J. W., Neele N. G.** Biostratigraphy of marine Paleogene deposits in the Netherlands and adjacent areas // *Geological Survey of the Netherlands*. – 1983. – Vol. 37(2). – 79 p.

34. **Jenkins D. G.** Planktonic Foraminifera and Tertiary intercontinental correlation // *Micropaleontology*. – 1965. – Vol. 11, no. 3. – P. 265–277.

35. **Krashennikov V. A., Pflaumann U.** Zonal stratigraphy and planktonic foraminifera of Paleogene of the Atlantic Ocean to the West Africa (Deep Sea Drilling Project). Leg 41. – Washington, 1977. – P. 581–611.

36. **Martini E., Ritzkowski S.** Die Grenze Eozan – Oligozan in der Typus Region des Unter-Oligozans (Helmstedt, Egel, Latdorf) // *Mem. Bur. rech. géol. et minières*. – 1969. – No. 69. – S. 233–237.

37. **McNeil D. H.** Tertiary Marine Events of the Beaufort – Mackenzie Basin and Correlation of Oligocene to Pliocene Marine Outcrops in Arctic North America // *J. Arctic Institute North America*. – 1990. – Vol. 43, no. 4. – P. 301–313.

38. **Odrzywolska-Bienkowska E., Pozaryska K., Martini E.** Middle Oligocene microfossils from the Polish Lowlands: their stratigraphical and paleogeographical significance // *Acta Palaeontol. Polonica*. – Warszawa, 1978. – Vol. 23, no. 3. – P. 249–291.

REFERENCES

1. Kaptarenko-Chernousova O.K., Golyak L.M., Zernetsky B.F., et al. [Atlas of characteristic foraminifera of the Jurassic, Cretaceous and Paleogene of the platform part of Ukraine]. *Trudy IGN AN USSR. Seriya stratigrafii i paleontologii*. Kiev, AN USSR Publ., 1963, issue 45. 203 p. (In Russ.).

2. Balakhmatova V.T., Lipman R.Kh., Romanova V.I. [Characteristic foraminifera of the Cretaceous and Paleogene of the West Siberian Lowland]. *Materialy VSEGEI. Novaya seriya. Paleontologiya i stratigrafiya* [Transactions of VSEGEI. New Series. Paleontology and Stratigraphy]. Moscow, Gostoptekhizdat Publ., 1955, issue 2, pp. 65–106. (In Russ.).

3. Bugrova E.M. [Biostratigraphical subdivisions of the Paleogene and Neogene by foraminifera]. *Prakticheskoye rukovodstvo po mikrofaune. T. 8. Foraminifery kaynozoya* [Practical Guide to Microfauna. Vol. 8. Cenozoic Foraminifera]. Saint Petersburg, VSEGEI Publ., 2005, pp. 38–45. (In Russ.).

4. Bulatova Z.I., Voytsel Z.A. *Stratigrafiya mezo-zoya i kaynozoya Zapadno-Sibirskoy nizmennosti* [Mesozoic and Cenozoic stratigraphy of the West Siberian Lowland]. Moscow, Gostoptekhizdat Publ., 1957. 148 p. (In Russ.).

5. Burshar M.S., Nikitina Yu.P., Shvemberger Yu.N. [Stratigraphy and conditions of formation of Upper Eocene and Maykopian deposits of the North Stavropol and Sala-Manycha interfluve]. *Materialy po geologii i neftegazonosnosti yuga SSSR* [Materials on geology and petroleum potential of the southern USSR]. Moscow, Gosgeoltekhizdat Publ., 1963, pp. 89–104. (In Russ.).

6. Bykova N.K. [Zonal breakdown by foraminifera of Maykopian deposits of the deep test Karaudanskaya 6 well in the south-east Mangyshlak]. *Mikrofauna i biostratigrafiya fanerozoya neftegazonosnykh rayonov SSSR* [Microfauna and biostratigraphy of the Phanerozoic in petroleum regions of the USSR]. Leningrad, 1980, pp. 139–156. (In Russ.).

7. Vyalov O.S., Ilyina A.P. [About some important bivalve mollusks of the Oligocene and Lower Miocene of the South of the USSR]. *Paleontologicheskii sbornik – Paleontological Collection*. Lvov, State University Publ., 1974, no. 10, pp. 44–49. (In Russ.).

8. Kaptarenko-Chernousova O.K., Lipnik E.S. [About the Lower Oligocene Horizon of lower foraminifera of the Black Sea Depression]. *Geologicheskii zhurnal AN SSSR*, 1953, vol. 13, issue 1, pp. 51–62. (In Russ.).

9. Laukhin S.A., Kulkova I.A. [To the problem of the Eocene and Oligocene boundaries in central regions of Siberia]. *Paleogen i neogen Sibiri* [The Paleogene and

Neogene of Siberia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1978, pp. 74–81. (In Russ.).

10. Lipman R.Kh. [The value of radiolarias for the zonal Paleogene scale of the south of the USSR]. *Plankton i organicheskiy mir pelagiali v istorii Zemli. Trudy XIX sessii VPO* [Plankton and the organic world of pelagial in the history of Earth: Proceedings of the 19th session of the All-Russian Paleontological Society]. Leningrad, Nauka Publ., 1979, pp. 69–86. (In Russ.).

11. Lipman R.Kh., Burtman E.S., Khokhlova I.A. [Stratigraphy and fauna of Paleogene deposits of the West Siberian Lowland]. *Trudy VSEGEI. Novaya seriya* [Proceedings of VSEGEI. New series], 1960, vol. 28. 230 p. (In Russ.).

12. Myatlyuk E.V. [Stratigraphy of the flysch sediments of the Northern Carpathian Mountains in the light of the foraminiferal fauna]. *Mikrofauna SSSR. Sbornik 4. Trudy VNIGRI. Novaya seriya – Mikrofauna of the USSR. Collection 4. New series. Proceedings of the Oil Research Geological Institute*, 1950, issue 51, pp. 225–287, 4 pls. (In Russ.).

13. Nikitin V.P. [Flora and vegetation of Western Siberia in the Late Paleogene and Neogene]. *Paleogen i neogen Sibiri (Paleontologiya i stratigrafiya)* [The Paleogene and Neogene of Siberia (Paleontology and stratigraphy)]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1978, pp. 68–73. (In Russ.).

14. Akhmetiev M.A., Aleksandrova T.N., Benyamovsky, et al. [New data on the marine Paleogene of the southern West Siberian Plate. Paper 2]. *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya – Stratigraphy and Geological Correlation*, 2004, vol. 12, no. 5, pp. 65–86. (In Russ.).

15. Podobina V.M. *Biostratigrafiya i foraminifery paleogena Zapadnoy Sibiri* [Biostratigraphy and foraminifera of the Paleogene of Western Siberia]. Tomsk, Publishing House of Tomsk State University Publ., 2020. 276 p. (In Russ.).

16. Podobina V.M. [The latent interruptions in Paleogene stratigraphy of Western Siberia]. *Geosfernyye issledovaniya – Geosphere Research*, 2021, no. 1, pp. 61–73. (In Russ.).

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

18. Podobina V.M. *Foraminifery verkhnego mela i paleogena Zapadno-Sibirskoy nizmennosti, ikh znachenie dlya stratigrafii* [Foraminifera of the Upper Cretaceous and Paleogene of the West Siberian Lowland, their significance for stratigraphy]. Tomsk, State University Publ., 1975. 163 p., 40 pls. (In Russ.).

19. Podobina V.M. *Foraminifery i biostratigrafiya paleogena Zapadnoy Sibiri* [Foraminifera and biostratigraphy of the Paleogene of Western Siberia]. Tomsk, Nauchtechlitzdat Publ., 1998. 338 p. (In Russ.).

20. Bugrov E.M., ed. *Prakticheskoye rukovodstvo po mikrofaune. Tom 8. Foraminifery kaynozoya*

[Guidebook on microfauna. Volume 8. Cenozoic foraminifera]. Saint Petersburg, VSEGEI Publ., 2005. 323 p. (In Russ.).

21. *Resheniye XVI plenarnogo zasedaniya MSK po paleogenovoy sisteme* [Decision of the 16th plenary session of ISC on the Paleogene System]. Leningrad, Nedra Publ., 1999. 6 p. (In Russ.).

22. Samoylova R.B. [On some new and characteristic species of foraminifera from the Upper Paleogene of Crimea]. *Byulleten Moskovskogo Obshestva Ispytateley Prirody – Bulletin de la Société Impériale des Naturalistes de Moscou*, 1947, vol. 22, no. 4, pp. 77–101. (In Russ.).

23. *Unifitsirovannaya regionalnaya stratigraficheskaya skhema paleogenovykh i neogenovykh otlozheniy Zapadno-Sibirskoy ravniny (Karty)* [The Unified Regional Paleogene and Neogene Stratigraphic Chart of the West-Siberian plain (Maps)]. Novosibirsk, SNIIGGIMS Publ., 2001. 10 sheets. (In Russ.).

24. Subbotina N.N., ed. *Foraminifery melovykh i paleogenovykh otlozheniy Zapadno-Sibirskoy nizmennosti* [Foraminifera from Cretaceous and Paleogene sediments of the West Siberian Lowland]. Leningrad, Nedra Publ., 1964. 456 p. (In Russ.).

25. Freyman E.V. [Planktonic foraminifera of the Early Oligocene in the south of the West Siberian Lowland]. *Materialy po stratigrafii i paleologii Sibiri. Trudy SNIIGGIMS* [Materials on stratigraphy and paleontology of Siberia. Proceedings of SNIIGGIMS]. Novosibirsk, 1969, issue 84, pp. 142–145. (In Russ.).

26. Khalilov D.M. [About the fauna of foraminifera and the division of Oligocene deposits of the northeastern foothills of the Lesser Caucasus]. *Izvestiya AN AzSSR*, 1951, no. 3, pp. 43–61. (In Russ.).

27. Menner V.V., ed. *Shkala geologicheskogo vremeni* [Geological time scale]. Moscow, Mir Publ., 1985. 140 p. (In Russ.).

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

29. Berggren W.A., Kent D.V., Aubry M.P. Geochronology, time scales and Global stratigraphic correlation. *Publ. Society for Sedimentary Geology. III. Cenozoic Era*, 1995, pp. 129–212.

30. Bolli H.M. Planktonic foraminifera from the Oligocene–Miocene Cipero and Lengua Formations of Trinidad, B.W.I. *Bull. United States National Museum*, 1957, vol. 215, pp. 97–121.

31. Bolli H.M., Saunders J.B. Oligocene to Holocene low latitude planktonic foraminifera. *Plankton Stratigraphy. Vol. 1. Planktic foraminifera, calcareous nannofossils and calpionellids*. Cambridge, University Press, 1985, pp. 155–262.

32. Cushman J.A., McGlamery W. Oligocene Foraminifera near Millry, Alabama. *Geological Survey*, 1942, vol. 197-B, pp. 63–83.

33. Doppert J.W., Neele N.G. Biostratigraphy of marine Paleogene deposits in the Netherlands and



adjacent areas. *Geological Survey of the Netherlands*, 1983, vol. 37(2). 79 p.

34. Jenkins D.G. Planktonic Foraminifera and Tertiary intercontinental correlation. *Micropaleontology*, 1965, vol. 11, no. 3, pp. 265–277.

35. Krashennikov V.A., Pflaumann U. Zonal stratigraphy and planktonic foraminifera of Paleogene of the Atlantic Ocean to the West Africa (Deep Sea Drilling Project). Leg 41. Washington, 1977, pp. 581–611.

36. Martini E., Ritzkowski S. Die Grenze Eozan – Oligozan in der Typus Region des Unter-Oligozans (Helm-

stedt, Egel, Latdorf). *Mém. Bur. rech. géol. et minières*, 1969, no. 69, s. 233–237.

37. McNeil D.H. Tertiary Marine Events of the Beaufort – Mackenzie Basin and Correlation of Oligocene to Pliocene Marine Outcrops in Arctic North America. *J. Arctic Institute North America*, 1990, vol. 43, no. 4, pp. 301–313.

38. Odrzywolska-Bienkowska E., Pozaryska K., Martini E. Middle Oligocene microfossils from the Polish Lowlands: their stratigraphical and paleogeographical significance. *Acta Palaeontol. Polonica*. Warszawa, 1978, vol. 23, no. 3, pp. 249–291.

© В. М. Подобина, 2022



МЛЕКОПИТАЮЩИЕ ПОЗДНЕГО НЕОПЛЕЙСТОЦЕНА ПРЕДАЛТАЙСКОЙ РАВНИНЫ ПО МАТЕРИАЛАМ РАЗРЕЗА НОВОСУРТАЕВКА

Д. Г. Маликов¹, С. Е. Голованов^{1,2}

¹Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН; ²Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

Проведено изучение геологического строения и сбор остатков млекопитающих в разрезе Новосуртаевка. Полученные данные показали наличие двух местонахождений ископаемых млекопитающих. Первое местонахождение (Новосуртаевка 1) связано с русловым аллювием, отлагавшимся в среднекаргинское время (MIS 3) около 40550±650 кал. лет назад. К концу каргинского времени (30300±350 кал. лет назад) река, сформировавшая аллювиальную часть разреза Новосуртаевка, стала меандрировать, и в результате русловое осадконакопление сменилось пойменным. В этот период сформировалось местонахождение Новосуртаевка 2. Фауна первого местонахождения типична для среднего и позднего неоплейстоцена Предальтайской равнины. Для нее характерно совместное существование видов степных и лесостепных биотопов. Присутствие остатков лесных полевок в местонахождении, скорее всего, обусловлено развитием пойменных лесов в степной зоне и близостью к горному региону. Данные по малакофауне и растительности подтверждают развитие еловых лесов и пойменной растительности в окрестных территориях.

Ключевые слова: поздний неоплейстоцен, Предальтайская равнина, юг Западной Сибири, микротериофауна, млекопитающие.

MAMMALS OF THE LATE PLEISTOCENE OF THE PRE-ALTAI PLAIN BASED ON THE MATERIALS OF THE NOVOSURTAJEVKA SECTION

D. G. Malikov¹, S. E. Golovanov^{1,2}

¹V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia; ²Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

The paper deals with a performed study of geological structure and gathering of mammals remains in the Novosurtaevka section. New data showed the presence of two locations of fossil mammals in this section. One location is associated with a channel sand deposited in the Middle Kargian time (MIS 3) about 40550±650 y.a. By the end of the Kargian time (MIS 3) about 30300±350 y.a., the river began to meander, resulting in the replacement of the channel sedimentation by flood-plain one. During this period, the location of Novosurtaevka 2 was formed. The fauna of the Novosurtaevka 1 location is typical for the Middle and Late Pleistocene of the Pre-Altai Plain. The fauna is characterized by the co-existence of species of steppe and forest-steppe biotopes. The presence of remains of red-backed mice in the location is most likely determined by development of floodplain forests in steppe zone and proximity to the mountainous region. Data on malacofauna and vegetation confirm the development of spruce forests and floodplain vegetation in the surrounding areas.

Keywords: Late Neo-Pleistocene, Pre-Altai Plain, south of Western Siberia, microtheriofauna, mammals.

DOI 10.20403/2078-0575-2022-4-14-21

Юг Западной Сибири – важный регион для изучения эволюции сибирских экосистем в неогеновый и четвертичный периоды. Вопросами биостратиграфии плейстоцена этого региона занимались многие специалисты [4, 5, 14]. Наиболее важные и детальные данные получены по материалам микротериофауны. Более чем за 70 лет исследований удалось дать подробную биостратиграфическую характеристику почти всего нижнего плейстоцена (эоплейстоцен и гелазский ярус). Отложения неоплейстоцена Общей стратиграфической шкалы (соответствующие среднему и верхнему плейстоцену Международной стратиграфической шкалы) биостратиграфически охарактеризованы гораздо хуже. Традиционно фауны мелких млекопитающих неоплейстоцена Западной Сибири подразделяют на вяткинский комплекс (ранний неоплейстоцен) и фауну среднего–позднего неоплейстоцена [5, 14]. Также предпринимались попытки выделения

комплекса фауны для тобольского времени (начало среднего неоплейстоцена) по местонахождениям Татарка и Калманка, однако данный вопрос остается дискуссионным [5, 14].

При этом для среднего и позднего неоплейстоцена не выделено самостоятельных комплексов мелких млекопитающих, что обусловлено малым количеством материала с надежно установленным стратиграфическим положением. Кроме того, фауна указанного временного интервала представлена современными видами животных, что также затрудняет биостратиграфические построения.

Остатки мелких млекопитающих позднего неоплейстоцена региона в основном происходят из разрезов субаэрального (из ископаемых нор) и аллювиального генезиса. Возраст многих фаун установлен на основании ¹⁴C-датировок, полученных по ископаемому почвам, древесине или торфу [2, 7, 10], однако эти материалы в основном малочисленны



и должным образом не освещены в палеонтологической литературе.

В предлагаемой статье приводятся новые данные по фауне млекопитающих и возрасту отложений в известном разрезе Новосуртаевка (нижнее течение р. Иша, приток р. Катунь).

Материал и методы

Материал для исследования получен в ходе экспедиционных работ 2021 г. Для получения остатков микротериофауны выполнялась промывка вмещающих отложений на промывочных ситах с диаметром ячейки 0,5 мм. Весь полученный материал хранится в ИГМ СО РАН.

Радиоуглеродное датирование проводилось по костному коллагену в лаборатории геологии кайнозоя, палеоклиматологии и минералогических индикаторов климата ИГМ СО РАН по бензолно-сцинтилляционному методу (код СОАН) и в лаборатории 14CHRONO Centre for Climate, the Environment, and Chronology (Queen's University Belfast, UK) методом ускорительной масс-спектрометрии (код UBA). Радиоуглеродные даты были откалиброваны с использованием программы OxCal 4.4 (<https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal/OxCal.html>) и калибровочной кривой IntCal20 [17]. Все датировки указаны в радиоуглеродных годах, если это не оговорено отдельно (кал. л. н. – календарных лет назад).

В работе принята унифицированная региональная стратиграфическая схема четвертичных отложений Западно-Сибирской равнины [11]. Систематическое положение млекопитающих дано по [9].

При палеоэкологической оценке анализировались как данные по собранному материалу, так и ранее опубликованные сведения [1]. Для большей точности использовался биоклиматический дискриминантный анализ [16]. Вычисления проводились в среде программирования R посредством скрипта, представленного в работе [15]. Также для сравнения был рассчитан биоклиматический спектр с применением другой классификации климатических (или зонобиомных) зон по сравнению с оригинальным методом. Использовалась классификация из работы А. К. Марковой с соавторами [13], которая, по мнению авторов, способна более точно отразить ландшафтно-климатическую приуроченность мелких млекопитающих в западносибирском регионе. Так, например, в классификацию, которую применял профессор М. Фернандез, были включены такие маловероятные для Западной Сибири зоны, как тропические лиственные леса или саванны, при этом степные и пустынные зоны были объединены в одну. Принцип расчета биоклиматического спектра был сохранен.

Вначале определяется общее количество климатических зон, занятых видами, потом для каждого вида и климатической зоны, в которой этот вид обитает, вводится индекс климатических ограничений (ИКО). Данный индекс рассчитывается по

формуле $ИКО_i = 1/n$, где n – количество климатических зон, населенных видом, i – климатическая зона, в которой встречается вид. Сумма всех ИКО_{*i*} для каждого вида равна 1. После идет определение биоклиматического компонента (БК) по формуле $БК_i = (\sum ИКО_i)100/S$, где i – климатическая зона, а S – количество видов в данной местности или фаунистическом комплексе. БК_{*i*} отражает долю, которую климатическая зона занимает в биоклиматическом спектре фаунистического комплекса. Зоны с наибольшей долей характеризуют обстановку, в которой существовал фаунистический комплекс. При этом нужно учитывать, что наибольший процент других зон в биоклиматическом спектре не означает, что эти зоны действительно там были. Как правило, они привносятся в расчеты видами-эврибионтами и при общей оценке учитываться не должны. Таким образом, можно определить в какой ландшафтно-климатической обстановке существовал фаунистический комплекс.

Геолого-географическая характеристика местонахождений фауны

Разрез расположен на правом берегу р. Иша (правый приток р. Катунь), в 3 км выше устья (N 52°13'50.0", E 85°55'16.5"). Изучены отложения 20–25-метровой террасы р. Иша, сложенной преимущественно озерно-аллювиальными отложениями. Большинство авторов определяют эту террасу как II надпойменную [1, 2, 10, 12]. Разрез Новосуртаевка изучался многими исследователями, было описано геологическое строение разреза, приведены геохронометрические данные [10], палеозоологическая и палеоботаническая характеристики отложений [1, 2, 12]. Нами сделаны некоторые дополнения в имеющееся геологическое описание, проведен сбор остатков мелких и крупных млекопитающих и их ¹⁴C-датирование.

Подробная характеристика террасы дана В. А. Панычевым [10]; нами дополнено описание слоев 3 и 4 (сверху вниз):

1. Пески зеленовато-серые, крупнозернистые с прослоями галечников и отдельными валунами кристаллических пород, количество которых заметно увеличивается ближе к основанию слоя. Мощность 5,0 м.

2. Аллювиально-озерная толща, представляющая собой чередование прослоев грубозернистых песков с галькой, тонкозернистых песков, супесей, суглинков и глин. Мощность отдельных прослоев изменяется в пределах 20–80 см. Кровля толщи неровная, разбита морозобойными клиньями, выполненными вышележащими песками. Встречаются древесные остатки и целые стволы деревьев. Возраст толщи по ¹⁴C-датированию (получен по торфяникам) 17500±100 лет (СОАН-746) и 15850±680 лет (ЛГ-14) [6, 10]. Мощность 14,0 м.

3. Песчано-галечниковые отложения с линзами косонаслоенных глинистых, суглинистых по-

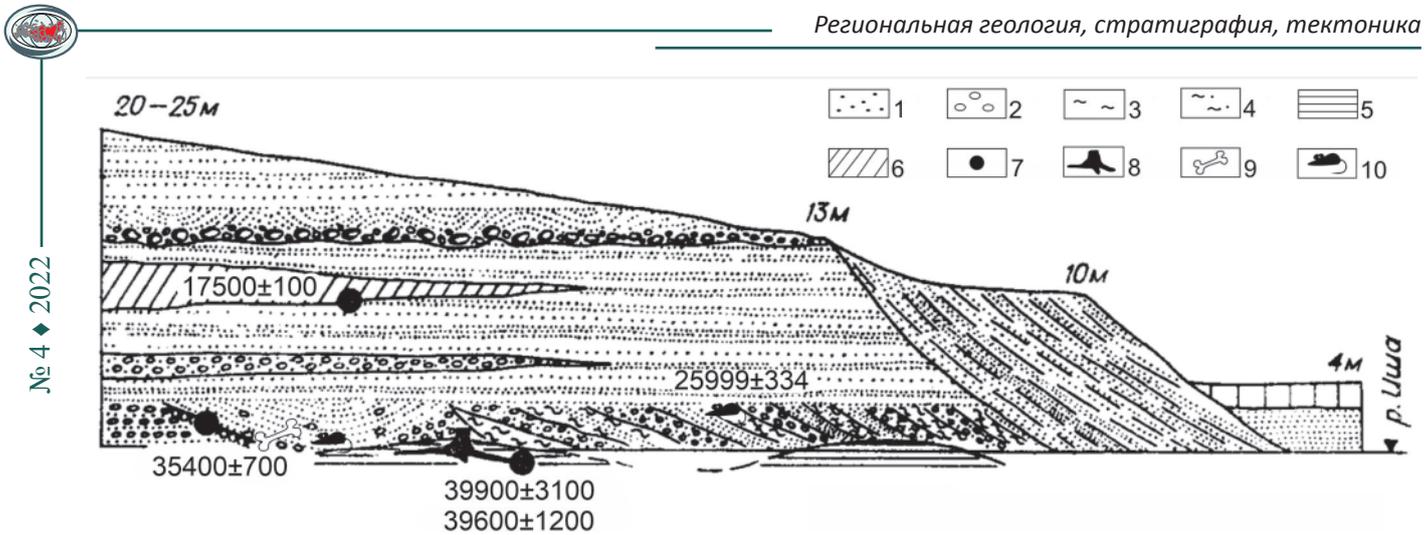


Рис. 1. Геологическое строение разреза Новосуртаевка по [12], с изменениями

1 – песок; 2 – галечник; 3 – алеврит; 4 – алеврит опесчаненный; 5 – глины; 6 – торфяники; 7 – точки отбора для ^{14}C -датировок; 8 – древесина; 9 – остатки крупных млекопитающих; 10 – остатки мелких млекопитающих

род и растительными остатками. Из этого аллювия собраны остатки мелких млекопитающих [1]. По пробе древесной трухи из аллювия имеется датировка 35400 ± 700 лет (СОАН-747). Мощность 4,0 м. Изучение разреза, проведенное авторами в 2021 г., показало, что этот слой имеет более сложное строение. Его аллювиальные отложения представлены переслаиванием крупнозернистого ожелезненного песка и гравия с гальками (до 10–15 см), перемежающегося пачками темно-серых глинистых алевритов и светло-серых песков.

Алевриты косослоистые с падением в сторону современного устья. Есть сизые глиняные окатыши. В средней части примерно в 4 м от уреза воды в глинистых темно-серых алевритах встречаются скопления древесины, раковин моллюсков и редких остатков мелких млекопитающих (местонахождение Новосуртаевка 2).

Светло-серые пески мелкозернистые, преимущественно волнисто-слоистые, алевритистые, кверху перемежаются пачками темно-серых глинистых алевритов и светло-серых песков. Алевриты слабо горизонтально-слоистые, сверху волнисто-слоистые. Эти пески выполняют руслообразные понижения с торфом и редкими раковинами моллюсков.

Ниже залегает толща светло-рыжих ожелезненных песков, которые переслаиваются с серыми слабо ожелезненными песками, пески сильно косослоистые и мелко-волнисто-слоистые. В основании пески средне- и крупнозернистые, с редкими галечниками до 10–15 см (встречен единичный валун гранитоида около 45 см в диаметре). Встречаются раковины моллюсков и кости млекопитающих, изредка кусочки древесины (местонахождение Новосуртаевка 1). В основном остатки приурочены к прослоям крупного галечника. В толще аллювиальных отложений наблюдаются руслообразные врезы, заполненные светло-серыми песками либо алевритами.

4. Глины темно-синие со следами почвообразования в кровле. Поверхность неровная, сильно раз-

мыта. По данным бурения подстилаются горизонтом песков и галечников, которые образуют с ними единую аллювиальную свиту. В местах выхода над водой сохранились пни в вертикальном положении, по которым получены ^{14}C -даты 39900 ± 3100 лет (СОАН-53) и 39600 ± 1200 лет (СОАН-748). Видимая мощность 0,1 м.

Изучение нами разреза показало, что глины в основании разреза обладают волнистой и косою слойчатостью. Кроме того, в них встречаются линзы крупнозернистого песка и дресвы с гальками до 3–5 см. Кровля слоя 4 имеет четкую эрозионную границу. Следов почвообразования не встречено. Возможно, береговая эрозия уже уничтожила зону почвообразования и теперь в разрезе сохранился лишь комплекс аквальных отложений. Мощность от уреза воды около 3,5 м.

Вторая терраса р. Катунь и ее притоков довольно широко распространена на Предальтайской равнине [1, 2]. Для нее характерно наличие дюн и гряд, поэтому высотное положение бровки террасы от разреза к разрезу меняется в пределах 13–20 м (рис. 1), в результате чего общая высота террасы может достигать 25 м [10]. Полученные нами данные о строении II надпойменной террасы р. Иша позволили уточнить информацию о геологическом строении нижней части описываемого разреза, а также дополнить имеющиеся данные о составе фауны млекопитающих из слоя 3.

Возраст и условия формирования местонахождений фауны

Полученные нами материалы показывают, что толща 3 разреза Новосуртаевка сложена пачкой аллювиальных отложений, представленных не только русловыми, но также пойменными и старичными аллювиями. Наличие большого количества руслообразных врезов, заполненных мелкозернистыми песками и алевритами, вероятно, указывает на миграцию русла древней реки с образованием стариц. В период накопления руслового аллювия шло фор-

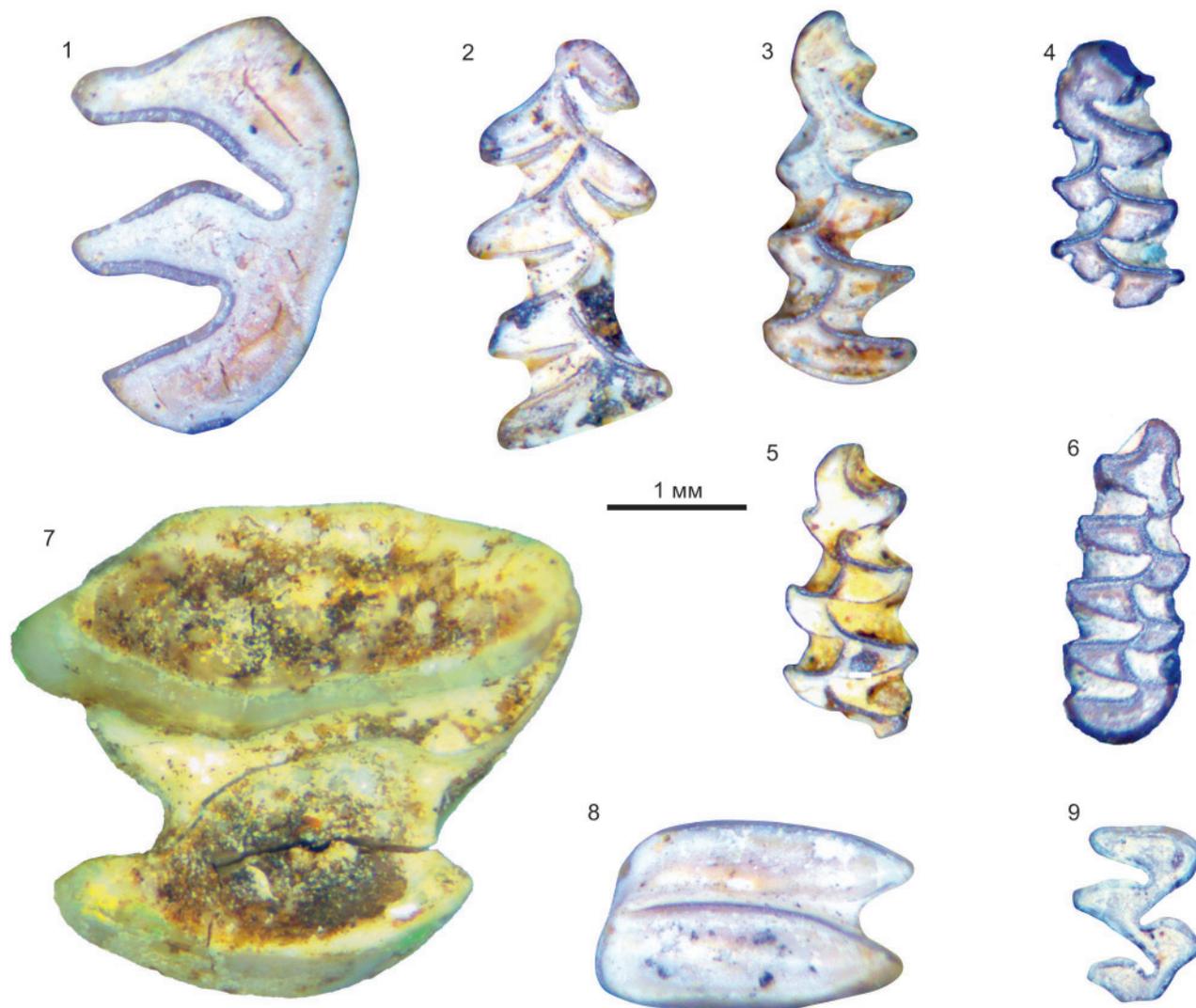


Рис. 2. Остатки мелких млекопитающих из местонахождений Новосуртаевка 1 (1–3, 5, 7–9) и 2 (4, 6)

1 – зуб M3 *Myospalax tyospalax*; 2 – фрагмент m1 *Craseomys rufocanus*; 3 – зуб m1 *Alexandromys oeconomus*; 4 – фрагмент m1 *A. oeconomus*; 5 – фрагмент зуба m1 *Lasiopodomys gregalis*; 6 – зуб m1 *L. gregalis*; 7 – зуб m1 *Lepus* sp.; 8 – зуб M1 *Ochotona* sp.; 9 – зуб M2 *Myodes rutilus*

мирование местонахождения палеофауны Новосуртаевка 1. В основном здесь встречаются остатки грызунов и моллюсков, изредка костные остатки крупных млекопитающих и древесины, приуроченные к прослоям более грубозернистого материала.

При миграции русла устанавливалась более спокойная обстановка осадконакопления, способствующая осаждению глинистого осадка, в котором в большом количестве захоранивались растительные остатки, раковины моллюсков и остатки мелких млекопитающих. В этих отложениях сформировалось еще одно местонахождение ископаемой фауны в изучаемом разрезе – Новосуртаевка 2.

Ранее из руслового аллювия слоя 3 разреза Новосуртаевка собраны многочисленные остатки мелких млекопитающих [1], среди которых В. С. Зажигиным определены *Crociodura* sp., *Ochotona* sp., *Urocitellus undulatus* Pallas, 1778, *Clethrionomys* sp. (очень крупная), *Lasiopodomys gregalis* Pallas, 1779, *Alexandromys oeconomus* Pallas, 1776, *Microtus* sp., *Lagurus* cf. *lagurus* Pallas, 1773 (см. таблицу). Вероят-

нее всего, эти остатки относятся к местонахождению Новосуртаевка 1. Полученные нами данные позволяют дополнить видовой состав мелких млекопитающих: из новых видов определены *Lepus* sp., *Myospalax tyospalax* Laxmann, 1773, *Myodes rutilus* Pallas, 1779 и *Craseomys rufocanus* Sundevall, 1846 (рис. 2).

Также из местонахождения Новосуртаевка 1 происходят остатки крупных млекопитающих (рис. 3). Здесь нами обнаружены остатки *Bison priscus* Vojanus, 1827 (vertebra, tibia), *Cervus elaphus* L., 1758 (pelvis) и *Mammuthus primigenius* Blumenbach, 1799 (vertebra). Среди всех остатков in situ обнаружен только грудной позвонок бизона в прослое грубозернистых песков слоя 3 разреза. Остальные остатки собраны на бечевнике, но, судя по сохранности костного материала, также должны происходить из этих отложений.

По позвонку *Bison priscus*, обнаруженному в 2021 г., была получена ¹⁴C-датировка 7300±265 лет (COAH-9950), однако она получена по малому количеству счетного препарата бензола (48 мкл, при

Остатки мелких млекопитающих из местонахождений Новосуртаевка 1 и 2

Вид	Новосуртаевка 1		Новосуртаевка 2
	Новые материалы	[1]	
<i>Crocidura</i> sp.	–	+	–
<i>Lepus</i> sp.	1	–	1
<i>Ochotona</i> sp.	1	+	–
<i>Urocitellus undulatus</i> Pallas, 1778	–	+	–
<i>Myospalax myospalax</i> Laxmann, 1773	2	–	–
<i>Craseomys rufocanus</i> Sundevall, 1846	2	–	–
<i>Myodes rutilus</i> Pallas, 1779	1	–	–
<i>Clethrionomys</i> sp.	1	+	–
<i>Lagurus</i> cf. <i>lagurus</i> Pallas, 1773	–	+	–
<i>Lasiopodomys gregalis</i> Pallas, 1779	3	+	4
<i>Alexandromys oeconomus</i> Pallas, 1776	5	+	1
<i>Microtus</i> sp.	20	+	4
Всего	36	–	10



Рис. 3. Остатки крупных млекопитающих из местонахождения Новосуртаевка 1

1 – левая большая берцовая кость *Bison priscus*; 2 – фрагмент правой тазовой кости *Cervus elaphus*; 3 – грудной позвонок *Bison priscus*; 4 – фрагмент грудного позвонка детеныша *Mammuthus primigenius*

норме 3–5 мл для плейстоценовых образцов) и потому не согласуется с ранее полученными для этого разреза датировками [6, 10], т. е. является омоложенной. До получения новых ¹⁴C-датировок возраст фауны из местонахождения Новосуртаевка 1 оценивается на основе датировки древесной трухи [10] 35400±700 лет (СОАН-747), что соответствует возрасту 41800–39340 кал. л. н.

В старичном аллювии местонахождения Новосуртаевка 2 удалось обнаружить 10 определимых костных остатков мелких млекопитающих (см. таблицу): *Lepus* sp., *Microtus* sp., *Lasiopodomys gregalis* и *Alexandromys oeconomus* (см. рис. 2). Насыщенность костными остатками меньше, чем в местонахождении Новосуртаевка 1, тем не менее условия захоронения в глинистых осадках обеспечивают хорошую сохранность костного материала. Возраст местонахождения Новосуртаевка 2 определяется ¹⁴C-датировкой, полученной по фрагменту локтевой кости *Lepus* sp., 25999±334 лет (UBA-46357), что соответствует возрасту 31054–29648 кал. л. н.

Применение биоклиматического дискриминантного анализа реконструировало степно-пустынную зону в местонахождении Новосуртаевка 1 со значением вероятности, близким к 1 (рис. 4). На эту зону приходится 47,6 % биоклиматического спектра из фаунистического сообщества. Также здесь проявляется большая доля закрытых ландшафтных зон. Так, на бореальные хвойные леса приходится 30,9 % БС. Схожие, но более подробные результаты показывает применение дробной классификации ландшафтных зон [13]. В этом случае выделяется преобладание степной (31 %) и лесостепной (17 %) зон биоклиматического спектра. В исследуемой фауне отсутствуют специализированные тундровые виды, что характерно для местонахождений Предалтайской равнины [5, 8, 10]. По видовому составу она может быть отнесена к биохронологической широтной зоне AIV [3].

Фауна местонахождения Новосуртаевка 1 типична для среднего и позднего неоплейстоцена Предалтайской равнины со степной и лесостепной

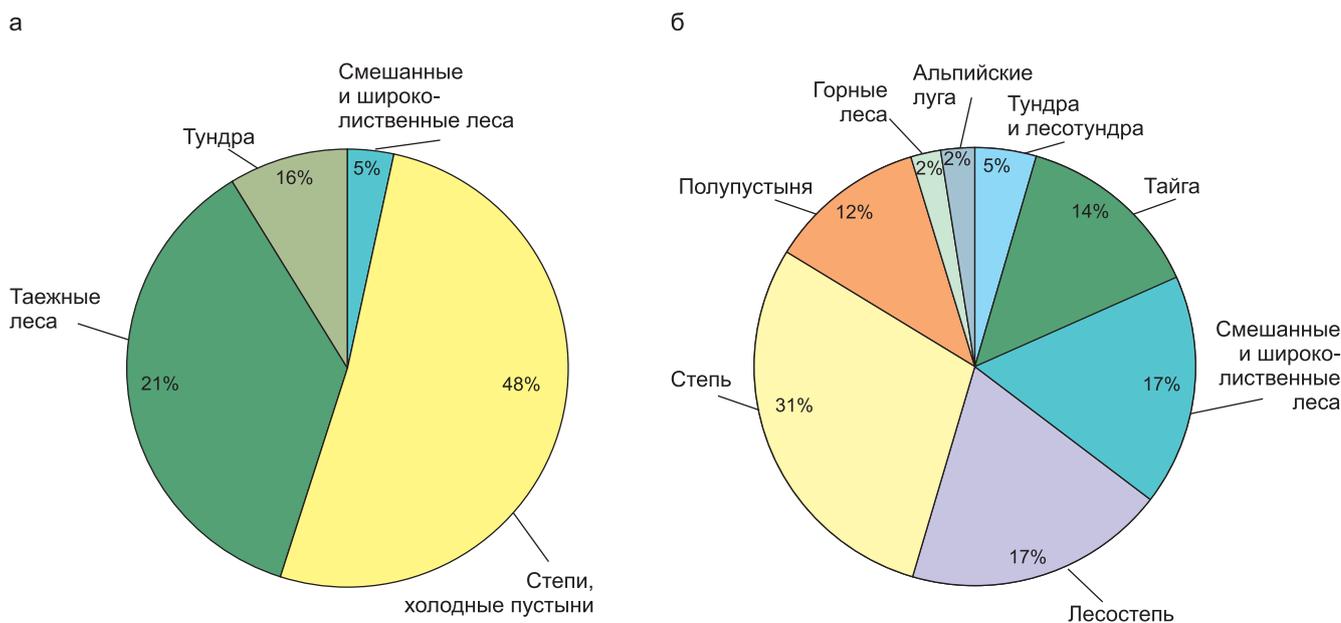


Рис. 4. Биоклиматический спектр местонахождения Новосуртаевка 1 с применением оригинальной (а) и адаптированной (б) классификации зонобиомов

фауной [5], для которой характерно совместное существование узкочерепных полевков и степных пеструшек [3]. Наличие остатков цокоров также указывает на преимущественно степные обстановки. В местонахождение Новосуртаевка 1 присутствуют остатки двух видов лесных полевков, что отражено в биоклиматическом спектре (30,9 % зоны хвойных лесов). Присутствие остатков видов закрытых лесных биотопов (красно-серая и красная полевки), скорее всего, обусловлено развитием пойменных лесов в степной зоне или близостью к горному региону.

Данные о семенных комплексах и палинологическая характеристика отложений разреза Новосуртаевка характеризуют развитие еловых лесов с господством влаголюбивых форм [1]. В комплексах присутствует пыльца древесных (79–81 %) – *Picea* (10–43 %), *Pinus* (26–44 %), *Pinus sibirica* (2–13 %), *Larix* (0,6 %), которая резко преобладает над пыльцой травянистых (15–18 %), имеющих остепненный характер (преобладают ксерофиты). Споры (2–3 %) представлены мхами и папоротниками. Среди семенных флор также отмечены представители холодолюбивой субальпийской и альпийской растительности: *Aquilegia vulgaris*, *Ranunculus flammula*, *Ranunculus repens*. Все это указывает на влажные (плювиальные) условия с относительно прохладным термическим режимом. Моллюски из разреза Новосуртаевка представлены как наземными, так и пресноводными формами; весь комплекс характеризует луговые местообитания [1, 10]. Таким образом, материалы по растительности и малакофауне хорошо согласуются с данными микротермофауны.

Выводы

Изучение геологического строения и сбор остатков млекопитающих в разрезе Новосуртаев-

ка показал наличие двух местонахождений ископаемых млекопитающих в этом разрезе. Наиболее представительная фаунистическая ассоциация происходит из местонахождения Новосуртаевка 1, связанного с русловым аллювием, накопившимся в среднекаргинское время (MIS 3) около 40550 ± 650 кал. л. н. К концу каргинского времени (30300 ± 350 кал. л. н.) река стала меандрировать, в результате чего русловое осадконакопление сменилось пойменным. В этот период сформировалось местонахождение Новосуртаевка 2.

К настоящему времени для местонахождения Новосуртаевка 1 определены следующие виды млекопитающих: *Crocidura* sp., *Ochotona* sp., *Lepus* sp., *Urocyon* sp., *Urocyon undulatus*, *Myospalax myospalax*, *Myodes rutilus*, *Craxomys rufocanus*, *Microtus* sp., *Lasiopodomys gregalis*, *Alexandromys oeconomicus*, *Lagurus lagurus*, *Mammuthus primigenius*, *Bison priscus* и *Cervus elaphus*. Фауна местонахождения Новосуртаевка 2 пока мало представительна, в ней определены *Lepus* sp., *Microtus* sp., *L. gregalis* и *A. oeconomicus*.

Биоклиматическая характеристика местонахождения Новосуртаевка 1 показывает преобладание степно-пустынных обстановок (47,6 %) или степных (31 %) и лесостепных (17 %) ландшафтов. Присутствие остатков лесных полевков (*C. rufocanus* и *M. rutilus*) в местонахождении, скорее всего, обусловлено развитием пойменных лесов в степной зоне и близостью к горному региону. Данные по малакофауне и растительности подтверждают развитие еловых лесов и пойменной растительности в окрестных территориях.

Таким образом, детальное изучение разреза Новосуртаевка и дополнительное радиоуглеродное датирование фаунистических остатков *in situ* позволило лучше охарактеризовать ископаемую фауну разреза. Также это дало возможность де-



тализировать историю гидросети и ландшафтную обстановку верхнего Приобья в каргинское время (MIS 3).

Сбор материала осуществлен в рамках государственного задания ИГМ СО РАН. Радиоуглеродное датирование, изучение фауны и анализ данных выполнен в рамках гранта Президента РФ МК-74.2021.1.5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Адаменко О. М.** Мезозой и кайнозой степного Алтая: монография. – Новосибирск: Наука, 1974. – 167 с.

2. **Адаменко О. М.** Стратиграфия четвертичных отложений Предалтайской равнины в районе слияния рек Бия и Катунь // Труды комиссии по изучению четвертичного периода. – 1963. – Т. XXII. – С. 150–164.

3. **Бородин А. В.** Полевки (Arvicolinae, Rodentia) Урала и Западной Сибири (эоплейстоцен – современность): автореф. дис. ... д. биол. н. – Екатеринбург: ИЭРИЖ УрО РАН, 2012. – 40 с.

4. **Галкина Л. И.** Фауна антропогенных грызунов и зайцеобразных Приобского плато и Кузнецкой котловины // Систематика, фауна, зоогеография млекопитающих и их паразитов / отв. ред. Б. С. Юдин. – Новосибирск: Наука, 1975. – С. 155–164.

5. **Зажигин В. С.** Грызуны позднего плиоцена и антропогена юга Западной Сибири. – М.: Наука, 1980. – 156 с. – (Тр. ГИН; вып. 339).

6. **Зубаков В. А.** Приобская Сибирь // Геохронология СССР. Т. 3. – Л.: Недра, 1967. – С. 187–209.

7. **Зыкина В. С., Зыкин В. С.** Лессово-почвенная последовательность и эволюция природной среды и климата Западной Сибири в плейстоцене. – Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2012. – 477 с.

8. **Круковер А. А.** Четвертичные микротериофауны приледниковой и внеледниковой зон Западной Сибири: автореф. дис. ... к. г.-м. н. – Новосибирск, ИГГ СО АН, 1992. – 21 с.

9. **Млекопитающие** России: список видов и прикладные аспекты: сб. трудов Зоологического музея МГУ. Т. 56 / А. А. Лисовский, Б. И. Шефтель, А. П. Савельев и др. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2019. – 191 с.

10. **Панычев В. А.** Радиоуглеродная хронология аллювиальных отложений Предалтайской равнины. – Новосибирск: Наука, 1979. – 102 с.

11. **Унифицированная** стратиграфическая схема четвертичных отложений Западно-Сибирской равнины. – Новосибирск: СНИИГиМС, 2000. – 64 с.

12. **Щукина Е. Н.** Закономерности размещения четвертичных отложений и стратиграфия их на территории Алтая // Тр. ГИН АН СССР. – 1960. – Вып. 26. – С. 127–164.

13. **Эволюция** экосистем Европы при переходе от плейстоцена к голоцену (24–8 тыс. л. н.) / А. К. Маркова, Т. ван Кольфсхотен, Ш. Бохнке

и др. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. – 556 с.

14. **Hernández Fernández M.** Bioclimatic discriminant capacity of terrestrial mammal faunas // *Global Ecology Biogeograph.* – 2001. – Vol. 10. – P. 189–204.

15. **Krukover A.** Quaternary arvicolid faunas of the southern West Siberian Plain // Frankfurt: Forsch. Inst. Senckenberg. – 2007. – Vol. 259. – P. 93–98.

16. **New** bioclimatic models for the quaternary palaeartic based on insectivore and rodent communities / A. Royer, A. B. García Yelo, R. Laffont, M. Hernández Fernández // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology.* – 2020. – Vol. 560. – P. 110040.

17. **The IntCal20** Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP) / P. Reimer, W. Austin, E. Bard, et al. // *Radiocarbon.* – 2020. – Vol. 62 (4). – P. 725–757.

REFERENCES

1. Adamenko O.M. *Mezozoy i kaynozoy stepnogo Altaya* [Mesozoic and Cenozoic of the steppe Altai]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1974. 167 p. (In Russ.).

2. Adamenko O.M. [Stratigraphy of Quaternary deposits of the Pre-Altai Plain in the confluence of the Biya and Katun Rivers]. *Trudy komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda*, 1963, vol. 22, pp. 150–164. (In Russ.).

3. Borodin A.V. *Polevki (Arvicolinae, Rodentia) Urala i Zapadnoy Sibiri (eopleystotsen – sovremennost)*. *Avtoref. dokt. dis.* [Voles (Arvicolinae, Rodentia) from the Urals and Western Siberia (Eopleistocene – present day). Author's abstract of DSc thesis]. Yekaterinburg, IPAE UrB RAS Publ., 2012. 40 p. (In Russ.).

4. Galkina L.I. [Fauna of anthropogenic rodents and lagomorphs of the Priobskoye Plateau and the Kuznetsk Depression]. *Sistematika, fauna, zoogeografiya mlekopitayushchih i ih parazitov* [Systematics, fauna, zoogeography of mammals and their parasites]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1975, pp. 155–164. (In Russ.).

5. Zazhigin V.S. [Late Pliocene and Anthropogene rodents of the south of Western Siberia]. *Trudy Geologicheskogo Instituta AN SSSR*, Moscow, Nauka Publ., 1980, issue 339, pp. 1–156. (In Russ.).

6. Zubakov V.A. [Priobskaya Siberia]. *Geokhronologiya SSSR* [Geochronology of the USSR]. Leningrad, Nedra Publ., 1967, vol. 3., pp. 187–209. (In Russ.).

7. Zykina V.S., Zykin V.S. *Lessovo-pochvennaya posledovatel'nost' i evolyutsiya prirodnoy sredy i klimata Zapadnoy Sibiri v pleystotsene* [Loess-soil sequence and environment and climate evolution of West Siberia in the Pleistocene]. Novosibirsk, Geo Publ., 2012. 477 p. (In Russ.).

8. Krukover A.A. *Chetvertichnyye mikroteriofauny priliednikovoy i vnelednikovoy zon Zapadnoy Sibiri*. *Avtoref. kand. dis.* [Quaternary microteriofauna of the glacial and extraglacial zones of Western Siberia. Author's abstract of PhD thesis]. Novosibirsk, IGG SB AS Publ., 1992. 21 p. (In Russ.).



9. Lisovskiy A.A., Sheftel B.I., Savelyev A.P., et al. [Mammals of Russia: species list and applied aspects]. *Sbornik trudov zoologicheskogo muzeya MGU. T. 56* [Proceedings of the Zoological Museum of Moscow State University. Vol. 56]. Moscow, Tovrishchestvo nauchnykh izdaniy KMK Publ., 2019. 191 p. (In Russ.).
10. Panychev V.A. *Radiouglerodnaya khronologiya allyuvialnykh otlozheniy Predaltayskoy ravniny* [Radio-carbon chronology of alluvial deposits of the Pre-Altai Plain]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1979. 102 p. (In Russ.).
11. *Unifitsirovannaya regionalnaya stratigraficheskaya skhema chetvertichnykh otlozheniy Zapadno-Sibirskoy ravniny (karty)* [Unified Regional Stratigraphic Chart of Quaternary Deposits of the West Siberian Plain (maps)]. Novosibirsk, SNIIGiMS Publ., 2000, 64 p. (In Russ.).
12. Shchukina E.N. [Regularities in the location of Quaternary sediments and their stratigraphy in the Altai Territory]. *Trudy Geologicheskogo Instituta AN SSSR*, Moscow, Nauka Publ., 1960, issue 26, pp. 127–164. (In Russ.).
13. Markova A.K., van Kolfskhoten T., Bokhnkka Sh., et al. *Evolyuetsiya ekosistem Evropy pri perekhode ot pleystotsena k golotsenu (24–8 tys. l. n)* [Evolution of ecosystems in Europe in the transition from the Pleistocene to the Holocene (24–8 ka)]. Moscow, Tovrishchestvo nauchnykh izdaniy KMK Publ., 2008. 556 p. (In Russ.).
14. Hernández Fernández M. Bioclimatic discriminant capacity of terrestrial mammal faunas. *Global Ecology & Biogeography*, 2001, vol. 10, pp. 189–204.
15. Krukover A. Quaternary arvicolid faunas of the southern West Siberian Plain. *Frankfurt: Forsch. Inst. Senckenberg*, 2007, vol. 259, pp. 93–98.
16. Royer A., García Yelo A.B., Laffont R., Hernández Fernández M. New bioclimatic models for the quaternary palaeartic based on insectivore and rodent communities. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2020, vol. 560, p. 110040.
17. Reimer P., Austin W., Bard E., et al. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*, 2020, vol. 62 (4), pp. 725–757.

© Д. Г. Маликов, С. Е. Голованов, 2022



УДК 53.081; 550.83+ 552.5 +553.98

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ИНТЕНСИВНОСТЬ ПРОЦЕССОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОТКРЫТЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ

И. А. Мельник

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

Дается теоретическое обоснование параметра статистической интенсивности процессов преобразования открытых систем, состоящих из элементов; приводится иллюстрация эмпирического подтверждения валидности этого параметра. При воздействии внешнего динамического потока на элементы открытой системы данные элементы трансформируются. Корреляция между независимыми характеристиками преобразованных элементов может быть обусловлена доминирующим процессом воздействия на систему. Произведение коэффициента аппроксимации и статистического интервального параметра двух выборок измеряемых характеристик соответствует статистической интенсивности преобразования открытой системы. Исследуется процесс вторичной каолинитизации, интенсивность которого определяется по положительным корреляционным связям геофизических (петрофизических) показаний общей пористости и глинистости песчаных пород на разных нефтегазовых месторождениях. Положительная регрессия между выборками петрофизических параметров пористости и глинистости интерпретируется как вторичная каолинитизация песчаной породы, а произведение коэффициента аппроксимации и доли исследуемого интервала данной положительной корреляции выборочных значений определяется как статистическая интенсивность процесса вторичной каолинитизации. Валидность используемого метода подтверждается при сопоставлении вычисляемой интенсивности вторичной каолинитизации изучаемого интервала с петрографическим исследованием шлифов керна.

Ключевые слова: открытая система, преобразование геологических систем, геофизические параметры, корреляция регистрируемых параметров, статистическая интенсивность процесса.

STATISTICAL INTENSITY OF TRANSFORMATION PROCESSES OF OPEN GEOLOGICAL SYSTEMS BASED ON GEOPHYSICAL DATA

I. A. Melnik

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

The article provides a theoretical justification for the parameter of statistical intensity of transformation processes of open systems consisting of elements and the illustration of empirical confirmation of this parameter validity. Under the influence of external dynamic flow on the elements of open system, the process of their transformation takes place. The correlation between independent characteristics of these elements may be due to the dominant process of influencing the system. The product of approximation coefficient and statistical interval parameter of two samples of measured characteristics corresponds to the statistical intensity of the open system transformation process. The process of secondary kaolinitization is investigated, its intensity is determined by positive correlation relationships of geophysical (petrophysical) indications of the total porosity and clay content of sand rocks at various oil-and-gas fields. The positive regression between samples of petrophysical parameters of porosity and clayiness is interpreted as a secondary kaolinitization of sandy rock, and the product of approximation coefficient with a part of the studied interval of this positive correlation of sample values is defined as the statistical intensity of the secondary kaolinitization process. The validity of the method used is confirmed by comparing the calculated intensity of secondary kaolinitization of the studied interval with the petrographic study of core sections.

Keywords: open system, transformation of geological systems, geophysical parameters, correlation of response parameters, statistical intensity of process.

DOI 10.20403/2078-0575-2022-4-22-27

Состояние любой открытой системы (механической, физической, химической, геологической, биологической и т. д.) может быть изменено в результате воздействия внешних факторов. Сама система представляет собой совокупность различных элементов, определенным образом связанных между собой, а внешнее воздействие формируется динамическим потоком, проникающим в систему и трансформирующим ее элементы. Преобразование элементов системы при воздействии внешних факторов происходит при условии введения в не-

равновесное состояние преобразующих элементов с присутствием каналов входа внешнего «воздействия» и выхода из системы.

Процесс преобразования систем характеризуется интенсивностью трансформации, под которой обычно понимают результат процесса, отнесенный к единице времени и единице его рабочего объема, либо площади, либо отрезка [5]. При физико-химических процессах интенсивность преобразования элементов открытых систем определяется произведением скорости реакции на порцию энергии

базисной реакции [1]. В представленных формулировках интенсивности процессов преобразования регистрируемых величин определяются относительно единицы времени. Однако в естественных средах встречаются такие системы, в которых время образования измеряемых параметров определить в принципе невозможно. В этом случае результаты измерения интенсивности процессов трансформации систем необходимо выразить другим способом, видимо, в условных единицах.

Как правило, на основании многократно измеренных параметров формируется распределенная по времени либо по пространству статистическая выборка, отражающая трансформацию исследуемой системы. Процесс преобразования от одного внешнего источника может касаться всех ее элементов или различных частей, выражающихся в регистрируемых характеристиках. Измерение различных параметров (характеристик) различных элементов позволяет получать от двух и более выборок, описывающих преобразование системы, которые могут коррелировать между собой. Степень изменения величины регистрируемого параметра далеко не всегда обусловлена интенсивностью процесса преобразования, а может зависеть от качества внутреннего взаимодействия элементов системы и распределения ее структуры. Но степень корреляции между выборками различных параметров, связанных с процессом преобразования, может быть обусловлена интенсивностью трансформации системы [3, 6].

Целью данной статьи является теоретическое обоснование и иллюстрация эмпирических подтверждений следующей концепции: интенсивность процесса преобразования открытой геологической системы в результате внешнего воздействия определяется качественными и количественными статистическими данными корреляционной связи двух выборок геофизических измеряемых параметров трансформирующихся элементов. Причем процесс, преобразующий систему, может, по сути, нести в себе качество, отличное от регистрируемых характеристик. Например, регистрируются физические параметры, а преобразующий процесс химический или биологический.

Теоретическое обоснование вычисления статистической интенсивности

Рассмотрим сложную открытую систему, состоящую из элементов, взаимодействующих между собой и трансформирующихся в результате влияния внешнего потока. Параметры элементов системы делятся на регистрируемые ($A; B$) и на γ -отклик регистрируемых параметров, не связанный с влиянием исследуемых геохимических процессов. Регистрируемые параметры могут относиться к одним и тем же преобразованным элементам, а могут быть результатом единого процесса преобразования различных элементов. Значения данных дискретных параметров будут представлять собой ко-

личественную характеристику. Основным условием корреляции регистрируемых параметров является доминирование исследуемого процесса, влияющего на данные параметры, над другими параллельными процессами.

Измеряемые дискретные характеристики A и B , зависящие от количества преобразованных элементов, будут взаимозависимо проявляться с различными вероятностями: $P(A)$ и $P(B)$. Причем вероятность реализации события B может быть и условной: $P(B|A)$. Вероятность реализации двух событий (двухмерная) вычисляется через произведение [6]

$$P(A; B) = P(A)P(B). \quad (1)$$

Вероятности измеряемых параметров при $\alpha = A + \gamma_A$, $\beta = B + \gamma_B$ определяются как

$$P(A) = \frac{A}{\alpha}; P(B) = \frac{B}{\beta}. \quad (2)$$

Введем постулат интенсивности: статистическая интенсивность процессов преобразования элементов открытой системы эквивалентна двухмерной вероятности регистрируемых характеристик данных элементов [4]:

$$i(A; B) \sim P(A; B). \quad (3)$$

Определение статистической интенсивности (двухмерной) предполагает наличие двух выборок массива данных измеряемых характеристик (A) и (B). Интенсивность доминирующего процесса преобразования вещества приводит к ковариационному изменению величин измеряемых параметров (dA) и (dB). Значение интенсивности процесса по всему исследуемому массиву данных усредняется. В таком случае двухмерная статистическая интенсивность данных Q выборочных параметров ($Q > 30$) в соответствии с зависимостями (2) и (3), будет представлять собой следующую эквивалентную ковариацию:

$$i(A; B) \sim \left\langle \frac{dAdB}{d\alpha d\beta} \right\rangle \sim \frac{1}{Q} \sum_{q=1}^{q=Q} \frac{(A_q - \bar{A})(B_q - \bar{B})}{\Delta\alpha_q \Delta\beta_q}. \quad (4)$$

В эквивалентной зависимости (4) вместо начальных параметров (A_0) и (B_0) выставляется их статистический аналог – среднее значение выборки.

В свою очередь, если исследуемый процесс, влияющий на показания (A) и (B) является доминирующим, то соблюдаются следующие условия: $\gamma_A < A$; $\gamma_B < B$. Поэтому средняя сумма произведения разниц $\Delta\alpha\Delta\beta$ будет эквивалентна произведению стандартных отклонений (σ):

$$\frac{1}{Q} \sum_{q=1}^{q=Q} \frac{1}{\Delta\alpha_q \Delta\beta_q} \sim \frac{1}{\sigma_A \sigma_B}. \quad (5)$$

На основании обоснованных зависимостей (1–5) можно говорить об эквивалентности показателя интенсивности преобразования открытых систем и R — коэффициента корреляции между двумя выборками измеряемых параметров:

$$i(A;B) \sim \left| \frac{1}{Q} \sum_{q=1}^{q=Q} \frac{(A_q - \bar{A})(B_q - \bar{B})}{\sigma_A \sigma_B} \right| = |R|. \quad (6)$$

Коэффициент корреляции в выражении (6) взят по модулю, потому что статистическая интенсивность может быть только положительной. Очевидно, что коэффициент корреляции в первую очередь отражает качественную характеристику интенсивности. Чем больше значение данного коэффициента, тем больше вероятность того, что корреляция между измеряемыми выборочными значениями обусловлена исследуемым процессом преобразования системы. Как правило, граничное значение коэффициента корреляции $R > |\pm 0,6|$ определяется общепринятым уровнем значимости 0,95.

В генеральной выборке двух массивов данных не всегда присутствует линейная корреляция между исследуемыми частями выборочных значений. Поэтому при вычислении статистической интенсивности в формулу (6) необходимо включить параметр, отражающий долю генеральной выборки, в которой линейная регрессия подчиняется условию $R > |\pm 0,6|$.

Вероятность ковариационного изменения двух регистрируемых и/или вычисляемых случайных параметров может быть обусловлена внешним воздействием с определенной интенсивностью, в нашем случае – геохимическим. И, соответственно, интенсивность изменения (преобразования) будет пропорциональна его вероятности. Здесь неважно, сколько компонентов и элементов в системе преобразуются, но важно, какие мы берем исследуемые пары для корреляционной связи. Они должны быть наиболее ковариационны между собой и обладать наибольшей функцией отклика к доминирующему геохимическому процессу.

Для определения доли интервала генеральной выборки при представленном граничном условии необходимо суммировать такие доли выборок интервалов в пределах всего массива данных, в которых наблюдаются корреляционные зависимости

$$Y = \frac{1}{Q} \sum_{j=1}^J \sum_{h=1}^H p_h^j, \quad (7)$$

где p – количество всех выборочных значений при $R_h > |\pm 0,6|$; Q – количество выборочных значений всего исследуемого массива; H – количество «интервальных» выборочных значений; J – количество «интервалов», причем $J < H \leq Q$, а если $H = Q$, то $J = 1$.

Статистический параметр Y выражает интервальную меру влияния вторичных процессов, т.е. в данном случае показывает долю преобразованной материи исследуемой системы. Назовем его интервальным параметром.

Произведение статистических параметров

$$i = YR^2 \quad (8)$$

назовем *статистической интенсивностью процессов преобразования открытых систем*, которая

выражает как качественную (R^2), так и количественную (Y) меры статистических регрессионных связей. В уравнении (8) вместо коэффициента корреляции (6) введен квадрат данного коэффициента, называемый коэффициентом аппроксимации, для того чтобы избежать применения модульного параметра. Значение коэффициента аппроксимации, отражающего тесноту связи выборочных значений с уравнением регрессии, отражает и качество соответствия связи между собой корреляционной пары, обусловленной внешним физико-химическим воздействием, например, в процессе увеличения интенсивности вторичной (наложенно-эпигенетической) каолинитизации прямо пропорционально (линейно) увеличиваются пористость и глинистость.

Интенсивность – это наименование параметра, отражающего любой количественный процесс (движения потока частиц, преобразования среды), который регистрируется в единицу времени и объема среды. Он зависит от характеристик регистрируемого прибора. В нашем случае введение наименования параметра «статистическая интенсивность процесса» обусловлено тем, что его значение прямо пропорционально исследуемой интенсивности, но не зависит от характеристик приборов, а связано со статистическим параметром, отражающим тесноту корреляционной связи регистрируемых и/или вычисляемых выборочных значений, величина (теснота) которой обусловлена интенсивностью вторичных геохимических изменений.

Эмпирические данные

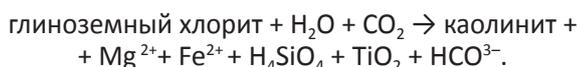
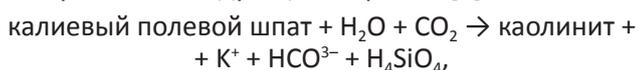
В качестве примера вычисления статистической интенсивности и ее валидности рассмотрим геологическую открытую систему – песчаный пласт-коллектор. Песчаный коллектор представляет собой пористую флюидопроницаемую среду, перекрываемую глинистой покрывкой, с подводными каналами миграции глубинных флюидов. Флюиды – это гидротермальная смесь минерализованной воды, газов и нефти. При их поступлении в коллектор минеральный состав породы преобразуется. Данный геохимический процесс называется наложенным эпигенезом [2].

Как правило, в качестве материалов исследования при изучении геохимических процессов используют образцы керна [8, 11]. При его отсутствии петрофизические и литологические свойства и параметры породы исследуемого песчаника изучаются с помощью приборов и методов геофизических исследований скважин (ГИС). На основе изменения значений и соотношения характеристик ядерно-физических, электромагнитных и акустических полей определяются такие петрофизические параметры, как пористость, проницаемость, глинистость и т.д. [10]. Традиционный метод интерпретации материалов ГИС позволяет выделять литологические разновидности (песчаники, аргиллиты, алевролиты, карбонаты и др.) [9]. Но выявлять вторичные процессы нало-

женного эпигенеза в отсутствие каменного материала считается невозможным.

В рассматриваемой геологической системе элементы – это минералы, составляющие породу песчаного коллектора. Полимиктовая порода песчаника представляет собой пористую матрицу, состоящую из минеральных комплексов (кварц, полевые шпаты, слюда и т. д.) и цементирующих их глинистых и карбонатных минералов. К тому же поры, трещины, заполняющие их флюиды, а также глинисто-карбонатные минералы тоже относятся к элементам системы.

До поступления внешних флюидов в песчаный коллектор порода песчаника находится в равновесном состоянии с точки зрения прохождения химических процессов. После поступления глубинных флюидов с различной рН относительно заполняемой среды равновесие нарушается и проходящая химическая реакция влияет как на трансформацию минералов, так и на петрофизические, емкостные свойства породы коллектора. Например, в результате поступления кислых глубинных флюидов с растворенной углекислотой углекислотный метасоматоз протекает следующим образом [2]:



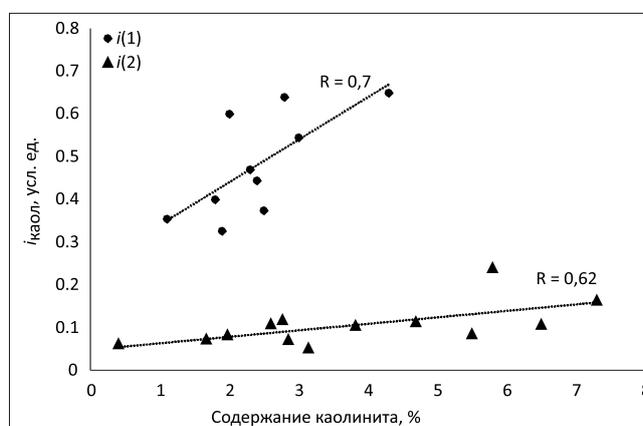
Здесь мы видим, что каолинитизация полевого шпата и глинистых минералов проходит в кислых средах (рН 4–5). Причем в результате повышенной кислотности растворяется не только заполняющий поры цемент, но и матричный алюмосиликат. Емкость коллектора повышается на 2–3 %, а проницаемость – в несколько раз. Каолинит относится к глинистым минералам, и в данном случае увеличение его содержания и одновременное повышение пористости песчаника позволяет построить положительную корреляционную зависимость между петрофизическими выборками – пористостью и глинистостью. Пористость песчаника можно определить на основании показаний нейтрон-нейтронного каротажа скважин, а глинистость – по показаниям гамма-каротажа и каротажа собственной поляризации [3].

В свою очередь, известно, что в процессе осадконакопления (седиментации) и последующего диагенеза с увеличением глинистости песчаной породы пористость песчаника уменьшается. При отсутствии наложенного эпигенеза между данными петрофизическими выборками регрессия должна быть отрицательная. Поэтому согласно уравнению (8) при положительной корреляции пористости (A) с глинистостью (B) в песчаной породе можно определить статистическую интенсивность доминирующего процесса вторичной каолинитизации.

В рассматриваемой технологии интерпретации материалов ГИС песчаные пласты в скважине разби-

ваются на исследуемые интервалы. Затем в каждом из них (50–80 значений), являющемся генеральной выборкой, с диапазоном «подынтервальных» выборочных значений (7–11 значений) вычисляем коэффициент корреляции и при условии $R > |\pm 0,6|$ определяем среднее значение параметра R всех «подынтервалов» с данным условием. Таким образом вычисляем долю исследуемого интервала генеральной выборки, которая подчиняется условию $R > |\pm 0,6|$. Эта доля и будет представлять собой «интервальный параметр», соответствующий количественной величине геохимически измененной породы.

С целью проведения эмпирической проверки соответствия вычисленной статистической интенсивности процесса каолинитизации содержанию вторичных каолинитов в песчаной породе были сопоставлены результаты статистическо-корреляционной интерпретации данных ГИС с петрографическим исследованием образцов керна. На рисунке показаны две группы положительных регрессий, данные которых относятся к различным нефтегазоносным месторождениям: Болтному (Томская область) и Тамбейскому (п-ов Ямал). Исследовались интервалы терригенных коллекторов мезозойских отложений. Причем по Болтному месторождению для каждого из 10 изучаемых интервалов (от 30 и более точек измерения в формате LAS) показания содержания каолинитов по керну усреднялись по данным 5–6 шлифов. Определение количества минералов на единице площади поверхности шлифа в интервале 0–0,99 % проводилось с погрешностью $\pm 0,06$ %, а в интервале 1–5 % – с погрешностью $\pm 0,09$ %. При статистической интенсивности каолинитизации больше критической величины $i_{кр} = 0,33$ усл. ед. (для 55 образцов) коэффициент корреляции регрессии ($i(1)$, см. рисунок) равен 0,7. На Тамбейском месторождении изучалось 13 интервалов (при условии $i > 0$), в которых усреднялись данные содержания каолинитов для 38 образцов (примерно по три шлифа на интервал). Коэффициент корреляции регрессии ($i(2)$, см. рисунок) равен 0,62.



Сопоставление статистической интенсивности каолинитизации, вычисленной по данным ГИС, с содержанием каолинита, определенным по шлифам керна (данные по месторождениям Болтному – $i(1)$, Тамбейскому – $i(2)$)



Относительно низкая статистическая интенсивность вторичной каолинитизации на Тамбейском месторождении объясняется наложением противоположного процесса (с химической точки зрения – щелочного) вторичной карбонатизации, уменьшающего пористость исследуемой породы, что и послужило причиной снижения положительного коэффициента корреляции пористости с глинистостью.

Проведенные сопоставления результатов статистически корреляционной интерпретации материалов ГИС песчаных коллекторов с результатами исследований шлифов ядра доказали их полное соответствие. Валидность данной методики вычисления статистической интенсивности различных процессов преобразования открытых систем (геологических) подтверждена и в других работах [3, 4].

Выводы

Итак, вычисление статистической интенсивности процессов преобразования открытых систем возможно при внешнем воздействии на систему и при трансформации ее элементов. Причем измеряемые параметры элементов системы могут быть различными для одного типа элементов, либо регистрируемые характеристики от различных элементов разные, но при воздействии единого внешнего источника. Исследуемый процесс, преобразующий систему, должен быть доминирующим, и в этом случае вычисляемые корреляционные параметры двух выборок измеряемых параметров трансформирующих элементов будут соответствовать интенсивности данного процесса.

Проведенные эмпирические исследования геологических открытых систем по вторичным геохимическим процессам наложенного эпигенеза (каолинитизация, карбонатизация, пиритизация и пелитизация) полностью подтвердили валидность использования параметра статистической интенсивности в преобразующихся системах. При этом для вычисления статистической интенсивности перечисленных процессов использовались выборки таких различных физических, химических и петрофизических характеристик, как удельное электрическое сопротивление, содержания железа и калия, глинистость и пористость [3, 4].

Рассматриваемая технология статистически-корреляционной интерпретации материалов ГИС старого и нового фонда позволяет накопить огромный массив данных о вторичных геохимических процессах в песчаных пластах всей глубины исследуемого нефтегазового месторождения. А в совокупности с использованием методов построения пространственно-временной нейронной сети [7] можно создать трехмерную модель глубинной фильтрации, интенсивностей вторичных геохимических преобразований песчаных пород по всему разрезу скважин.

В частности, статистическая интенсивность вторичной каолинитизации может быть использована в качестве индикатора поступления глубинных флю-

идов (углеводородов), фиксатора присутствия глубинных зон геотермальной фильтрации (разломов растяжения), параметра характеризующего состояния покрышек [4].

Таким образом, использование параметра статистической интенсивности для изучения процессов преобразования в любых естественных открытых системах позволяет получать новую информацию о самих процессах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Аранская О. С.** Сборник задач и упражнений по химической технологии и биотехнологии. 2-е изд. перераб. и доп. – Минск: Изд-во ун-та, 1989. – 206 с.
2. **Лебедев Б. А.** Геохимия эпигенетических процессов в осадочных бассейнах. – Л.: Недра, 1992. – 239 с.
3. **Мельник И. А.** Выявление вторично преобразованных терригенных коллекторов на основе статистической интерпретации материалов ГИС // Геофизика. – 2013. – № 4. – С. 29–36.
4. **Мельник И. А.** Основы статистически-корреляционной интерпретации материалов геофизических исследований скважин: учебник. – М.: РУСАЙНС, 2022. – 76 с.
5. **Организация**, планирование и управление химическим предприятием: учебник для вузов / А. П. Леошкин, С. К. Давидович, М. П. Синицын и др. – Л.: Химия, 1982. – 367 с.
6. **Трофимова Е. А., Кисляк Н. В., Гилев Д. В.** Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие. – Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2018. – 160 с.
7. **A method for well log data generation based on a spatio-temporal neural network / Jun Wang, Junxing Cao, Jiachun You, et al. // Journal of Geophysics and Engineering. – 2021. – Vol. 18, Issue 5. – P. 700–711. – <https://doi.org/10.1093/jge/gxab046>.**
8. **Comparative Evaluation of Geochemical Methods of Searches for Secondary Dispersion Halos in Complex Landscape-Geochemical Conditions of Eastern Transbaikal / A. V. Blinov, A. E. Budyak, Yu. I. Tarasova, et al. // European Association of Geoscientists & Engineers. – 2021. – Apr. – P. 1–10. – <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202152132>.**
9. **Machine learning approaches for petrographic classification of carbonate-siliciclastic rocks using well logs and textural information / C. M. Saporetta, L. G. Fonseca, E. Pereira, L. C. Oliveira // Journal of Applied Geophysics. – 2018. – Vol. 155. – P. 217–225. – <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2018.06.012>.**
10. **Petrophysical analysis of well logs data for identification and characterization of the main reservoir of Al Baraka Oil Field, Komombo Basin, Upper Egypt / A. H. Senosy, H. F. Ewida, H. A. Soliman, M. O. Ebraheem // SN Applied Sciences – 2020. – No. 2. – <https://doi.org/10.1007/s42452-020-3100-x>.**
11. **Rollinson H., Pease V.** Using Geochemical Data. To Understand Geological Processes. – Cam-

bridge University Press, 2021. – 346 p. – <https://doi.org/10.1017/9781108777834>.

REFERENCES

1. Aranskaya O.S. *Sbornik zadach i uprazhneniy po khimicheskoy tekhnologii i biotekhnologii* [Collection of problems and exercises on chemical technology and biotechnology]. Minsk, University Publ., 1989. 206 p. (In Russ.).
2. Lebedev B.A. *Geokhimiya epigenicheskikh protsessov v osadochnykh basseynakh* [Geochemistry of epigenetic processes in sedimentary basins]. Leningrad, Nedra Publ., 1992. 239 p. (In Russ.).
3. Melnik I.A. [Identification of secondary converted terrigenous reservoirs based on the statistical interpretation data GIS]. *Geofizika – Geophysics*, 2013, no. 4, pp. 29–36. (In Russ.).
4. Melnik I.A. *Osnovy statisticheskoi korrelyatsionnoy interpretatsii materialov geofizicheskikh issledovaniy skvazhin. Uchebnik* [Fundamentals of statistical-correlation interpretation of well logging materials: textbook]. Moscow, RUSSIGNS Publ., 2022. 76 p. (In Russ.).
5. Leoshkin A.P., Davidovich S.K., Sinitsyn M.P., et al. *Organizatsiya, planirovaniye i upravleniye khimicheskimi predpriyatiyem. Uchebnik dlya vuzov* [Organization, planning and management of chemical enterprise. Textbook for universities]. Leningrad, Khimiya Publ., 1982. 367 p. (In Russ.).
6. Trofimova E.A., Kislyak N.V., Gilyev D.V. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika: uchebnoye posobiye* [Theory of Probability and Mathematical Statistics: Study Guide]. Yekaterinburg, Ural University Publ., 2018. 160 p. (In Russ.).
7. Jun Wang, Junxing Cao, Jiachun You, et al. A method for well log data generation based on a spatio-temporal neural network. *Journal of Geophysics and Engineering*, 2021, vol. 18, issue 5, pp. 700–711. <https://doi.org/10.1093/jge/gxab046>.
8. Blinov A.V., Budyak A.E., Tarasova Yu.I., et al. Comparative Evaluation of Geochemical Methods of Searches for Secondary Dispersion Halos in Complex Landscape-Geochemical Conditions of Eastern Transbaikalia. *European Association of Geoscientists Engineers*, 2021, Apr., pp. 1–10. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202152132>.
9. Saporetti C.M., Fonseca L.G., Pereira E., C. Oliveira L. Machine learning approaches for petrographic classification of carbonate-siliciclastic rocks using well logs and textural information. *Journal of Applied Geophysics*, 2018, vol. 155, pp. 217–225. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2018.06.012>.
10. Senosy A.H., Ewida H.F., Soliman H.A., Ebraheem M.O. Petrophysical analysis of well logs data for identification and characterization of the main reservoir of Al Baraka Oil Field, Komombo Basin, Upper Egypt. *SN Applied Sciences*, 2020, no. 2. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-3100-x>.
11. Rollinson H., Pease V. *Using Geochemical Data. To Understand Geological Processes*. Cambridge University Press, 2021. 346 p. <https://doi.org/10.1017/9781108777834>.

© И. А. Мельник, 2022



УДК 553.981:551.762(763):551.24

РОЛЬ ТЕКТОНО-ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ФОРМИРОВАНИИ ЗАЛЕЖЕЙ ГАЗА НА СЕВЕРЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

М. Ю. Зубков

Западно Сибирский геологический центр, Тюмень, Россия

Проведена оценка генерационных и емкостных свойств неокомских и юрских отложений северной части Западной Сибири. Рассмотрены варианты образования биогенного и абиогенного метана. Предложен тектоно-гидротермальный механизм формирования залежей газа в сеноманских отложениях. Прогнозируется распространение самых молодых сеноманских залежей газа в северном направлении под ложем Северного Ледовитого океана. С целью поисков углеводородных залежей предложен способ комплексирования данных сейсморазведки и выполненного на их основе тектонофизического моделирования.

Ключевые слова: неокомские отложения северной части Западной Сибири, биогенное и абиогенное происхождение метана, метоксильная группа, тектоно-гидротермальные процессы.

ROLE OF TECTONIC AND HYDROTHERMAL PROCESSES IN THE FORMATION OF GAS POOLS IN THE NORTH OF WESTERN SIBERIA

M. Yu. Zubkov

West Siberian Geological Center, Tyumen, Russia

The generation and storage capacities of Neocomian and Jurassic sediments of the northern part of Western Siberia are evaluated. Variants of biogenic and abiogenic methanogenesis are considered. Tectonic and hydrothermal mechanism of the formation of gas pools in Cenomanian sediments is proposed. The youngest Cenomanian gas pools are predicted to be widespread northward under the Arctic Ocean bed. The method of seismic data integration and tectonophysical modelling based on it is proposed in order to search for hydrocarbon accumulations.

Keywords: Neocomian deposits of the northern Western Siberia, biogenic and abiogenic origin of methane, methoxy group, tectonic and hydrothermal processes.

DOI 10.20403/2078-0575-2022-4-28-45

Механизм формирования залежей газа на севере Западной Сибири, несмотря на полувековой срок их изучения, до сих пор не имеет общепринятого объяснения. Исследователи обсуждают главным образом только происхождение (биогенное или абиогенное) метана, заполнившего ловушки в верхнемеловых (сеноман) отложениях, а способ образования самих залежей обычно не рассматривают или сводят к миграции газа по тектоническим нарушениям [5, 11–13, 22]. Несомненно, что определение генезиса метана представляет собой очень важную задачу, однако и собственно сам механизм заполнения метаном сеноманских песчано-алевритовых осадков также требует достоверного объяснения. Поэтому цель настоящей статьи – постараться разобраться в происхождении газа (биогенное и/или абиогенное) и предложить наиболее вероятный механизм его миграции и формирования залежей в сеноманских отложениях.

Аппаратура и методики

Изучение вещественного состава отобранных образцов осуществлялось с помощью оптической микроскопии (поляризационный микроскоп Nikon Eclipse LV 100 Pol). Исследование нефтегазогенерационных свойств образцов, отобранных из разновозрастных отложений Медвежьего и Уренгойского месторождений, осуществлялось пиролитическим

методом на модифицированном программно-аппаратурном комплексе «Хроматэк-Кристалл 5000.2».

После удаления карбонатов из анализируемых образцов определялось содержание в них органического углерода ($C_{орг}$) на анализаторе АН 7529-М,

Для проведения геохимических расчетов на основе полученных пиролитических данных применялась оригинальная диаграмма $HI-T_{max}$, которая построена с использованием результатов анализов элементного состава различных типов пород, характеризующихся повышенным содержанием ОВ.

От обычно используемых предлагаемая диаграмма отличается равномерным распределением изолиний катагенетического созревания ОВ того или иного типа от исходного («незрелого») его состояния до завершения процесса нефтегазогенерации (рис. 1, а) [6, 10].

Кроме значений HI , расположенных на правой оси ординат, для удобства ведения расчетов на левой оси нанесена равномерная шкала со значениями исходного нефтегазогенерационного потенциала всевозможных типов ОВ, которые изменяются от 0 до 100 %. С этой шкалы спускаются упомянутые гипотетические «нефтегазогенерационные» (сокращенно – генерационные) кривые, расположенные через 5 % друг от друга (см. рис. 1, б) [6]. В дальнейшем рассматриваемый параметр будем называть

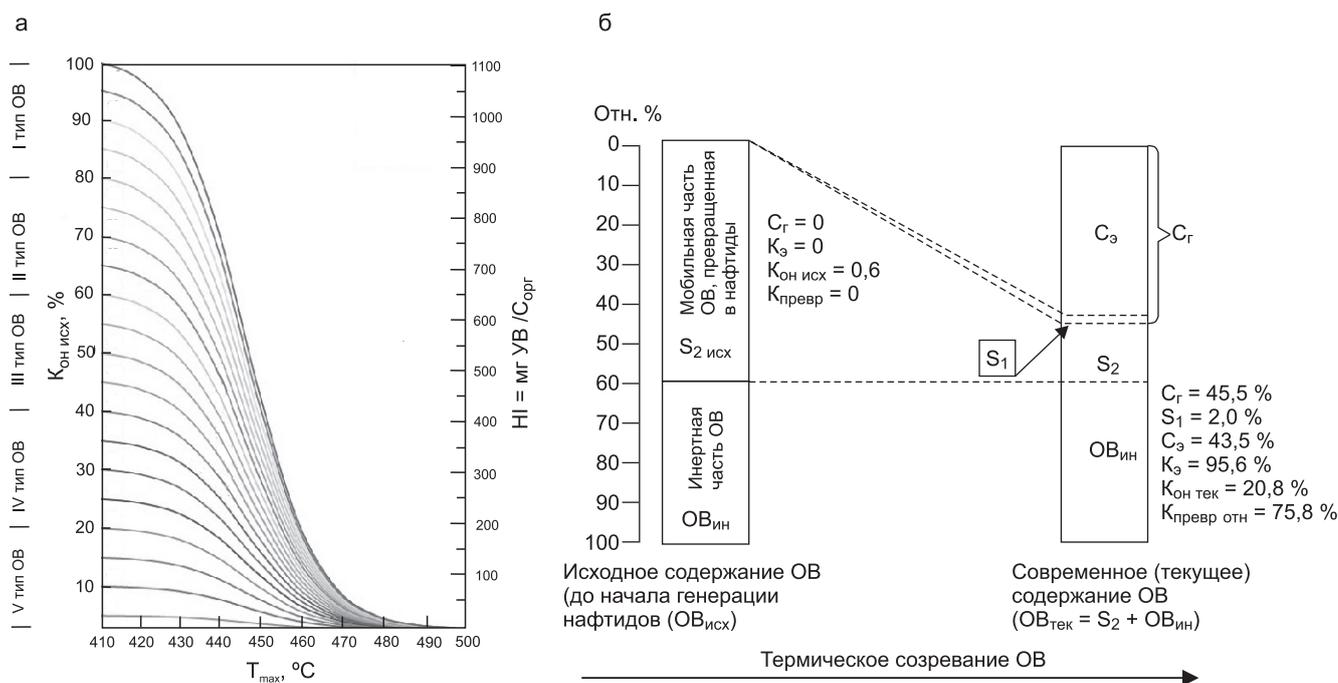


Рис. 1. Модифицированная диаграмма $T_{max}-HI(K_{ОН\text{ исх}})$ (а) и схема термического созревания органического вещества II типа (б) (по [6])

коэффициентом остаточной нефтегазогенерации ($K_{ОН}$), а его первоначальное (исходное) значение (до начала процесса нефтегазогенерации) обозначим как $K_{ОН\text{ исх}}$. Именно эти значения $K_{ОН\text{ исх}}$, как и HI , расположены на осях ординат напротив друг друга (см. рис. 1, а) [10].

Прежде чем приступить к расчетам нефтегазогенерационных свойств ОВ, входящего в состав образцов керна, отобранных на геохимические анализы с помощью идеализированной номограммы катагенетического созревания ОВ, сделаем некоторые пояснения и введем ряд обозначений.

Для облегчения понимания следующих экспериментальных и расчетных данных приведена упрощенная схема термического созревания ОВ II типа, в процессе которого происходит генерация им нафтидов (см. рис. 1, б) [6, 10].

Все расчетные генерационные параметры приводятся в весовых процентах, рассчитанных на породу.

В предыдущих публикациях [6, 10] подробно охарактеризованы методики определения: исходного содержания ОВ ($OB_{исх}$); первоначального значения S_2 ($S_{2\text{ исх}}$), соответствующего мобильной (превращаемой в нафтиды) части ОВ; значения $K_{ОН\text{ исх}}$ дающие представление об исходном значении остаточного нефтегазогенерационного потенциала (%); текущего значения остаточного нефтегазогенерационного потенциала ($K_{ОН\text{ тек}}$); абсолютного значения коэффициента превращения $OB_{исх}$ в нафтиды ($K_{превр\text{ абс}}$); относительного значения $K_{превр\text{ отн}}$; количества образовавшихся (C_1) и эмигрировавших (C_3) нафтидов; коэффициента эмиграции (K_3). Поэтому мы не будем останавливаться на описании методики и способах расчета перечисленных параметров.

При характеристике нефтегенерационных свойств анализируемых образцов пород использованы не все перечисленные параметры, а только наиболее информативные из них – $K_{превр\text{ отн}}$, C_r и K_3 .

Для реконструкции механизма формирования залежей газа в сеноманских отложениях применялись два метода тектонофизического моделирования (оптико-поляризационный и тектоно-седиментационный, которые далее для краткости обозначим как просто оптический и седиментационный). Основой для тектонофизического моделирования служили сейсмические разрезы [7].

Оптический метод исследования напряжений основан на явлении двулучепреломления в прозрачных аморфных оптически активных материалах (использовался желатин), подвергнутых деформации. При этом изменение двойного лучепреломления в таких телах находится в прямой зависимости от величины напряжений, возникающих в деформируемом теле [7].

Построение траекторий нормальных и касательных напряжений производилось на основе съемки изохром и изоклин, возникающих в напряженной модели в результате двулучепреломления [7, 8]. Преимущества метода используются для выявления участков повышенных значений касательных напряжений τ_{max} и прогноза в их пределах разрывных дислокаций в направлении траекторий нормальных и касательных напряжений, построенных по карте изоклин оптического поля [7, 8].

Седиментационный метод представлен двумерным седиментационным моделированием. Седиментационные модели изготавливались из двух основных типов осадков – компетентных и некомпетентных; первые – из цемента и/или алебаstra,



Таблица 1

Усредненные результаты пиролитических исследований и рассчитанные на их основе нефтегенерационные свойства образцов пород юрского и мелового возраста, отобранных из скв. 50 Медвежьего, скв. 292 и 739 Уренгойского месторождений

Интервал, м (объект)	C _{орг} % на исходную породу	УВ, мг/г породы		Нl, мг УВ/C _{орг}	T _{max} , °C	K _{превр.отн.}	C _г %	K _з
		S ₁	S ₂					
<i>Медвежье месторождение, скв. 50</i>								
Пласт БН ₅	<u>0,46–1,86</u> 1,05 (9)	<u>0,09–0,03</u> 0,20	<u>0,18–4,74</u> 1,23	<u>29,6–396,5</u> 105,5	<u>425–438</u> 432	<u>19,25–48,7</u> 31,63	<u>0,01–0,12</u> 0,04	<u>8–62</u> 36
Пласт БН ₇	<u>0,37–0,65</u> 0,46 (5)	<u>0,10–0,17</u> 0,13	<u>0,12–0,31</u> 0,19	<u>31,0–49,0</u> 42,0	<u>425–431</u> 429	<u>31,14–49,18</u> 43,40	<u>0,01–0,02</u> 0,016	<u>15–27</u> 19
Пласт БН ₁₀	<u>0,48–1,03</u> 0,67 (8)	<u>0,16–0,40</u> 0,23	<u>0,18–0,98</u> 0,41	<u>31,0–49,0</u> 58,0	<u>430–439</u> 434	<u>31,28–52,65</u> 40,35	<u>0,02–0,05</u> 0,03	<u>0–39</u> 19
Пласт БН ₁₁	<u>0,53–0,69</u> 0,62 (5)	<u>0,14–0,19</u> 0,17	<u>0,16–0,43</u> 0,26	<u>23,0–68,0</u> 42,0	<u>429–442</u> 437	<u>28,09–48,00</u> 40,45	<u>0,02–0,03</u> 0,023	<u>14–36</u> 22
<i>Уренгойское месторождение, скв. 739</i>								
Надачимовская толща	<u>0,34–0,81</u> 0,63 (13)	<u>0,01–0,04</u> 0,03	<u>0,06–0,70</u> 0,31	<u>14,6–94,6</u> 45,2	<u>445–450</u> 448	<u>42,16–60,62</u> 48,10	<u>0,03–0,26</u> 0,13	<u>59–99</u> 82
Ачимовская и подачимовская толщи	<u>0,74–1,80</u> 1,33 (7)	<u>0,02–0,70</u> 0,29	<u>0,70–3,43</u> 2,08	<u>82,9–214,4</u> 150,3	<u>446–451</u> 449	<u>36,0–47,51</u> 43,0	<u>0,05–0,29</u> 0,16	<u>15–27</u> 19
Баженовская свита и верхняя часть георгиевской	<u>5,50–6,60</u> 6,10 (6)	<u>0,90–7,00</u> 4,45	<u>7,81–38,09</u> 24,66	<u>134,7–692,5</u> 409,4	<u>446–449</u> 447	<u>36,71–72,86</u> 47,03	<u>0,61–10,3</u> 3,13	<u>70–93</u> 81
<i>Уренгойское месторождение, скв. 292</i>								
Надачимовская толща	<u>0,47–0,96</u> 0,65 (7)	<u>0,07–0,36</u> 0,14	<u>0,32–1,55</u> 0,70	<u>60,0–174,0</u> 101,0	<u>429–440</u> 435	<u>18,72–36,06</u> 27,04	<u>0,01–0,04</u> 0,02	<u>5–58</u> 42
Ачимовская и подачимовская толщи	<u>0,51–5,56</u> 1,91 (7)	<u>0,08–1,79</u> 0,64	<u>0,38–11,10</u> 3,04	<u>75,0–216,0</u> 132,0	<u>433–452</u> 442	<u>20,08–52,47</u> 33,75	<u>0,02–1,30</u> 0,25	<u>9–86</u> 47
Нижневасюганская подсвита	0,99 (1)	0,13	0,45	46,0	445	47,38	0,05	72
Верхняя часть большехетской серии	<u>1,72–22,47</u> 8,91 (24)	<u>0,41–10,10</u> 3,19	<u>1,55–63,82</u> 19,50	<u>77,0–351,0</u> 180,0	<u>449–467</u> 460	<u>42,75–89,52</u> 74,10	<u>0,13–22,7</u> 7,14	<u>53,98</u> 92
Средняя часть большехетской серии	<u>4,03–39,30</u> 18,27 (5)	<u>1,40–12,68</u> 6,11	<u>3,13–93,37</u> 40,52	<u>78,0–239,0</u> 191,0	<u>456–465</u> 461	<u>61,45–93,19</u> 78,64	<u>0,54–81,7</u> 30,24	<u>74–99</u> 91

Примечание. В числителе – интервал значений, в знаменателе – среднее (в скобках – кол-во образцов).

вторые – из природных песчано-алевритовых и глинистых осадков [7].

Результаты исследований

Сначала постараемся оценить генерационные свойства нижнемеловых (неоком) и юрских (баженовская свита, большехетская серия) отложений, чтобы понять, хватит ли генерируемых этими отложениями нафтидов для заполнения пород-коллекторов, входящих в состав меловых отложений, и, конечно, в первую очередь сеноманских песчаников. С этой целью сначала были исследованы генерационные способности образцов, отобранных из неокомских и юрских отложений Медвежьего и Уренгойского месторождений (рис. 2–4; табл. 1).

Анализ полученных результатов показал, что степень катагенетического или термического пре-

ращения исходного ОВ в нафтиды закономерно увеличивается с ростом глубины и возраста отложений от 31,6 % (пласт БН₅) до 78,6 % (средняя часть большехетской серии). В этом же направлении отмечается рост коэффициента эмиграции образовавшихся нафтидов (от 36 до 91 %).

Крайне низкими генерационными свойствами (0,016–0,13 %) отличаются глинистые осадки тангаловской свиты (пласты БН₅–БН₁₁) и надачимовские отложения (см. табл. 1), что объясняется очень низким содержанием в них ОВ и преимущественно гумусовым его составом (см. рис. 2–4).

Ачимовские и подачимовские отложения генерировали почти на порядок больше нафтидов, чем рассмотренные ранее осадки, но их абсолютные значения также невелики и в среднем изменяются от 0,13 до 0,25 % (см. рис. 3, 4, табл. 1).

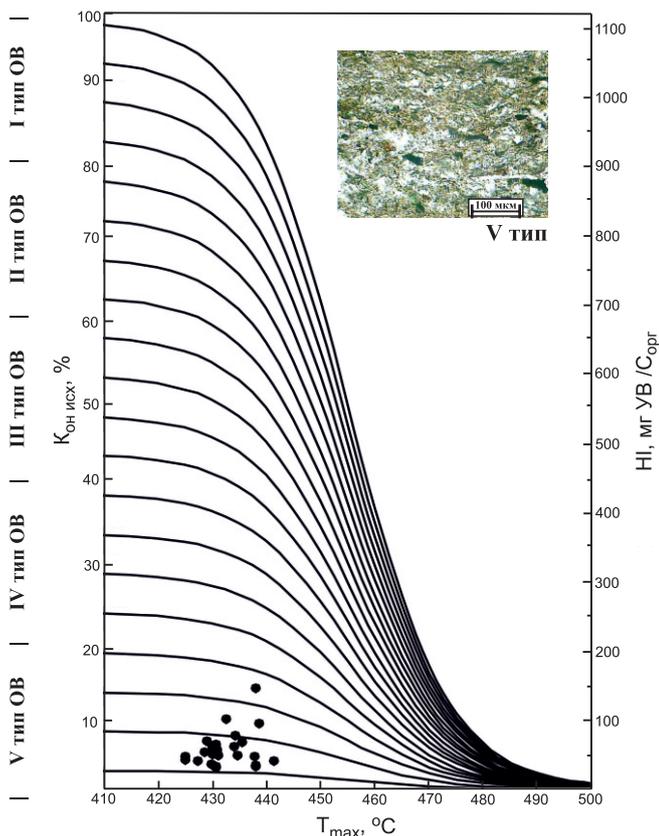


Рис. 2. Модифицированная диаграмма $T_{max} - HI(K_{он\ иск})$ и фотография петрографического шлифа образца, содержащего V тип ОВ, Медвежье месторождение, скв. 50 (по [10])

Самыми высокими генерационными свойствами характеризуются осадки баженовской свиты (до 10,3 %) и углистые отложения большехетской серии

(в среднем 7,14–30,24 %). Такие высокие значения объясняются высокой степенью термического (катагенетического) преобразования этих отложений и преимущественно сапропелевым составом исходного ОВ (см. рис. 3, табл. 1). Иными словами, углистые глины и глинистые угли, входящие в состав большехетской серии, сложены остатками не высшей, а низшей (преимущественно водорослевой) растительности [10].

Используя данные о мощности пород-генераторов и коллекторов в составе рассматриваемых отложений, вскрытых тремя рассматриваемыми скважинами, несложно определить их удельные (в расчете на 1 м²) генерационные и емкостные свойства (табл. 2).

Из выполненных расчетов следует, что объем порового пространства в неокомских отложениях (сортымская и тангаловская свиты) в десятки и даже сотни раз превышает объем нафтидов, образовавшихся в этих же отложениях. Даже с учетом нафтидов, генерированных баженовской свитой, поровое пространство пород-коллекторов сортымской свиты превышает их объем в 3 раза (см. табл. 2).

Лишь углисто-глинистыми отложениями большехетской серии генерировано почти в 2 раза больше нафтидов, чем способны вместить одновозрастные породы-коллекторы и ачимовские осадки. Следовательно, «избыточные» их объемы могли попасть выше, например, в песчано-алевритовые отложения тангаловской или даже покурской свит (см. табл. 2).

Из полученных результатов следует однозначный вывод: генераторами нафтидов являются юр-

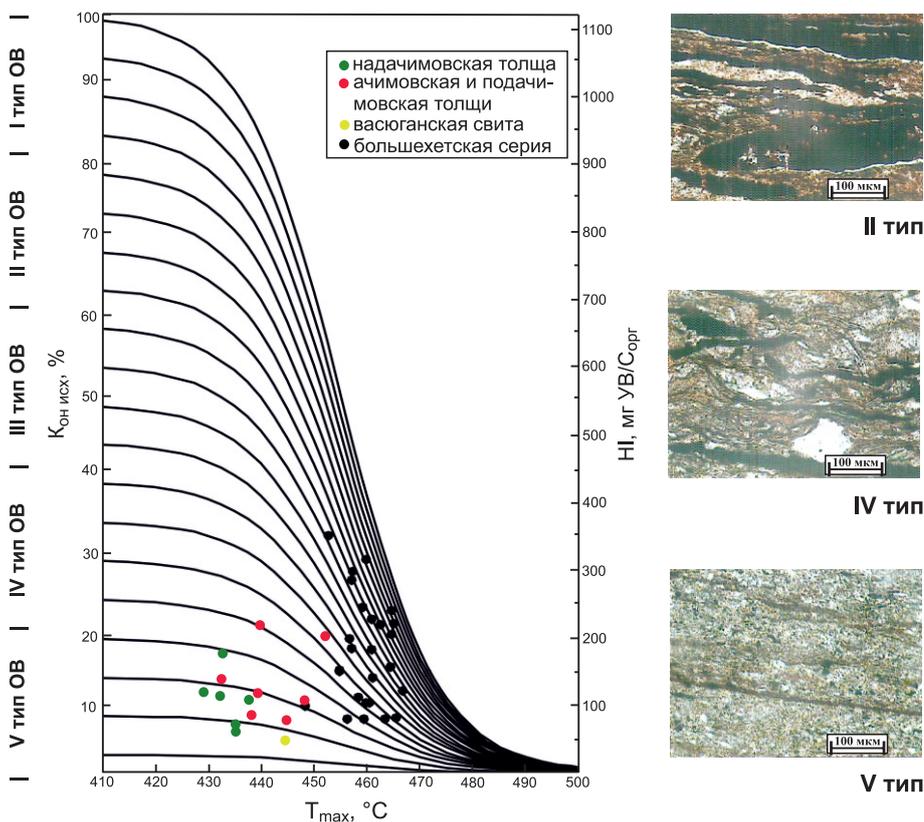


Рис. 3. Модифицированная диаграмма $T_{max} - HI(K_{он\ иск})$ и фотографии петрографических шлифов образцов, содержащих различные типы ОВ, Уренгойское месторождение, скв. 292 (по [10])



Таблица 2

Результаты удельных (на 1 м²) нефтегенерационных и емкостных свойств юрских и неокомских отложений Медвежьего (скв. 50) и Уренгойского (скв. 739 и 292) месторождений

Объект	Объем образовавшихся УВ ($V_{уб}$)·10 ⁻² , м ³	Суммарная эффективная емкость песчаников ($V_{пор}$), м ³	Соотношение генерационных и емкостных свойств пород	
			$V_{уб}/V_{пор}$	$V_{пор}/V_{уб}$
<i>Медвежье месторождение, скв. 50</i>				
Пласт БН ₅	0,90	0,75	–	83,3
Пласт БН ₇	0,45	1,41	–	313,3
Пласт БН ₁₀	0,77	0,36	–	46,8
Пласт БН ₁₁	0,30	0,23	–	46,7
В целом по скважине	2,42	2,75	–	113,6
<i>Уренгойское месторождение, скв. 739</i>				
Надачимовская толща	12,0	2,14	–	17,8
Ачимовская и подачимовская толщи	4,0	2,52	–	63,0
Баженовская свита и верхняя часть георгиевской	128	0,005*	256	–
В целом по скважине	144,0	4,67	–	3,2
<i>Уренгойское месторождение, скв. 292</i>				
Надачимовская толща	0,50	1,82	–	364,0
Ачимовская и подачимовская толщи	4,90	1,90	–	34,8
Нижневасюганская подсвита	–	–	–	–
Верхняя часть большехетской серии	872,20	1,26*	6,9	–
Средняя часть большехетской серии	–	–	–	–
В целом по скважине:	882,58	4,98	1,8	–

*Значения относятся к битуминозным аргиллитам и углистым глинам.

ские осадки, а коллекторами – преимущественно нижнемеловые отложения [10]. Причем генерированных юрскими осадками УВ явно недостаточно, чтобы насытить породы-коллекторы сортымской и тангаловской свит, не говоря уже о покурской, в кровельной части (сеноман) которой присутствуют огромные запасы газа.

Следует также помнить, что между продуктивными пластами тангаловской свиты и газоносными сеноманскими горизонтами находится мощная пачка глинистых флюидоупоров, в которой толщина отдельных прослоев глин достигает 20–30 м. Поэтому УВ, генерированным юрскими битуминозными отложениями баженовской свиты и углистыми осадками большехетской серии, очень сложно попасть в сеноманские песчаники через этот многометровый экран.

Таким образом, исходя из органогенной (осадочно-миграционной) концепции образования газовых залежей в сеноманских песчаниках, можно предположить, что источник газа присутствует именно в осадках покурской свиты.

Нижняя часть покурской свиты, по мнению большинства исследователей, накапливалась в континентальных условиях и в ее составе присутствуют

маломощные (0,2–0,4 м) углистые отложения, содержащие преимущественно гумусовое ОВ. В настоящее время это ОВ находится на бурогольной стадии катагенеза, и, следовательно, угли относятся к категории бурых, т. е. пока еще не вступивших в нефтяное «окно». На основе данных изотопных исследований углерода, метан, являющийся главным компонентом сеноманских газовых залежей, вероятно, имеет преимущественно биогенный генезис [1, 5, 20, 21]. Тем не менее очевидно, что раннедиагенетический биогенный метан, образовавшийся на начальной стадии анаэробного преобразования осадка автотрофными микроорганизмами (метаногенами), был утерян из-за отсутствия надежного флюидоупора. Поэтому остается предположить, что залежи газа образовались термофильными метаногенами гораздо позднее.

О такой возможности свидетельствует недавнее открытие западных ученых, установивших, что бурый уголь (лигнит) превращается в каменный (они называют его битуминозным) в результате воздействия на него термофильных метаногенов (*Methermicoccus shengliensis*) [25].

Чтобы разобраться с механизмом образования метана из лигнита, рассмотрим состав и стро-

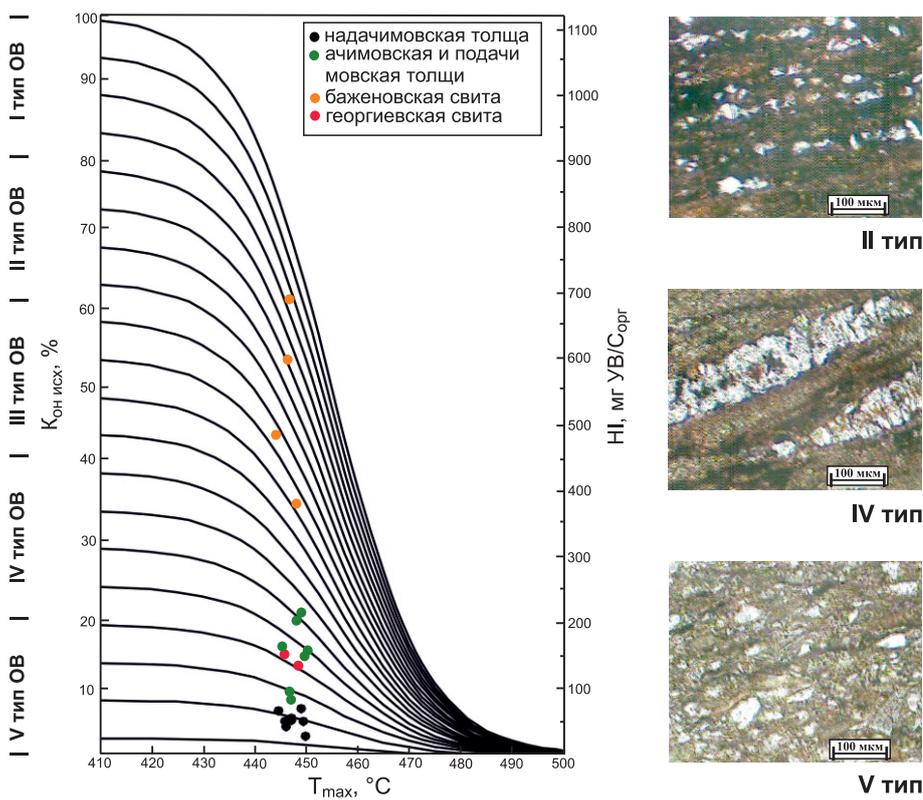


Рис. 4. Модифицированная диаграмма $T_{max} - HI(K_{OH\text{ исх}})$ и фотографии петрографических шлифов образцов, содержащих различные типы ОВ, Уренгойское месторождение, скв. 739 (по [10])

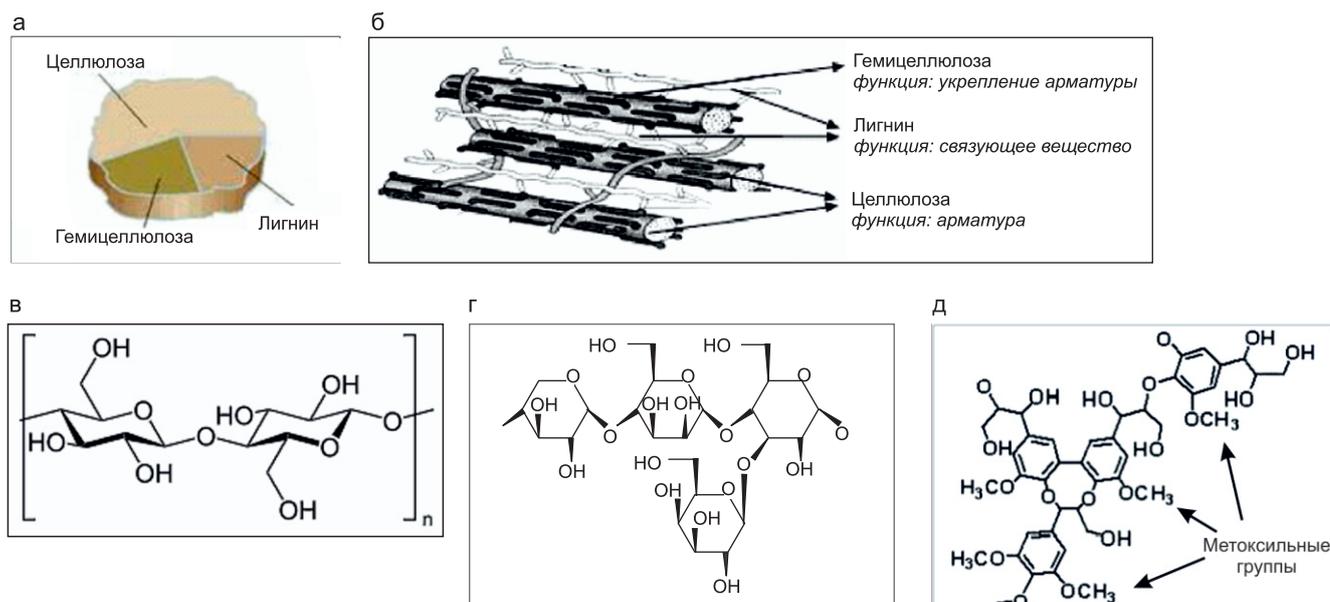


Рис. 5. Состав (а) и строение (б) древесины, а также фрагменты молекулярного строения главных компонентов древесины: целлюлозы (в), гемицеллюлозы (г) и лигнина (д)

ение древесины. Основные компоненты древесины – первые два являются полисахаридами (см. рис. 5, в, г), поэтому они еще в диагенезе активно разлагаются микроорганизмами, а в анаэробных условиях – в том числе и метаногенами, которые на этом этапе генерируют метан с самым изотопно легким углеродом ($\delta^{13}C$ до -80‰). Поэтому к бурой угольной стадии преимущественно сохраняется лишь лигнин, который и является главным компонентом бурого угля, или лигнита (см. рис. 5, д).

По данным [25], основной компонент при выработке микроорганизмами метана – метоксильные

группы ($O-CH_3$), которые микроорганизмы отделяют от молекул лигнина, входящих в состав лигнита (см. рис. 5, д).

В настоящее время пластовые температуры в рассматриваемых отложениях составляют $75-90^\circ C$. Эти значения критические для выживания даже термофильных микроорганизмов, поэтому можно предположить, что сейчас процесс генерации метана этой группой микроорганизмов преимущественно закончился.

К сожалению, оценка удельного содержания ОВ в составе покурской свиты, и в частности в ее



нижней («континентальной») части, не проводилась. Поэтому для оценочных расчетов примем в ней суммарную мощность рассеянного и концентрированного ОВ гумусового типа равной 20 м, а содержание метоксильных групп в этом ОВ, из которого путем деметилирования микроорганизмами вырабатывался метан, равным 10 % [25]. Вычисления проведем в расчете на площадь 1 м². Примем мощность газонасыщенного песчаника равной 100 м, а его эффективную пористость – 30 %. Тогда объем порового пространства в столбе песчаника, имеющего объем 100 м³ составит 30 м³. Будем считать плотность газа в пластовых условиях равной 70 кг/м³. Тогда его вес в этом столбе песчаника с основанием 1 м² составит 2100 кг.

Будем считать плотность лигнита равной 1300 кг/м³. Тогда, исходя из его суммарной мощности (20 м) и содержания метоксильных групп (10 %), их вес на той же площади (1 м²) составит 2600 кг. Если предположить, что коэффициент эмиграции образовавшегося биогенного метана близок к 100 % и метан практически полностью собрался в сеноманском песчанике, то количество генерированного за счет метоксильных групп лигнита метана и его содержание в столбе песчаника с таким же основанием имеют близкие значения.

Рассмотрим теперь альтернативную (абиогенную) точку зрения на образование сеноманских залежей газа, для чего используем данные ученых-вулканологов. Трудность оценки содержания абиогенного метана в составе вулканических газов заключается в том, что его концентрация варьирует в значительных пределах (от 0,005 до 20,1 %) [4, 14, 17, 26], причем зависит от типа магматического расплава, из которого он выделяется, его температуры, и, кроме того, изменяется во времени. Даже в пределах одного и того же вулканического аппарата в составе газов, выделяющихся из разных полостей и трещин, содержание метана также варьирует в значительных пределах [4, 14, 17]. Поэтому проводимые расчеты имеют лишь очень приблизительный оценочный характер.

В работах [4, 14] приводятся данные о количестве метана, выделяющегося в пределах трех термальных полей знаменитой кальдеры Узон (Камчатка), – около 560 тыс. м³/год. По самым скромным оценкам, запасы метана в ЯНАО составляют 93 трлн м³. Исходя из приведенных данных, для создания обсуждаемых залежей газа термальным площадкам кальдеры Узон потребовалось бы 166 млн лет!

Однако эти расчеты сделаны лишь для единичной вулканической кальдеры, имеющей сравнительно небольшую площадь (около 100 км²), ограниченную размером расположенного под ней магматического тела. Поэтому известный интерес представляет оценка площади магматических тел, из которых могли бы выделяться объемы метана, необходимые для создания се-

номанских залежей газа за определенный период времени.

Время образования залежей газа точно не установлено, однако можно предположить, что они имеют сравнительно молодой (кайнозойский) возраст. Такой же точки зрения придерживался и Э. М. Галимов [2]. Чтобы приблизительно определить период, в течение которого могли образоваться газовые залежи, исходя из предположения об их абиогенном образовании, пересчитаем полученные ранее результаты на определенную площадь. Эти расчеты показывают, что со всех трех площадок кальдеры Узон в год выделяется около 8,9 тыс. м³/км² метана.

Тогда, если предположить, что суммарная площадь генерирующих площадок, расположенных в фундаменте северной части Западной Сибири, составляет, например, 1000 км², то с их площади выделится в год примерно 9 млн м³ метана. Исходя из минимальных оценок запасов метана в ЯНАО (93 трлн м³) потребуется около 10,5 млн лет для того, чтобы накопить такие запасы с выбранной для расчетов площадки (без учета рассеявшейся и растворившейся в пластовых водах его части).

Рассмотрим факты, свидетельствующие о присутствии эндогенных (ювенильных) флюидов в осадочном чехле рассматриваемого района Западной Сибири.

В самых первых публикациях, в которых рассматривалась возможность проникновения ювенильных флюидов в юрские и меловые отложения, в качестве доказательств использовались следующие критерии: высокие геотермические градиенты и, соответственно, повышенные пластовые температуры, развитие вертикальной миграции CO₂ и слабоминерализованных щелочных вод [12, 18, 19]. По мнению исследователей, проникновение таких глубинных растворов из фундамента приводит к формированию в юрских и/или меловых отложениях гидрохимической инверсии с превращением минерализованных (жестких) пластовых вод хлоркальциевого типа в слабо минерализованные гидрокарбонатно-натриевые щелочные воды. Решающее влияние на состав и минерализацию пластовых вод в местах проникновения в них эндогенных гидротермальных растворов А. А. Розин и З. Я. Сердюк связывают с присутствием в них большого количества CO₂ [18, 19].

В недавней публикации Т. А. Киреевой и Д. И. Будановой [11] приводятся следующие доказательства присутствия в меловых отложениях северной части Западной Сибири гидротермальных растворов:

– отмечается нарушение нормальной вертикальной гидрохимической зональности и формирование инверсионного гидрохимического разреза, характеризующегося снижением с глубиной общей минерализации пластовых вод, обнаружение в нижнеэокомских отложениях вод с минерализа-

цией 1–7 г/л, а также одновременное изменение химического состава пластовых вод с Cl-Na-Ca на HCO_3^- -Cl-Na;

– отношения В/Вг, а также Na-K геотермометр свидетельствуют о том, что формирование мало-минерализованных гидрокарбонатно-натриевых вод произошло в результате поступления в водоносные породы значительного количества гидротермальных (температура 150–279 °С) ювенильных флюидов, насыщенных CO_2 ;

– установленному увеличению температуры растворов соответствует четко выраженное снижение их минерализации (<5 г/л), которое коррелирует с температурой формирования раствора (>100 °С), а уменьшению минерализации до значений <1 г/л – температура до 279 °С;

– полученным значениям отношения В/Вг > 2 соответствует температура не менее 200 °С;

– установленное отношение В/Вг в нижнемеловых отложениях значительно (на порядок) превышает таковые, характерные для седиментогенных пластовых вод, и приближается к значениям, типичным для современных гидротерм.

В работе, посвященной гидрохимической зональности и типизации подземных вод Западно-Сибирского бассейна [3] действительно отмечается заметный рост концентрации в северном направлении иона HCO_3^- в составе пластовых вод ниже-

меловых отложений и смена типа вод с Cl-Na-Ca на HCO_3^- -Cl-Na (рис. 6).

В этом же направлении установлено значительное увеличение геотермического градиента с обычного 3,3°/100 м на юге бассейна до 5,5°/100 м и даже выше на севере. Кроме того, в северном направлении отмечается снижение напоров (пластовых давлений) с юга на север, что вызывает движение пластовых вод и наклон газо-водяных контактов ряда залежей на северо-северо-восток [13, 15, 18, 22].

При этом в верхней части осадочной толщи пластовые давления аномально низкие (АНПД), особенно в верхнемеловых отложениях (здесь сформировалась зона разрежения (разуплотнения), механизм формирования которой будет рассмотрен далее). В нижней (юрской) части осадочного разреза пластовые давления часто проявляются в виде АВПД [22] Иными словами, в юрских осадках наблюдается область сжатия.

Установлено гидротермальное или, вернее, тектоно-гидротермальное воздействие на неокотские отложения северной части Западной Сибири [8]. Оно проявилось в активном выщелачивании кислыми с низкой минерализацией гидротермальными флюидами неустойчивых в этих условиях минералов (прежде всего плагиоклазов и мафических минералов) и, напротив, в кристаллизации эпигенетических гидротермальных минералов, представленных кварцем, каолинитом (диккитом), сидеритом, рутилом, баритом, разнообразными сульфидами (рис. 7), редкоземельными карбонатами, фосфатами и силикатами, которые часто ассоциируют с битумом (рис. 8).

В 1988 г. Н. А. Озерова (Петропавловск-Камчатский) при личной встрече сообщила, что в газопроводных трубах жилых домов тогдашней ГДР была обнаружена капельножидкая ртуть! Экологи, исследовавшие почву вблизи газовых фонтанов, расположенных на территории ЯНАО, также отметили повышенные концентрации ртути. Выделения ртути вместе с газовыми эманациями и гидротермальными растворами хорошо известны [16, 17, 23]. Поэтому присутствие ртути в составе газа может свидетельствовать о его если не полной, то хотя бы частичной связи с эндогенными процессами, так как растительные и животные организмы не содержат в себе ртуть в силу ее крайней токсичности, а потому и биогенный газ не может ее содержать.

При определении генезиса метана чаще всего используется изотопный состав углерода в его составе [1, 2, 5, 21, 25]. По этому признаку обычно выделяют две главные генетические разновидности метана:

– биогенный (δC^{13} от –80 до –50 ‰) [1, 2, 5, 21, 25];

– эндогенный в изверженных породах, прошедший этап изотопного обмена с CO_2 (δC^{13} от –27 до –22 ‰) [2, 5, 21, 25].

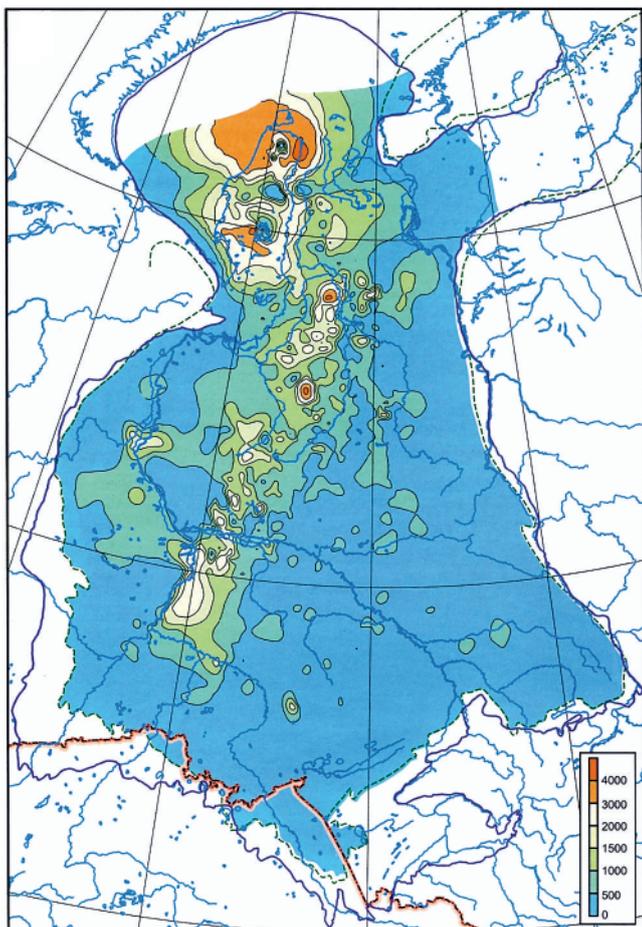


Рис. 6. Содержание (мг/л) HCO_3^- -иона в пластовых водах нижнемеловых отложений Западной Сибири (по [3])

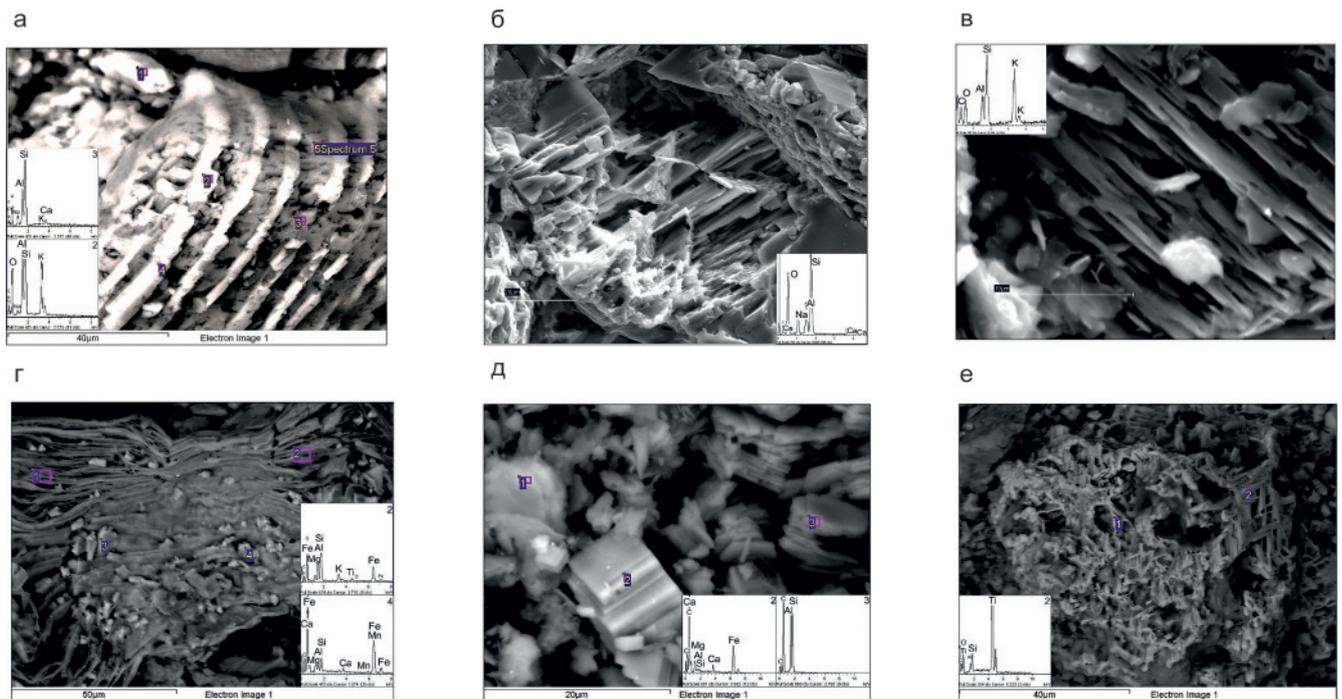


Рис. 7. Снимки РЭМ пород-коллекторов мелового возраста северной части Западной Сибири, подвергшихся тектоно-гидротермальному воздействию: выщелачивание (а–в, е) и новообразование (г, д) (по [8] с изменениями) а – щелочной полевой шпат (пласт ПК₁, Ямбургская площадь); б – плагиоклаз (пласт ТП_{12–13}, Северо-Парусовая площадь); в – щелочной полевой шпат (пласт БУ₈, Южно-Парусовая площадь); г – мелкокристаллический сидерит по биотиту (пласт ПК₁, Ямбургская площадь); д – кристаллы гидротермального сидерита и каолинита (пласт ТП₄, Северо-Парусовая площадь); е – пертиты рутила, оставшиеся после выщелачивания магнетитового минала из зерна титаномagnetита (пласт ТП₄, Северо-Парусовая площадь)

По данным [5], содержание изотопа δC^{13} в метане в сеноманских залежах газа Медвежьего и Уренгойского месторождений изменяется от -58 до $-44,5$ ‰, т. е. в соответствии с указанными критериями он относится преимущественно к биогенному типу с примесью эндогенного.

В работе [21] приводятся интересные и довольно неожиданные результаты пиролиза угля, которые свидетельствуют о том, что изотопный состав углерода изменяется следующим образом: $\delta C^{13}_{CO} < \delta C^{13}_{CH_4} < \delta C^{13}_{\text{уголь}} < \delta C^{13}_{CO_2}$. Иначе говоря, самый легкий изотопный состав углерода в продуктах пиролиза имеет не метан, а окись углерода! Вероятно, это объясняется кинетическим изотопным эффектом. Дело в том, что при температурах около 275 °С и выше CO_2 разлагается на окись углерода и кислород, причем при снижении давления равновесие еще больше сдвигается в сторону образования CO и O_2 [9]. Поскольку связи $C^{12}-O$ при термическом разложении молекул CO_2 рвутся быстрее, чем $C^{13}-O$, то вследствие этого отщепляющиеся молекулы CO обогащаются легким изотопом, а в остающихся целыми молекулах CO_2 накапливается преимущественно тяжелый изотоп C^{13} .

Если допустить, что деструкция и процесс декарбоксилирования OB происходит под воздействием эндогенных высокоэнтальпийных флюидов, в которых помимо воды, уголекислоты, метана и других летучих компонентов обязательно присутствует и водород [4, 14, 17, 26], то можно допустить и воз-

можность протекания процесса Фишера–Тропша с образованием УВ (включая метан), богатых легким изотопом углерода, унаследованного из участвующей в этой реакции CO [9].

Можно предположить, что из-за того же кинетического изотопного эффекта и эндогенная CO также обогащена легким изотопом углерода. Тогда при ее взаимодействии с водородом будут образовываться метан и другие УВ, содержащие углерод, обогащенный легким изотопом. Поэтому даже эндогенный метан, образовавшийся таким образом, может иметь «легкий» изотопный состав углерода.

Как в рассмотренном ранее механизме биогенной генерации метана из метоксильных групп ($O-CH_3$) лигнина, так и в абиогенном процессе Фишера–Тропша требуется водород. Но если в биогенной модели можно предположить, что водород, необходимый для превращения метоксильных групп в метан, извлекается микроорганизмами из молекул лигнина, то в абиогенной необходим дополнительный источник водорода. Поэтому следует оценить объем водорода, выделяющегося из магматических тел. Для этого, как и в случае магматического метана, воспользуемся данными вулканологов об объемах водорода, выделяющегося с термальных площадок кальдеры Узон – около $35,6$ тыс. m^3/km^2 [4, 14]. Значит, с площади 1 тыс km^2 в год выделится $35,6$ млн m^3 водорода, и этого количества достаточно для образования в год почти 95 млн m^3 абиогенного метана при условии, что из

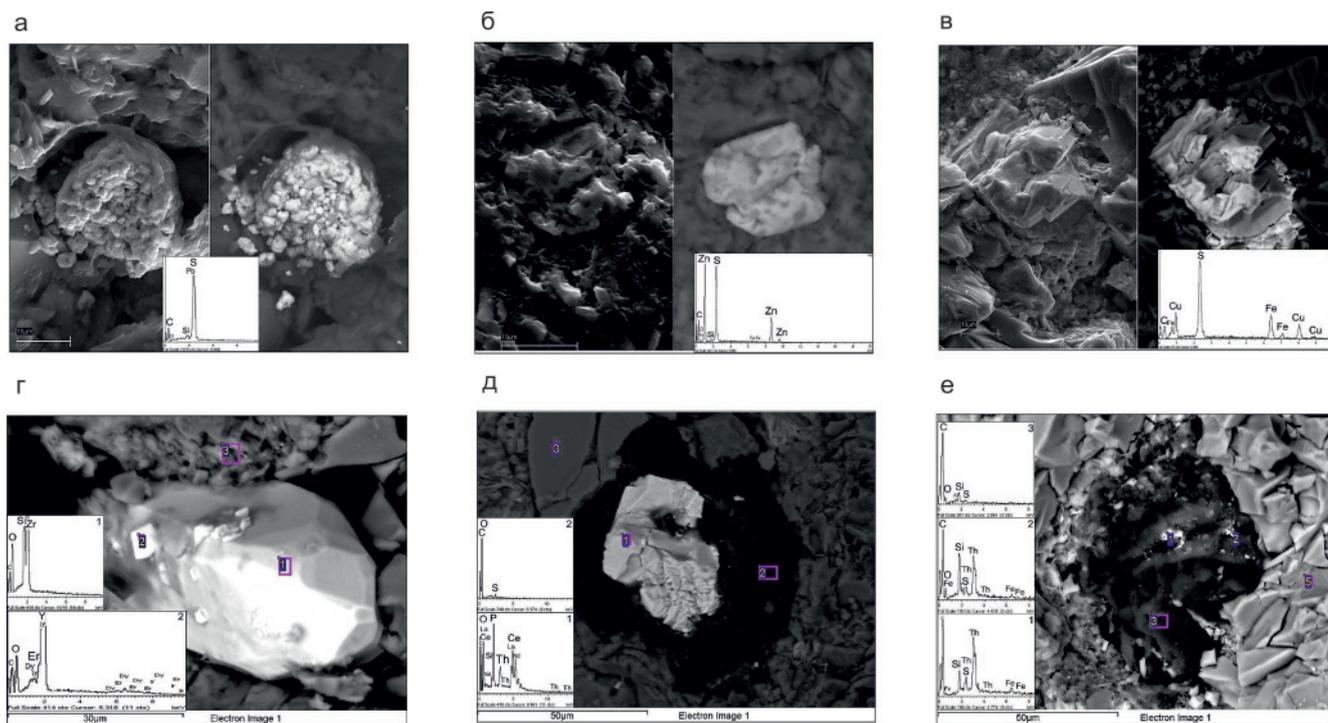


Рис. 8. Снимки РЭМ новообразованных минералов гидротермального происхождения в меловых отложениях севера Западной Сибири: сульфиды (а–в) и редкоземельные силикаты, фосфаты и окислы (г–е) (по [8] с изменениями) а – галенит; б – сфалерит (пласт БУ₁₄², Юбилейное месторождение); в – халькопирит; г – регенерированное зерно циркона с новообразованными мелкими кристаллами иттриита (Y₂O₃) (пласт БУ₈⁰, Южно-Парусовая площадь); д – монацит в тиобитуме (пласт ТП₅₋₆, Северо-Парусовая площадь); е – мелкие зерна торита (ThSiO₄) в тиобитуме (пласт БУ₁₁, Ямбургская площадь)

СО и Н₂ образуется только метан без учета других УВ. Иными словами, для возникновения всех залежей газа в ЯНАО описанным способом потребуется всего около 1 млн лет!

Аналогичные расчеты несложно выполнить и для оценки объема эндогенного СО₂. Они показывают, что со всех трех термических площадок той же кальдеры в год выделяется 6 млн м³/км² углекислого газа [14], значит, с площади 1 тыс. км² в год выделится примерно 60 млн м³ СО₂. Эти оценочные расчеты объемов ювенильной СО₂ (наряду со слабоминерализованными гидротермальными флюидами, в состав которых она входит) позволяют объяснить возникновение отмеченной ранее гидрохимической аномалии в нижнемеловых отложениях [3, 11–13, 18, 19, 22].

Необходимо также ответить на следующие основные вопросы:

1. Каким образом эндогенные высокоэнтальпийные флюиды, отделяющиеся от магматических тел, расположенных в основании фундамента, смогли проникнуть в осадочный чехол и принять участие в формировании гидрохимической аномалии в нижнемеловых пластовых водах?

2. Как биогенный метан, образовавшийся преимущественно в нижней части покурской свиты и в более древних отложениях, смог проникнуть через мощный глинистый экран в ее средней части в верхнюю и заполнить сеноманский песчаный коллектор?

3. Почему верхняя часть покурской свиты характеризуется аномально низкими давлениями, а в юрских коллекторах отмечаются аномально высокие, чем объяснить, что наблюдается снижение напора (пластового давления) в северном направлении и рост в том же направлении геотермического градиента в сеноманских отложениях?

Известно, что северная часть фундамента Западной Сибири и собственно сам осадочный чехол разбиты многочисленными тектоническими нарушениями, амплитуда которых составляет от первых десятков до первых сотен метров. Очевидно, что в возникновении перечисленных выше особенностей состава пластовых флюидов, их свойств и формировании УВ залежей не обошлось без влияния тектонических сил. Поэтому попробуем ответить на эти вопросы с помощью простейших тектонофизических моделей.

С целью анализа распределения напряжений, прогноза направления и плотности трещин, а также формирования зон разуплотнения (просадки) и смещения осадков вследствие роста поднятий использовались два уже описанных метода тектонофизического моделирования – оптический и двумерный седиментационный. С их помощью проанализируем закономерности формирования напряжений и ориентации трещин (в оптической модели) и смещения осадков и образования дислокаций, а также зоны разуплотнения (в седиментационной).

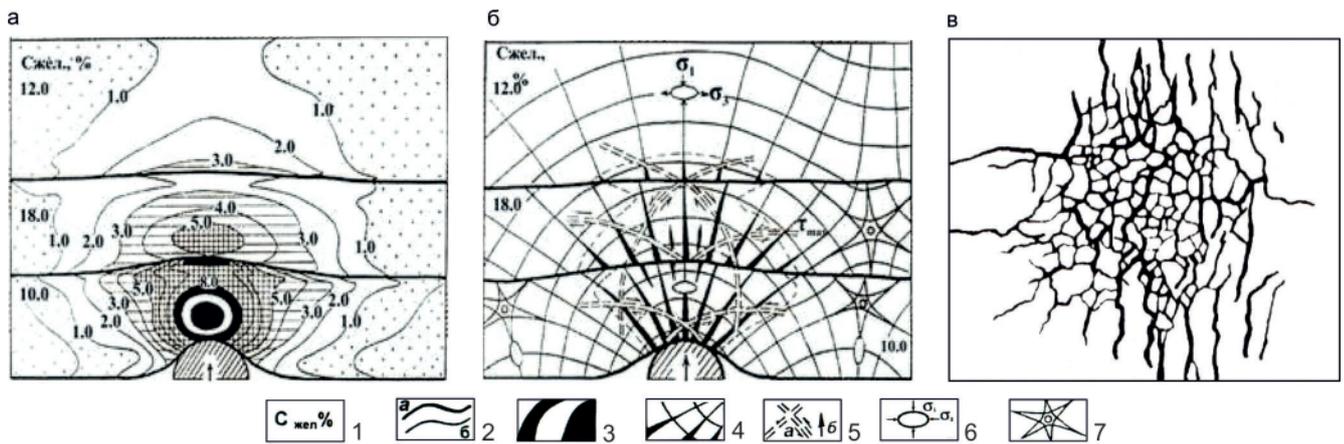


Рис. 9. Оптико-поляризационная модель симметричного поднятия (а, б) и зона дробления, сформировавшаяся над ним в тектоно-седиментационной модели (в) (по [7] с изменениями)

1 – концентрация желатина; 2 – границы между желатиновыми слоями (а), изохромы (уровни касательных напряжений) (б); 3 – максимальные значения изохром (более 8); 4 – траектории нормальных напряжений (σ_1), их уширения – прогнозируемые трещины; 5 – траектории касательных напряжений (τ_{\max}) (а), направление движения антиклинальных блоков (б); 6 – эллипсоид деформации; 7 – изотропная точка

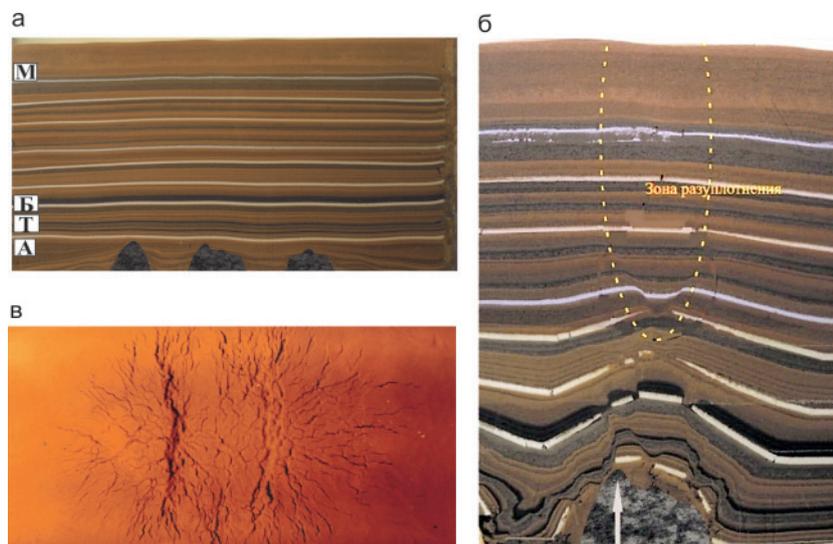


Рис. 10. Тектоно-седиментационная модель симметричного поднятия: а – исходное состояние модели; б – после роста центрального поднятия; в – зона просадки (разуплотнения), вышедшая на поверхность модели (по [7])

Начнем рассмотрение с трехслойной оптической модели, в которой моделируется рост симметричного поднятия (рис. 9). Нижний слой имитирует юрские отложения, средний – осадки сортымской и тангаловской свит, верхний – покурскую свиту и перекрывающие ее осадки. Непосредственно над самым поднятием (в «юрских» отложениях) формируется зона сжатия с высокой концентрацией напряжений – более 8 условных единиц (далее по тексту – у. е.). Она постепенно расширяется по направлению вверх до границы с «нижнемеловыми» осадками, в которых также отмечается образование зоны повышенных касательных напряжений (до 5 у. е.), однако в отличие от нижней, являющейся участком сжатия, эта зона представляет собой зону растяжения или разуплотнения (см. рис. 9, а), она проникает также в толщу «покурской» свиты, однако значений напряжений здесь снижается до 2–3 у. е.

Анализ направления изоклин в оптической модели позволил осуществить прогноз ориентации трещинных дислокаций, которые возникают вследствие роста симметричного поднятия. Непосредственно над его вершиной дислокации имеют

средственно над его вершиной дислокации имеют субвертикальную ориентацию, а по мере смещения по крыльям поднятия к его основанию начинают «наклоняться», приобретая все более пологую ориентацию (см. рис. 9, б).

Первыми образуются трещины в зоне сжатия, которые поднимаются вверх по мере роста симметричного поднятия. Затем по мере увеличения напряжений в перекрывающих отложениях (в зоне разуплотнения) также образуются трещины отрыва, которые начинают «расти» преимущественно вниз. В некоторый момент обе зоны трещиноватости соединяются, образуя единую область дробления. Если поднятие имеет достаточно большую амплитуду, то зона дробления проникает и выше в осадки, имитирующие покурскую свиту (см. рис. 9, б). Субвертикальная зона дробления, сформировавшаяся в верхней части седиментационной модели над симметричным поднятием (вид сверху) приведена на рис. 9, в. Следует отметить, что латеральные размеры образующейся зоны дробления заметно превышают размеры поднятия, над которым она обра-

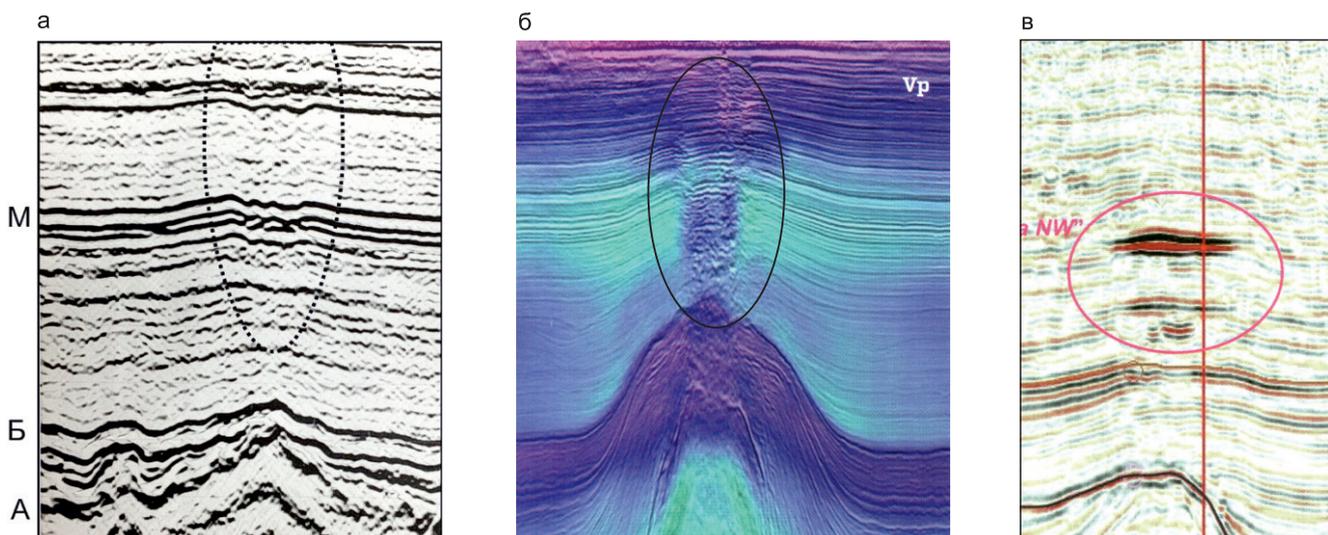


Рис. 11. Примеры зон просадки (разуплотнения) на сейсмических разрезах: а – Пальняновская площадь (по [8]); б – переработанный сейсмический разрез центральной части Северного моря (CGG, 2020); в – средиземноморский шельф Хорватии, «яркие пятна» – залежи газа (по [24])

зается, что было показано ранее при интерпретации оптической модели (см. рис. 9, б).

В седиментационной модели (рис. 10, а) рост поднятия привел к возникновению субвертикальных трещин в компетентных слоях (имеющих белый цвет), а также формированию предсказанной ранее на примере оптической модели, зоны разуплотнения или просадки (см. рис. 10, б). В рассматриваемой модели поднятие имело достаточно большую амплитуду и вытянутую форму, поэтому зона разуплотнения вышла на поверхность модели в форме малоамплитудного грабена с многочисленными опережающими его трещинными дислокациями (см. рис. 10, в).

На рис. 11, а хорошо видна зона разуплотнения, образовавшаяся в результате роста симметричного поднятия [7], а на рис. 11, б, помимо зон разуплотнения, прекрасно выделяются субвертикальные участки «пропаривания» осадков высокоэнтальпийными флюидами, выделившимися из магматического батолита (CGG, 2020). Причем эти флюиды мобилизуют поровую воду, в результате чего и формируются гидротермальные растворы, активно воздействующие на вмещающие их породы. На рис. 11, в в зонах разуплотнения выделяются залежи газа в виде «ярких пятен» [24].

Обсуждение полученных результатов

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в формировании сеноманских залежей газа северной части Западной Сибири могли участвовать как биогенные источники метана (термофильные метилотрофные метаногены), так и эндогенные. Попробуем оценить их соотношение в сеноманских газовых залежах. Будем считать, что биогенный метан характеризуется содержанием изотопа $\delta C^{13} = -60\text{‰}$, а эндогенный -23‰ . Тогда при минимальном содержании в метане Уренгойского месторождения изотопа δC^{13} (-58‰) концентрация биогенного ме-

тана составит 95 %, а эндогенного – 5 %. В метане Медвежьего месторождения в пробе с максимальным содержанием тяжелого изотопа $\delta C^{13} = -45\text{‰}$ концентрация биогенного метана составит 60 %, а ювенильного – 40 %.

Здесь, однако, следует обратить внимание на то, что изотопный состав биогенного метана изменяется по мере его генерации метилотрофными анаэробными метаногенами. Первоначально генерируется метан с самым изотопно легким углеродом, а по мере уменьшения его концентрации в составе лигнина образуются молекулы метана с большим содержанием тяжелого изотопа углерода [25], что объясняется в первую очередь «биогенным» кинетическим изотопным эффектом.

С другой стороны, если CO_2 , образующаяся при термическом разложении CO_2 (например, под воздействием высокоэнтальпийных эндогенных флюидов), имеет более «легкий» изотопный состав углерода, чем у термогенного и тем более эндогенного метана, то в результате ее взаимодействия с ювенильным водородом возможно образование молекул метана с высоким содержанием легкого изотопа углерода, близким к биогенному метану. Поэтому изотопный состав углерода, входящего в состав этого генетического типа абиогенного метана, требует дальнейшего изучения, чтобы получить однозначный ответ, насколько он богат «легким» изотопом.

На основе полученных данных попытаемся в первом приближении реконструировать последовательность событий, происходивших в фундаменте, юрских и меловых отложениях вплоть до возникновения гигантских залежей газа в сеноманских песчаниках.

Допустим, что под фундаментом Западно-Сибирской плиты из астеносферы (вероятно, в триасе) поднимался громадный батолит, над которым формировалась региональная зона растяжения (раз-

уплотнения) и, соответственно, просадки, которая представляла собой начинающую формироваться огромную впадину. Плавление подошвенной части коры увеличивало амплитуду «просадки» фундамента. По образующимся субвертикальным трещинам впадина начала заполняться отложениями, которые отделялись от этого супербатолита – сначала магматическими (включая интрузивные и эффузивные породы), затем вулканогенными, а также вулканогенно-осадочными. Позднее (нижняя юра) она наполнялась осадками: первоначально преимущественно континентальными (нижняя–средняя юра), а затем (верхняя юра) – эпиконтинентальным морским бассейном, в котором начали накапливаться морские осадки.

Поскольку поднимающийся супербатолит смещал перекрывающие его породы не только вверх, но и в субгоризонтальном направлении (из-за чего над ним и образуется зона просадки и разуплотнения), то, во-первых, заполнившийся осадками морской бассейн постепенно поднимался выше уровня Мирового океана и начинался цикл континентального накопления осадков, а во-вторых, на его бортах сохранялись или даже формировались новые возвышенности. На западе это были Уральские горы, на востоке – Среднесибирское плоскогорье (вероятно, ранее представлявшее собой горы), которые являлись одними из главных поставщиков терригенного материала для Западно-Сибирского осадочного бассейна (см. рис. 10, б, в).

Последующие смены субконтинентальных и субморских условий осадконакопления, вероятно, связаны с эпейрогеническими и эвстатическими процессами, включая вертикальные перемещения отделяющихся от супербатолита более мелких магматических тел (некоторые ученые называют их плюмами). Именно эти более мелкие магматические тела, отделявшиеся по субвертикальным трещинам от главного супербатолита, в зависимости от их размеров, формировали поднятия различных порядков [7].

Приведенное описание тектонического развития Западно-Сибирского бассейна имеет явные черты геосинклинали. О вероятной геосинклинальной природе бассейна писали в более ранних работах и другие авторы (П. В. Маркевич, 1966; В. Д. Наливкин, Н. В. Шаблинская, 1968; В. С. Бочкарев, 1971 и др.).

Исходя из приведенных данных, самая активная и горячая часть рассматриваемого гипотетического батолита в настоящее время находится в северной части Западно-Сибирской плиты, продолжаясь под ложем Северного Ледовитого океана. Действительно, в южной ее части батолит уже давно начал остывать, о чем свидетельствуют сравнительно невысокие геотермические градиенты и пластовые температуры, за исключением нескольких районов, где, вероятно, тектоно-магматические процессы завершились сравнительно недавно или даже продол-

жаются в настоящее время (Салымский, Красноленинский, Шаимский и другие районы).

Над антиклинальными магматическими телами в фундаменте Западно-Сибирской плиты, включая рассматриваемую северную часть, возникают напряжения, и если они превышают прочность перекрывающих пород, в последних образуются субвертикальные трещины. Вследствие падения давления по этим трещинам из магматических тел выделяются высокоэнтальпийные флюиды, состоящие главным образом из H_2O , в гораздо меньшем количестве – CO_2 , CO , H_2 , N_2 , CH_4 , HCl , H_2S и другие летучие компоненты [4, 14, 17].

Поскольку юрские отложения находятся в зоне сжатия и обладают низкими фильтрационно-емкостными свойствами, то основная часть отделившихся от магматических тел флюидов проходит «транзитом» по возникшим субвертикальным трещинам через эти отложения и попадает в зону растяжения (разуплотнения), формирующуюся в подошвенной части меловых отложений (см. рис. 9, а, б, рис. 10, б). В данной зоне осуществляется «разгрузка» основной части высокоэнтальпийных флюидов и растворение в поровых водах хорошо растворимых компонентов (NH_3 , H_2S , CO_2). Происходит вытеснение и разбавление пластовых вод низкоминерализованным (около 1–3 г/л [11, 14, 17]) кислым гидротермальным флюидом, который растворяет неустойчивые в таких условиях обломочные зерна (в основном плагиоклазы и мафические минералы), а также часть глинистых минералов, формируя дополнительную вторичную емкость в осадках (см. рис. 7) [7–9]. Первоначально кислые эндогенные флюиды нейтрализуются, резко снижается минерализация пластовых вод, выделяются гидротермальные сульфиды (см. рис. 8) и сульфаты, а в результате растворения CO_2 пластовые воды становятся гидрокарбонатными (см. рис. 6) [3, 11–13, 15, 18, 19, 22]. Остальные слабо растворимые компоненты (CH_4 , H_2 и CO) по зонам дробления проникают в перекрывающие верхнемеловые осадки, включая сенноманские песчаники, и разгружаются в них.

Отмеченные аномально низкие пластовые давления в верхнемеловых отложениях обусловлены двумя главными причинами: 1) они находятся в зоне разуплотнения; 2) проникшие в них высокоэнтальпийные флюиды, превратившиеся в гидротермальные растворы с достаточно высокой температурой (вероятно, около 200–300 °С), начали остывать, что привело к возникновению депрессионной зоны, в которую из окружающих ее участков начали «засасываться» вода и УВ (преимущественно метан из-за его высокой фазовой проницаемости) [9].

Описываемая ситуация представлена на графике Т–Р (рис. 12), построенном по данным [20] при условии $V = \text{const}$. В результате проникновения в пласт (ПК₁) гидротермального флюида, имевшего, например, первоначально температуру 80 °С (точка А), при температуре 220 °С резко (до 250 МПа!)

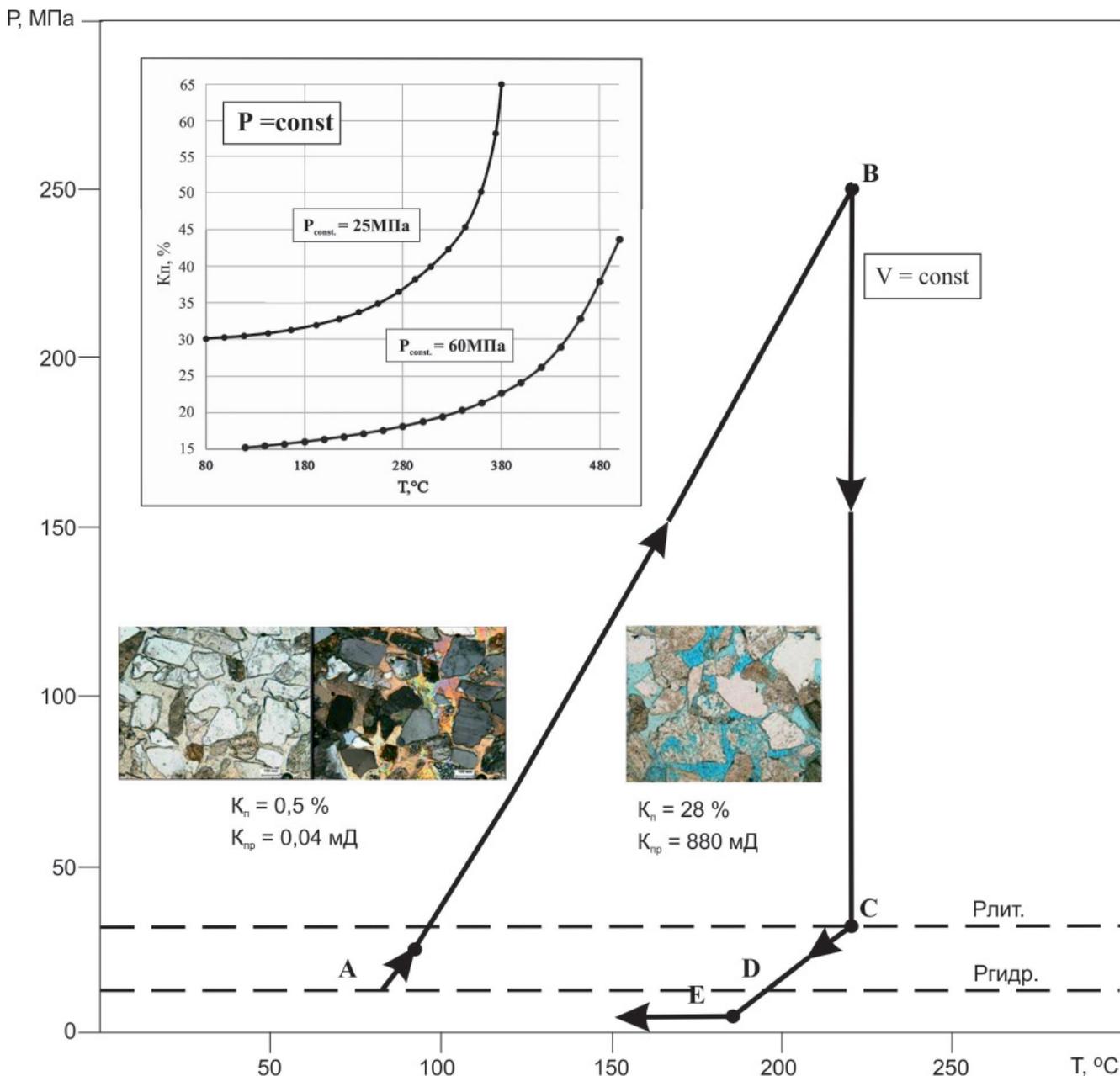


Рис. 12. P–T диаграмма, описывающая поведение поровой воды при ее нагреве глубинным высокоэнтальпийным флюидом и последующем ее охлаждении (сеноманские отложения, пласт ПК₁)

На врезках: диаграмма K_n –T, которая позволяет оценить изменение пористости гранулярных коллекторов (первоначальная пористость и литостатическое давление в ачимовской толще 15 % и 60 МПа, в сеноманских отложениях 30 % и 25 Мпа соответственно); фотографии петрографических шлифов песчаников из зон разуплотнения, в которые внедрялись гидротермальные флюиды кислого состава: справа – активно выщелачивавшие зерна полевых шпатов, слева – содержавшие высокую концентрацию CO_2 , что приводило к заполнению порового пространства гидротермальным кальцитом

увеличивается поровое давление (точка В), а это, в свою очередь, вызовет гидроразрыв пласта и снижение порового давления до литостатического (точка С). Последующее охлаждение пластового флюида примерно до 190 °C приведет к восстановлению гидростатического давления (точка D), а снижение пластовой температуры до 180 °C (точка E) приведет к падению пластового давления до 5–6 МПа и вызовет вскипание порового флюида с разделением первоначально гомогенной водной фазы на две – воду и водяной пар с растворенными в нем газами

(см. рис. 12). Дальнейшее охлаждение вызовет конденсацию пара и возникновение локальной зоны с крайне низкой минерализацией пластовой воды, о чем уже упоминалось.

Резкое падение давления вызовет формирование мощной депрессионной зоны, в которой пластовое давление ниже гидростатического для этих глубин на 6–7 МПа. В эту зону по субвертикальным трещинам из нижележащих пластов благодаря высокой фазовой проницаемости в первую очередь поступает именно метан биогенного (низки

покурской свиты) и, возможно, эндогенного происхождения. Благодаря высокой подвижности он вместе с водородом на самой ранней стадии уносится вверх по субвертикальным разломам, разгружаясь в наиболее проницаемых и высокеемких сеноманских песчаниках, в которых к тому же была сформирована мощная депрессионная зона (см. рис. 12).

Чтобы понять, насколько может измениться пористость пород, в которые проникнет высокоэнталпийный эндогенный флюид, рассмотрим зависимость пористости (K_n) от температуры (T) при условии, что объем поровой воды не изменяется, т. е. без учета объема флюида, внедряющегося в поровое пространство осадков (см. вставку на рис. 12).

В качестве исходных условий для ачимовских отложений примем пористость равной 15 %, пластовую температуру ($T_{пл}$) – 120 °С, литостатическое давление ($P_{лит}$) – 60 МПа. Тогда при повышении $T_{пл}$ до 140 °С произойдет гидроразрыв пласта, а пористость увеличится всего в 1,02 раза и составит 15,3 % (см. вставку на рис. 12). Начиная с температуры около 340 °С наблюдается резкое (до 21 %) увеличение пористости, а при температурах 420 и 480 °С пористость пород достигнет 26,5 и 37,5 % соответственно.

В случае проникновения высокоэнталпийного флюида в сеноманские отложения (примем для оценочных расчетов $K_n = 30 \%$, $T_{пл} = 80 \text{ °С}$ и $P_{лит} = 25 \text{ МПа}$) гидроразрыв пласта произойдет уже при $T_{пл} = 90 \text{ °С}$, при этом пористость увеличится всего до 30,7 % (см. вставку на рис. 12). Пористость резко вырастет при $T_{пл} = 260\text{--}280 \text{ °С}$, при этом пористость пород-коллекторов составит около 38 %.

В случае дальнейшего роста температуры, например до 340–360 °С, обломочные зерна полностью перестанут контактировать друг с другом: коллектор превратится в «кипящий слой», а его пористость достигнет 50 % (см. вставку на рис. 12).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при тектоно-гидротермальном воздействии на осадочные породы не только породы-коллекторы, но даже глинистые экраны на некоторое время становятся проницаемыми, и это способствует беспрепятственной миграции флюидов в вертикальном и горизонтальном направлениях и формировании залежей УВ.

Следует обратить внимание на то, что в зонах разуплотнения могут протекать различные процессы. Когда высокоэнталпийные гидротермальные флюиды, поступающие в зону разуплотнения, имеют кислый состав, наряду с «разрыхлением» коллекторов происходит интенсивное выщелачивание неустойчивых минералов. В результате формируются вторичные коллекторы с очень высокими фильтрационно-емкостными свойствами (см. вставку на рис. 12 с фотографией петрографического шлифа (справа), прокрашенного голубой смолой).

Если же в возникшую зону разуплотнения, поровое пространство которой было заполнено пластовой водой жесткого хлоркальциевого типа с высоким рН, проникают гидротермальные флюиды с высокой концентрацией CO_2 , то практически все поровое пространство песчаного коллектора заполняется эпигенетическим гидротермальным кальцитом, а обломочные зерна «плавают» в нем (см. вставку на рис. 12 с фотографиями шлифа (слева), выполненными без анализатором и с ним).

Очень низкое содержание водорода в сеноманских газовых залежах, вероятно, объясняется его участием в реакциях с метоксильными группами при образовании молекул органогенного метана и/или с эндогенной СО также с образованием метана и других УВ неорганического происхождения. Не исключено, что из-за очень маленьких размеров молекул водорода его «избытки» рассеялись в осадочной толще и/или выделились по возникшим в зоне разуплотнения микротрещинам в атмосферу (см. рис. 10, в).

Не следует также забывать, что проникновение по зонам дробления высокоэнталпийных флюидов вызывает активную генерацию нафтидов из ОВ, входящего в состав осадочной толщи, а кроме того, формирование многочисленных микротрещин флюидоразрыва вследствие превышения объема образующихся нафтидов объема исходного ОВ, а также гидроразрыва вследствие увеличения объема поровой воды в результате ее нагрева (см. рис. 12). Все это способствует резкому увеличению проницаемости пород в зоне тектоно-гидротермального воздействия, что, в свою очередь, благоприятствует быстрому формированию УВ залежей.

Надежным экраном для сеноманских залежей газа, наряду с глинистыми толщами кайнозойского возраста, является мощная зона вечномерзлых пород, толщина которых на севере Западной Сибири достигает 400 м и более, а также породы, поровое пространство которых заполнено газогидратами. Их уникальные изолирующие свойства обусловлены тем, что при создании в указанных отложениях даже очень высоких напряжений, обусловленных, например, ростом поднятий или тектоническими движениями, формируются сколово-сдвиговые дислокации, а не трещины отрыва. Первый вид дислокаций образуется в пластичных телах по направлениям касательных напряжений и выражается в скольжении разрушенных фрагментов относительно друг друга (т. е. проявляются они в виде поверхностей и «зеркал скольжения») без образования «зияющих» трещин, которые возникают при образовании второго типа дислокаций, формирующихся в направлении нормальных напряжений в компетентных породах (см. рис. 9, б и 10, б).

Активность магматического супербатолита увеличивается в северном направлении, что, как уже отмечалось, проявляется в росте геотермического градиента, концентрации CO_2 (в виде гидро-

карбонат-иона) в пластовых водах нижнего мела. Вследствие этого уменьшается пластовое давление, наклоняются ВНК (из-за сформировавшихся сравнительно «недавно» зон разуплотнения и термодепрессии). Значит, в случае продолжения распространения сеноманских песчаников в этом направлении можно ожидать открытия самых молодых залежей газа и под ложем Северного Ледовитого океана на значительном удалении от берега в его дальней акватории.

Выводы

1. Основными генераторами нафтидов в северной части Западной Сибири являются юрские отложения, а коллекторами – неокомские, однако генерированных юрскими осадками нафтидов явно недостаточно, чтобы заполнить неокомские породы-коллекторы, и в особенности высоконеоманские песчаники.

2. Образование биогенного метана в покурской свите, вероятнее всего, происходило в результате отщепления метоксильных групп, входящих в состав лигнита, который содержится в этих отложениях, термофильными метилотрофными анаэробными микроорганизмами.

3. Накопленные к настоящему времени факты свидетельствуют также о непременном участии в формировании залежей газа в сеноманских осадках тектоно-гидротермальных процессов, включая также поступление в составе высокоэнталийных флюидов эндогенного метана вместе с другими летучими компонентами (CO_2 , CO , H_2 , H_2S , NH_3 и др.). Вопрос заключается лишь в определении соотношения объемов биогенного и абиогенного метана и других УВ в составе сеноманских залежей газа.

4. Необходимо провести комплекс научно-исследовательских работ с целью установления изотопного состава CO , возникающей в результате термического разложения CO_2 на CO и O_2 , а также определения количества метана и других УВ, образующихся в гидротермальных условиях при взаимодействии CO и H_2 (природный процесс Фишера–Тропша), так как в промышленности для этих целей используются катализаторы.

5. Тектоно-гидротермальные процессы активизировали генерацию нафтидов из ОВ, входящего в состав осадочного чехла, способствовали возникновению путей миграции ювенильных и образовавшихся в осадках (биогенных) нафтидов, а также создавали необходимые условия для формирования залежей газообразных и жидких УВ.

6. Возраст тектоно-гидротермальной активности недр уменьшается по направлению с юга на север, поэтому, вероятно, под ложем Северного Ледовитого океана находятся самые молодые залежи газа в сеноманских отложениях.

7. Для оптимизации поисково-разведочных работ на нефть и газ в северной части Западной Сиби-

ри следует использовать метод комплексирования данных сейсморазведки и результаты тектонофизического моделирования, выполненного на их основе с целью выделения возможных зон разуплотнения, заполненных УВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Алексеев Ф. А., Лебедев В. С., Овсянников В. М.** Изотопный состав углерода газов биохимического происхождения. – М.: Недра, 1973. – 89 с.
2. **Галимов Э. М.** Геохимия стабильных изотопов углерода – М.: Недра, 1968. – 226 с.
3. **Гидрохимическая зональность юрских и меловых отложений Западно-Сибирского бассейна** / Б. П. Ставицкий, А. Р. Курчиков, А. Э. Конторович, А. Г. Плавник // Геология и геофизика. – 2004. – № 7 (45). – С. 826–832.
4. **Дымкина Л. Г.** Спонтанные газы кальдеры Узон (Камчатка) // Геология и геофизика. – 1986. – № 12. – С. 22–28.
5. **Зорькин Л. М.** Геохимия газов пластовых вод нефтегазоносных бассейнов. – М.: Недра, 1973. – 404 с.
6. **Зубков М. Ю.** Использование модифицированного метода материального баланса в комплексе с пиролизом для оценки нефтегенерационных свойств баженовской свиты (Западная Сибирь) // Геохимия. – 2021. – Т. 66, № 2. – С. 1–22.
7. **Зубков М. Ю.** Применение методов экспериментальной тектоники в нефтяной геологии на примере месторождений Западной Сибири // Геотектоника. – 2019. – № 3. – С. 92–109.
8. **Зубков М. Ю.** Тектоногидротермальные процессы в меловых отложениях Западной Сибири // Геология нефти и газа. – 2019. – № 1. – С. 7–26.
9. **Зубков М. Ю.** Экспериментальное моделирование процесса взаимодействия гидротермальных флюидов с юрскими отложениями Западно-Сибирского бассейна (система $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$) // Геология нефти и газа. – 2020. – № 5. – С. 95–112.
10. **Зубков М. Ю., Маринин В. И., Облеков Г. И.** Степень катагенеза, а также соотношение нефтегенерационных и емкостных свойств юрских и неокомских отложений Медвежьего и Уренгойского месторождений // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2005. – № 8. – С. 18–33.
11. **Киреева Т. А., Буданова Д. И.** Роль вертикальной миграции высокотемпературных флюидов в формировании пластовых вод нефтегазовых месторождений на севере Западно-Сибирского бассейна // Вестн. МГУ. Сер. 4. Геология. – 2013. – № 3. – С. 38–46.
12. **Кротова В. А.** Некоторые черты сходства и различия бассейнов с промышленной нефтеносностью // Сов. геология. – 1973. – № 7. – С. 74–82.
13. **Кругликов Н. М., Нелюбин В. В., Яковлев О. Н.** Гидрогеология Западно-Сибирского неф-

тегазоносного мегабассейна и особенности формирования залежей УВ. – Л.: Недра, 1985. – 280 с.

14. **Мархинин Е. К.** Вулканизм. – М.: Недра, 1985. – 288 с.

15. **Нелюбин В. В.** Гидрогеологические условия крупнейших газовых месторождений севера Западной Сибири: автореф. дис. ... к. г.-м. н. – Тюмень, 1974. – 33 с.

16. **Озерова Н. А.** Ртутная дегазация Земли // Докл. АН СССР. – 1978. – Т. 239, № 2. – С. 450–453.

17. **Происхождение** спонтанных газов и термальных вод современной рудообразующей гидротермальной системы Узон на Камчатке по изотопным данным / И. П. Луговая, Г. А. Карпов, В. Н. Загнитко, Ф. И. Березовский // Сов. геология. – 1987. – № 10. – С. 99–107.

18. **Розин А. А.** Подземные воды Западно-Сибирского артезианского бассейна и их формирования. – Новосибирск: Наука, 1977. – 102 с.

19. **Розин А. А., Сердюк З. Я.** Преобразование состава подземных вод и пород Западно-Сибирской плиты под воздействием глубинного углекислого газа // Литология и полезные ископаемые. – 1970. – № 4. – С. 102–113.

20. **Справочник** физических констант горных пород / под ред. С. Кларка-мл. – М.: Мир, 1969. – 544 с.

21. **Тараник А. А.** Геохимические показатели участков долговременной добычи угольного метана как самостоятельного источника энергии на примере месторождений Донбасса // Газовая промышленность. – 2017. – № 7 (755). – С. 24–27.

22. **Усачев В. Д.** Моделирование водонапорной системы сеноманской залежи по данным разработки и промысловой геофизики (на примере Ямбургского НГКМ) // НТВ «Каротажник». – 2016. – № 270. – С. 75–87.

23. **Уайт Д. Е.** Месторождения ртути и цветных металлов, связанных с термальными источниками // Геохимия гидротермальных рудных месторождений. – М.: Мир, 1970. – С. 479–528.

24. **Gas potential evaluation offshore Croatia to trigger renewed exploration** / V. Zucconi, V. Memmo, M. Krpan, et al. // FIRST BREAK. – 2019. – Vol. 37, no. 11. – P. 85–91.

25. **Methoxyl stable isotopic constraints on the origins and limits of coal-bed methane** / M. K. Lloid, E. Trembath-Reichert, R. S. Dawson, et al. // Science. – 2021. – Vol. 374 (6569). – P. 894–897.

26. **Welhan J. A., Craig H.** Methan and hydrogen in East Pacific Rise hydrothermal fluids // Geophys. Res. Lett. – 1979. – Vol. 6, no. 11. – P. 829–831.

REFERENCES

1. Alekseev F.A., Lebedev V.S., Ovsyannikov V.M. Izotopnyy sostav ugleroda gazov biokhimicheskogo proiskhozhdeniya [Isotope composition of carbon in gases of biochemical origin], Moscow, Nedra Publ., 1973. 89p. (In Russ.).

2. Galimov E.M. *Geokhimiya stabilnykh izotopov ugleroda* [Geochemistry of stable carbon isotopes]. Moscow, Nedra Publ., 1968. 226 p. (In Russ.).

3. Stavitskiy B.P., Kurchikov A.R., Kontorovich A.E., Plavnik A.G. [Vertical and lateral hydrochemical zonation, typification of underground waters of the West Siberian Basin]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy – Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*, 2006, no. 5–6, pp. 58–84. (In Russ.).

4. Dymkina L.G. [Spontaneous gases of the Uzon caldera (Kamchatka)]. *Geologiya i geofizika*, 1986, no. 12, pp. 22–28. (In Russ.).

5. Zorkin L.M. *Geokhimiya gazov plastovykh vod neftegazonosnykh basseynov* [Geochemistry of gases in formation waters of oil and gas basins]. Moscow, Nedra Publ., 1973. 404 p. (In Russ.).

6. Zubkov M.Yu. [Application of the modified method of material balance in combination with pyrolysis in estimating the hydrocarbon generation properties of the Bazhenov Formation, Western Siberia]. *Geokhimiya – Geochemistry International*, 2021, vol. 66, no. 2, pp. 171–190.

7. Zubkov M.Yu. Application of experimental tectonic methods in petroleum geology on the examples of deposits in Western Siberia. *Geotektonika – Geotectonics*, 2019, vol. 53, no. 3, pp. 383–398.

8. Zubkov M.Yu. [Tectonic and hydrothermal process in Cretaceous formations of the Western Siberia]. *Geologiya nefiti i gaza – Russian Oil and Gas Geology*, 2019, no. 3, pp. 7–26. (In Russ.).

9. Zubkov M.Yu. [Experimental simulation of the process of hydrothermal fluids interaction with the Jurassic deposits of the West Siberian Basin (H₂O–CO₂ system)]. *Geologiya nefiti i gaza – Russian Oil and Gas Geology*, 2020, no. 5, pp. 95–112. (In Russ.).

10. Zubkov M.Yu., Marinin V.I., Oblekov G.I. [Stage of catagenesis, and relationships between oil-generation and capacity properties of Jurassic and Neocomian deposits of the Medvezhye and Urengoykoye deposits]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy – Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*, 2005, no. 8, pp. 18–33. (In Russ.).

11. Kireeva T.A., Budanova D.I. [The role of vertical migration of high-temperature fluids in the genesis of formation waters in oil-gas fields in the north of the Western Siberian Basin]. *Vestnik MGU. Seriya 4. Geologiya – Moscow University Geology Bulletin*, 2013, no. 3, pp. 38–46. (In Russ.).

12. Krotova V.A. [Some similarities and differences between basins with commercial oil content]. *Sovetskaya geologiya*, 1973, no. 7, pp. 74–82. (In Russ.).

13. Kruglikov N.M., Nelyubin V.V., Yakovlev O.N. *Gidrogeologiya Zapadno-Sibirskogo neftegazonosnogo megabasseyna i osobennosti formirovaniya zalezhey UV* [Hydrogeology of the West Siberian petroleum megabasin and formation features of hydro-



carbon fields]. Leningrad, Nedra Publ., 1985. 280 p. (In Russ.).

14. Markhinin E.K. *Vulkanizm* [Volcanism]. Moscow, Nedra Publ., 1985. 288 p. (In Russ.).

15. Nelyubin V.V. *Gidrogeologicheskiye usloviya krupneyshikh gazovykh mestorozhdeniy severa Zapadnoy Sibiri. Avtoref. kand. dis.* [Hydrogeological conditions of fields in the largest gas north of Siberia. Author's abstract of PhD thesis]. Tyumen, 1974. 33 p. (In Russ.).

16. Ozerova N.A. [Mercury degassing of Earth]. *Doklady AN SSSR – Transactions (Doklady) of the USSR Academy of Sciences, Earth Science sections*, 1978, vol. 239, no. 2, pp. 450–453. (In Russ.).

17. Lugovaya I.P., Karpov G.A., Zagnitko V.N., Bere-zovskiy F.I. [Origin of spontaneous gases and thermal waters in the modern ore-forming hydrothermal Uzon system in Kamchatka according to isotopic data]. *Sovetskaya geologiya*, 1987, no. 10, pp. 99–107. (In Russ.).

18. Rozin A.A. *Podzemnyye vody Zapadno-Sibirskogo artezianskogo basseyna i ikh formirovaniye* [Groundwaters of the West Siberian artesian basin and their formation]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1977. 102 p. (In Russ.).

19. Rozin A.A., Serdyuk Z.Ya. [Transformation of the subsurface water composition and lithology of the West Siberian Platform under the influence of deep-earth carbon dioxide]. *Litologiya i poleznyye iskopayemye*, 1970, no. 4, pp. 102–113. (In Russ.).

20. Klark S. *Spravochnik fizicheskikh konstant gornyykh porod* [Handbook of physical constants of rocks]. Moscow, Mir Publ., 1969. 544 p. (In Russ.).

21. Taranik A.A. [Geochemical characteristics of fields for the production of coal bed methanes as an independent source of energy illustrated by Donbass fields]. *Gazovaya promyshlennost – Gas Industry of Russia*, 2017, no. 7 (755), pp. 24–27. (In Russ.).

22. Usachev V.D. [Simulation of water-pressure system of Cenomanian pool from development and production logging data (on the example of Yamburg oil and gas condensate field)]. *Karotazhnik*, 2016, no. 12 (270), pp. 75–87. (In Russ.).

23. White D.E. [Deposits of mercury and non-ferrous metals associated with thermal springs]. *Geokhimiya gidrotermalnykh rudnykh mestorozhdeniy* [Geochemistry of hydrothermal ore deposits]. Moscow, Mir Publ., 1970, pp. 479–528. (In Russ.).

24. Gas potential evaluation offshore Croatia to trigger renewed exploration / V. Zucconi, V. Memmo, M. Krpan, et al. *FIRST BREAK*, 2019, vol. 37, no. 11, pp. 85–91.

25. Methoxyl stable isotopic constraints on the origins and limits of coal-bed methane / M.K.Lloid, E.Trembath-Reichert, R.S.Dawson, et al. *Science*, 2021, vol 374 (6569), pp. 894–897.

26. Welhan J. A., Craig H. Methane and hydrogen in East Pacific Rise hydrothermal fluids. *Geophys. Res. Lett.*, 1979, vol. 6, no. 11, pp. 829–831.

© М. Ю. Зубков, 2022



УДК 553.98:551.735/734

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ КУЗНЕЦКОГО САМОСТОЯТЕЛЬНОГО НЕФТЕГАЗОНОСНОГО РАЙОНА

Ю. Л. Зайцева, В. В. Сапьяник

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

Рассмотрен потенциал ресурсной базы и геологические перспективы палеозойских нефтегазоносных комплексов Кузнецкого самостоятельного нефтегазоносного района на углеводородное сырье. На основе анализа современной геолого-геофизической изученности Кузнецкого прогиба, систематизации и обобщения нефтегазогеологических материалов, полученных при бурении скважин, определены перспективы девонско-нижнекаменноугольного комплекса, развитого на Крапивинской и Горно-Шорской моноклиналях. Дана оценка прогнозных ресурсов нефти и газа структур, расположенных в их пределах. Кроме рассмотренных отдельно структур, приведена оценка прогнозных ресурсов углеводородов Кузнецкого прогиба объемно-статистическим методом, основанным на вовлечении в оценку относительно хорошо изученных седиментационных бассейнов мира с известной величиной начальных суммарных ресурсов УВ и других параметров, входящих в модель и генетически влияющих на эту величину.

Ключевые слова: нефтегазоносность, геологическое строение, тектоническое строение, оценка ресурсов, нефть, газ, Западная Сибирь, Кемеровская область, Кузнецкий самостоятельный нефтегазоносный район.

GEOLOGICAL STRUCTURE AND PETROLEUM POTENTIAL PROSPECTS OF THE KUZNETSK INDEPENDENT PETROLEUM REGION

Yu. L. Zaytseva, V. V. Sapyanik

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

The resource base potential and geological prospects of the Paleozoic petroleum plays of the Kuznetsk Independent Petroleum Region for raw hydrocarbons are considered. Prospects of the Devonian-Lower Carboniferous play developed on the Krapivinskaya and Gorno-Shorskaya monoclines are determined on the ground of analysis of the modern geological and geophysical study of the Kuznetsk Trough, systematization and generalization of oil and gas geological materials obtained during well drilling. The estimation of inferred oil and gas resources of structures located within their limits is given. In addition to the structures considered separately, the estimation of forecast hydrocarbon resources of the Kuznetsk Trough is given by a volume-statistic method based on the involvement into the assessment of relatively well-studied sedimentation basins of the world (SB) with a known value of TIR HCs and other parameters included in the model and genetically influencing the value of TIR HCs.

Keywords: petroleum potential, geological structure, tectonic structure, estimation of resources, oil, gas, Western Siberia, Kemerovo Region, Kuznetsk Independent Petroleum Region.

DOI 10.20403/2078-0575-2022-4-46-54

Кузбасс до начала 1960-х гг., когда еще не были открыты крупные месторождения на севере Западно-Сибирской плиты, был основным нефтепоисковым районом Сибири. В настоящее время с учетом возросших возможностей геолого-разведочных работ и разработкой новейших технологий по добыче трудноизвлекаемых запасов УВ становится актуальной задача переоценки перспектив его нефтегазоносности.

Кузнецкий самостоятельный нефтегазоносный район (СНГР) расположен в Кемеровской области (Сибирский федеральный округ) и занимает площадь более 26,7 тыс. км. Протяженность бассейна с юго-запада на северо-восток достигает 335 км, ширина около 110 км [7].

Регион является крупным промышленным центром с хорошо развитой инфраструктурой и имеет высокую перспективную базу для добычи угольного (сорбированного) метана. Меньшие его перспективы связаны с жидкими УВ: непромышленные приоттоки нефти получены в скважинах на Борисовской

и Сыромолотненской антиклиналях. Здесь есть мощные толщи нефтематеринских пород, главным образом черные и темно серые известняки и аргиллиты среднего, верхнего девона и нижнекаменноугольного отдела, коллекторы и локальные покрывки. Территория претерпела длительное тектоническое развитие, в процессе которого могли сформироваться ловушки УВ самых разнообразных типов.

Геолого-геофизическая изученность

Вследствие нефтепоисковых работ в 1950-е гг. и многолетних геолого-разведочных работ по поискам и разведке каменного угля Кузнецкая впадина имеет высокую степень геологической изученности. Более 90 % ее площади впадины заснято геологической съемкой м-ба 1:50 000.

В 1950–1960-х гг. в Кузбассе ЗСГУ при участии СНИИГиМС [4, 5] предприняли попытку проведения поисково-разведочных работ на нефть и газ. Было пробурено 25 поисково-разведочных скважин глубиной от 1400 до 3010 м, но 13 из них не достиг-



ли проектной глубины, 6 были закрыты по техническим причинам, 5 остались неопробованными. Их распределение по нефтегазоперспективным площадям следующее: три скважины глубиной 1570–2018 м – на Ермаковской площади; одна (2743 м) – на Воскресенской; одна (1781 м) – на Грязненской; пять (1451–2937 м) – на Абашевской; восемь (1200–2940 м) – на Борисовской; четыре (2867–3010 м) – на Сыромолотненской. Скважины вскрыли отложения от пермского до раннедевонского возраста. Глубинная часть бассейна не изучена, скважин глубиной свыше 3010 м не пробурено, поэтому на всю мощность осадки бурением не изучены. В процессе бурения испытания на нефть и газ были проведены только в 15 скважинах, остальные либо не испытывались, либо были ликвидированы по техническим причинам.

В сейсморазведочных работах в Кузбассе выделяются два этапа: 1) 1949–1964 гг. [4, 5], 2) с 1977 г. до настоящего времени. Работы первого этапа были направлены на поиски нефтегазоносных структур и выполнялись до 1960 г. Новосибирским геофизическим трестом, а в 1960–1964 г. – сейсмической партией ЗСГУ. Методика работ – простое непрерывное профилирование МОВ, КМПВ. Несмотря на большой объем исследований результативность этого этапа низкая вследствие сложности поверхностных сейсмогеологических условий, слабой скоростной дифференциации среды. В то же время в результате доказана принципиальная возможность выделения в Кузбассе опорного отражающего горизонта, связанного с верхами верхнебалахонской подсерии (Плотниковская, Журавлевская, Подобаская, Сыромолотненская площади).

Работы второго этапа были возобновлены сейсмической партией ЦГЭ ЗСГУ в 1977 г. с целью прослеживания угленосных толщ и изучения глубинного строения. Применение сейсмостанций с магнитной записью, обрабатывающей техники ПСЗ-4, ЭВМ, более прогрессивных методик полевых работ значительно расширили возможности улучшения качества получаемого материала и позволили в целом повысить эффективность исследований.

Полевые работы 1977–1979 гг. проводились в южной части Кузбасса и носили опытно-методический характер. В результате были прослежены два опорных отражающих горизонта, построена структурная карта по кровле балахонских отложений, выделены четыре участка, перспективных на каменный уголь.

В 1979–1980 гг. пройдена серия профилей, пересекающих Кузбасс в субмеридиональном направлении. В течение четырех последующих летних полевых сезонов в Новокузнецком (1981–1982 гг.), Прокопьевском и Беловском (1983–1984 гг.) районах проводились опытно-методические работы. В результате работ доказана возможность применения невзрывных импульсных источников для изучения строения Кузбасса до глубин 2,5 км, выработана

методика полевых работ и обработки материалов. На большей части профилей прослежены отражающие горизонты в пермских отложениях, выделен ряд тектонических нарушений, получены новые данные о геологическом строении Терсинского геолого-экономического района.

В 1985–1987 гг. сейсморазведочные работы проводились на Салтымаковском участке. Были прослежены регулярные отражающие горизонты в кольчугинской и балахонской толщах. В результате получены новые данные о тектоническом строении района.

В 1987–1991 гг. сейсмическими работами была охвачена обширная территория Кузнецкого прогиба: был охарактеризован весь комплекс пород осадочного чехла – от девонских до мезозойско-кайнозойских отложений включительно. По кровле отложений балахонской серии выполнены структурные построения. Под складчатыми сооружениями Салаирского кряжа прослежены отражающие горизонты со средними скоростями 4500 м/с. Это дало основание предположить, что отложения Кузнецкого прогиба продолжаются более чем на 12 км под складчатые структуры Салаирского кряжа.

В 1997–1998 гг. силами ОАО «Сибнефтегеофизика» выполнены региональные сейсморазведочные работы МОГТ с использованием виброисточников, которые позволили получить кондиционные временные разрезы по шести региональным сейсмическим профилям (пяти поперечным и одному продольному), пересекающим различные структурно-тектонические зоны (восток Салаирской складчатой зоны, Присалаирское осложненное крыло и центральную часть Кузнецкого прогиба).

Временные разрезы позволили изучить полный геологический разрез Кузнецкого прогиба, проследить характер изменения мощностей крупных стратиграфических подразделений по простиранию, складчатые и разрывные структуры, внести уточнения в стратиграфические разбивки, выделить и наметить нефтегазоперспективные объекты [3].

Геологическое строение

Кузнецкий прогиб – это крупная отрицательная структура первого порядка, расположенная между положительными структурами того же порядка: Кузнецким Алатау и его продолжением – Горной Шорией, Салаирским кряжем и Томь-Колыванской складчатой областью.

Кузнецкий седиментационный бассейн представляет собой область активного прогибания и накопления осадков на протяжении всей геологической истории развития (в течение среднего и верхнего палеозоя) и раннего мезозоя. В его пределах распространены девонские, каменноугольные и пермские отложения, представленные всеми отделами и ярусами, а также породы нижнего и среднего триаса, нижней и средней юры, меловой, третичной и четвертичной систем. Общая мощность

Система	Отдел	Ярус	Серия	Подсерия	Свита (подсвита, слой)	Литологическая колонка	Мощность, м	Описание пород	
ПЕРМСКАЯ	верхний	татарский	кольчугинская	еруновская P ₂ er	тайлуганская P ₂ tl		600-1200	песчаники серые, мелкозернистые, алевролиты темно-серые, аргиллиты серые и темно-серые, каменные угли	
					грамотеинская P ₂ gt		470	песчаники светло-серые, разнозернистые, алевролиты темно-серые, аргиллиты темно-серые и серые, пласты каменных углей	
					ленинская P ₂ ln		740	песчаники светло-серые мелко-среднезернистые, алевролиты темно-серые, аргиллиты серые и темно-серые, каменные угли, сидериты	
		казанский		ильинская P ₂ il	ускатская P ₂ usk		200-500	алевролит-аргиллитовая толща пород с редкими прослоями песчаников, каменных углей и сидеритов	
					казанково-маркинская P ₂ k-m		700-1100	аргиллиты темно-серые и черные, часто углистые, алевролиты серые и темно-серые, песчаники грязно-серого цвета, полимиктовые, каменные угли, сидериты	
					митинская P ₂ mt		130-320	алевролит-аргиллитовая толща с маломощными слоями песчаников	
	уфимский	кузнецкая P ₂ kz	старокузнецкая P ₂ stk		340-720	частые чередования песчаников с пачками алевролит-аргиллитовых пород с пластами угля мощностью до 30 м			
			нижний	верхнебалахонская P ₁ bl	кемеровская P ₁ km		430-1450	песчаники светло-серые, реже серые, разнозернистые, косослоистые и параллельно-слоистые, полимиктовые, алевролиты серые и темно-серые, аргиллиты темно-серые, почти до черных, нередко переслаиваются с углистыми аргиллитами, каменные угли	
	ишанская P ₁ i								
	промежуточная P ₁ p								
алыкаевская C ₃ al									
КАМЕННОУГОЛЬНАЯ	верхний	касимовский-гжельский	балахонская	нижнебалахонская C ₃ bl	мазуровская C ₃ mz		610-1250	частые переслаивания песчаников, алевролитов, аргиллитов, углистых аргиллитов и пластов каменного угля	
	средний	московский			каезовская				
	нижний	наморский		башкирский	острогская	евсеевская		200-400	конгломераты, песчаники, песчаные и углистые алевролиты с редкими прослоями каменных углей
				визейский		верхотомская		67-250	известковистые песчаники, местами туфогенные, алевролиты
	ДЕВОНСКАЯ	верхний	фаменский	мозжухинская	подняковская		30-300	известняки, аргиллиты, мергели, песчаники, пелловые глинистые туффиты	
					фоминская		120-260	известняки серые, темно-серые, часто окремненные	
			франский		тайдонская		80-300	известняки, часто оолитовые, водорослевые, реже песчано-глинистые известняки	
					абышевская		100-180	конгломераты, песчаники, известняки, доломиты	
		нижний	живетский	паладинская	подонинская		200	красноцветные гравелиты, песчаники, алевролиты, аргиллиты	
					курундуская		до 200	известняки, известковистые песчаники, алевролиты	
шубинская						350	известняки серые и темно-серые, массивные		
эйфельский			вассинская (пожарищинская)			70	известняки глинистые и песчаные, мергели, песчаники, алевролиты, аргиллиты		
			Изылчинская (ляйская)			330	красноцветные конгломераты, песчаники, алевролиты, аргиллиты, известняки		
			барзасская			700-1000	песчаники, алевролиты, аргиллиты с пропластками липтобиолитовых углей		
нижний	эмский	красногорская	паладинская		350-450	эффузивы и пирокластиты базальтового и андезитового состава			
			красногорская		700	известняки серые, светло-серые, черные, аргиллиты, алевролиты, песчаники, конгломераты			
	лоховский (жединский)		крековская D ₁ kr		700	известняки серые, светло-серые и черные, линзы алевролитов, аргиллитов, глинистых известняков, песчаников			
			тольчумишская D ₁ tc						
лоховский (жединский)	лоховский (жединский)	сухая D ₁ sh	сухая D ₁ sh		700	известняки темно-серые, серые и черные, прослои доломитизированных известняков и аргиллитов			
			сухая D ₁ sh		700	алевролиты серо-зеленые и красноцветные, песчаники, гравелиты, конгломераты, известняки песчаные и глинистые			



Рис. 1. Сводный литолого-стратиграфический разрез Кузнецкого прогиба и Салаирского кряжа (по материалам ОАО «Сибнефтегеофизика», 1998 г.)

1 – песчаники мелко-среднезернистые; 2 – алевролиты; 3 – аргиллиты; 4 – пласты каменных углей; 5 – сидериты; 6 – эффузивы и пирокластиты базальтового и андезитового состава; 7 – конгломераты; 8 – известняки; 9 – глинистые известняки; 10 – пелловые глинистые туффиты

палеозойских и мезозойских толщ Кузнецкого прогиба по данным глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) достигает 13 км.

Фундамент прогиба сложен отложениями силура, ордовика, кембрия и, возможно, более древними породами, которые отличаются сильной метаморфизацией и дислоцированностью. Девон-

ские отложения на востоке бассейна представлены в основном красноцветными терригенными и вулканогенными образованиями, а на западе – карбонатными и терригенными с морской фауной. Турнейский и визейские ярусы состоят из карбонатных и терригенных осадков. На морских нижнекаменноугольных отложениях залегают мощная (5–8 км)

верхнепалеозойская (С–Р) угленосная формация, сложенная терригенными породами и пластами каменных углей.

Триас представлен нижним и частично средним отделами (озерные терригенные и эффузивно-туфогенные образования), которые связаны с пермскими постепенным переходом, но местами ложатся на различные горизонты перми без заметных угловых несогласий.

Юрская система представлена нижним и средним отделами и сложена континентальными терригенными породами с пластами бурых и каменных углей. Ее отложения повсеместно находятся на подстилающих осадках с перерывом и угловым несогласием.

Покровные образования состоят из суглинков, глин, песков, галечников и относятся к меловой, третичной и четвертичной системам. Их мощность колеблется от 10–20 до 50–70 м [1, 3] (рис. 1).

Тектоническое строение

Тектоническое строение Кузнецкого прогиба изучено крайне неравномерно. Наиболее полно охарактеризованы его западные районы, где в значительных объемах проводились буровые работы, связанные с разведкой каменноугольных месторождений, а также отдельные площади в центральных районах, где велись нефтепоисковые работы.

Прогиб характеризуется довольно сложным тектоническим строением. Здесь интенсивно дислоцированные участки горных пород со складчатостью геосинклинального типа, располагающиеся в районах, прилегающих к Салаиру и Томь-Колыванской складчатой зоне, переходят через ряд промежуточных форм в пологие структуры

платформенного типа (районы, прилегающие к Кузнецкому Алатау).

На схематическом разрезе представлены современные представления о тектоническом строении Кузнецкого синклиория. В пределах района выделены структурные элементы, каждый из которых характеризуется определенными свойствами тектонического развития: Присалаирское осложненное крыло, включающее подзону крупной и мелкой линейной складчатости, зону гребневидной складчатости; Центральная зона пологих складок, прерывистых мульд и куполовидных поднятий; Приалатауская зона моноклиналей (рис. 2).

Кузнецкий прогиб можно рассматривать как нефтегазоносный бассейн, прошедший три стадии развития. Первая сопровождалась преимущественно прогибанием, в течение среднего и верхнего палеозоя сохранялась тенденция к погружению. Однако различные части прогиба погружались неравномерно, а бортовые части временами испытывали подъем, о чем свидетельствует изменение мощностей отдельных толщ, а местами их полное выклинивание. В этот этап формировались и развивались очаги нефтегазообразования девонско-каменноугольного нефтегазоносного осадочного бассейна.

Вторая стадия развития включала складкообразование, разрушение и переформирование образовавшихся ранее залежей углеводородов.

Третья стадия (орогенная) проявилась в возникновении нового осадочного бассейна, генетически связанного с предгорным прогибом и смежной частью платформы, в пределах которого накапливался орогенно-молассовый осадочный комплекс пермского возраста, попадающий в главную зону нефтеобразования, где создаются свои очаги неф-

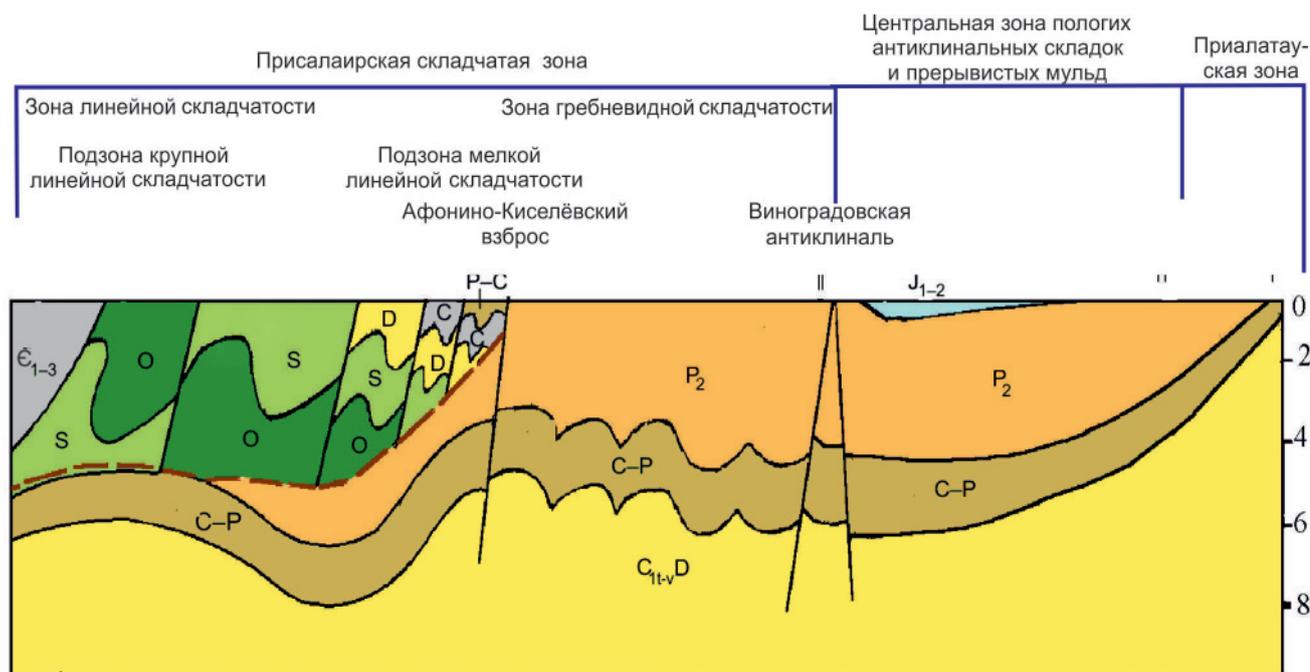


Рис. 2. Схематический геологический разрез Кузнецкого прогиба (по материалам В. Ю. Сушкова, Г. В. Ведерникова и др., 1998)

тегазообразования, с которыми также генетически связаны скопления нефти и газа уже предгорного бассейна [3].

Нефтегазоносность

Проявлений природного газа в Кузбассе значительно больше, чем нефтяных. Наиболее масштабные из них локализируются на Крапивинской, Борисовской, Сыромолотненской, Терсинской и Абашевской площадях.

Наиболее крупная Борисовская газовая залежь расположена в центральной части бассейна, в районе с. Борисово на западном погружении Крапивинского купола, приурочена к сундукообразной антиклинали. Газонасыщенными являются три горизонта песчаников верхов ильинской подсерии (верхняя пермь) мощностью 15–240 м. Притоки газа получены в двух скважинах в интервалах 180–380 м (14,0 тыс. м³/сут), 322–470 м (18,24 тыс. м³/сут), 474–525 м (20,0–25,0 тыс. м³/сут).

Газ состоит из метана (83,9–97 %) с содержанием большого количества тяжелых углеводородов (от 4–5 до 78 %): этана, бутана, пропана, что является характерным признаком для газов нефтяного происхождения [8].

На Сыромолотнинской площади в двух скважинах из горизонтов 2416–2489 м (низы кузнецкой подсерии, верхняя пермь) и 2690–2870 м (верхнебалахонской свиты, нижняя пермь) получены притоки свободного газа – 14,0 и 18,5 тыс. м³/сут соответственно. Вместе с метановым газом здесь была выброшена суспензия нефти. По составу газ аналогичен Борисовской залежи.

На Абашевской площади притоки газа получены из трех горизонтов с глубин 1502–1840 м из нижних частей верхнепермских ильинской, кузнецкой свит и нижнепермской верхнебалахонской, дебиты 40,0, 43,2 и 216,2 тыс. м³/сут соответственно. Газопроявления связаны в большинстве случаев с безугольными свитами.

Изучение керн скважин позволило установить, что коллекторские свойства отложений Кузбасса вполне удовлетворительные как по пористо-

сти (15–28,6 %), так и по проницаемости (от первых десятков до 480 мД). Судя по мощным (свыше 200000 м³/сут) фонтанным притокам минеральных вод и газа, на Абашевском и Терсинском поднятиях присутствуют трещиноватые коллекторы.

В настоящее время в Кузнецком прогибе залежи с промышленными запасами углеводородов еще не открыты. Подчитаны прогнозные запасы свободного газа по категории D_n на перспективных антиклиналях. Всего в пределах прогиба выделено 17 структур, которые находятся в различных структурно-тектонических условиях. Для оценки выбраны объекты в районах с подтвержденной нефтегазоносностью – Крапивинская моноклинали и расположенные в ее пределах Борисовская, Сыромолотнинская и Крапивинская антиклинали, а также Горно-Шорская моноклинали с выделенными положительными структурами (Абашевской, Подобасской и Мысковской антиклиналями).

На основании результатов сейсмических работ и изучения более 600 битумно-нефтегазовых проявлений, по мнению В. А. Ашуркова [1], в осадочном чехле Кузнецкого прогиба можно выделить четыре нефтегазоносных этажа.

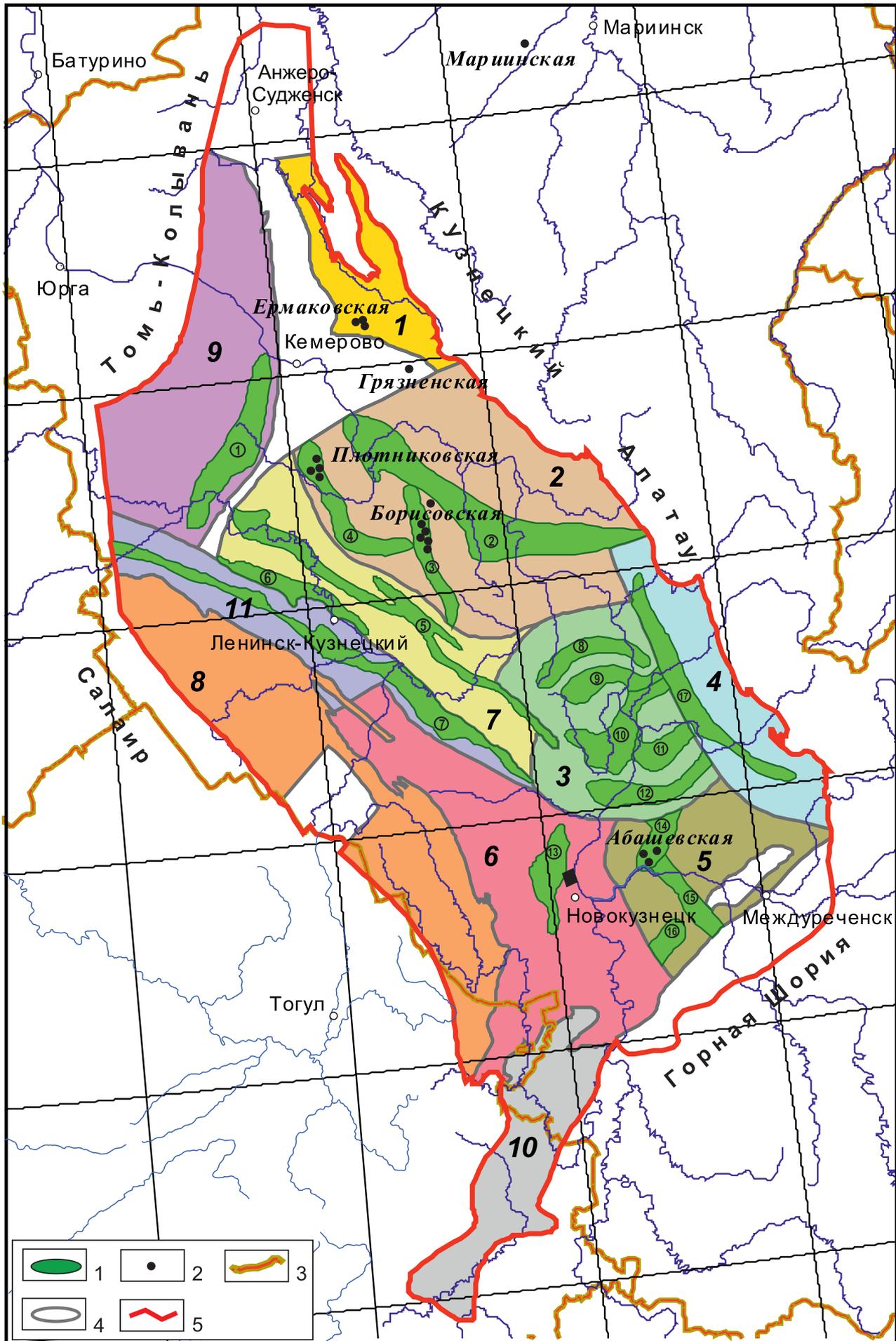
Первым, наиболее продуктивным этажом являются морские фации верхнего и среднего девона. Здесь нефтематеринскими породами могут быть барзасские липтобиолитовые каменные угли, горючие сланцы среднего девона мощностью до 60 м с содержанием органического вещества до 8–10 %, верхнедевонские слои коралловых известняков с битумами.

Второй этаж нефтегазоносности – отложения морского нижнего карбона мощностью 160–360 м, содержащие битуминозные известняки. Глубина залегания девонско-нижнекаменноугольного комплекса 2900–4200 м.

Третий этаж нефтегазоносности – отложения балахонской серии, сложенной преимущественно терригенными отложениями и охватывающей средний и верхний отделы каменноугольной системы и нижнюю пермь. Здесь прогнозируется открытие вторичных залежей углеводородов.

Рис. 3. Схема прогноза перспектив нефтегазоносности Кузбасса (по материалам В. А. Ашуркова, 1997)

1 – перспективные локальные объекты и их номера (цифры в кружках) (1 – Павлиновская, 2 – Крапивинская, 3 – Борисовская, 4 – Сыромолотненская, 5 – Виноградовская, 6 – Кильчигизская, 7 – Соколовско-Урская, 8 – Северо-Нарыкская, 9 – Нарыкская, 10 – Маркино-Никольская, 11 – Осиновоплесская, 12 – Кушеяковская, 13 – Аралическая, 14 – Абашевская, 15 – Подобасская, 16 – Мысковская, 17 – Терсинская); 2 – области с неясными перспективами; 3 – скважины глубокого бурения; 4 – контур Кузбасса; 5 – административные границы; тектонические структуры: 1 – Барзасское поднятие (перспективы связывают с девонскими отложениями, коллекторы трещинного типа), 2 – Крапивинская моноклинали (перспективы связывают с девонскими и нижнекаменноугольными отложениями, коллекторы порово-трещинного типа), 3 – Терсинский свод (перспективы связывают с под угленосными и угленосными отложениями, коллекторы порово-трещинного типа), 4 – терсинские надвиги (полоса линейных антиклиналей надвигового происхождения, коллекторы смешанного типа), 5 – Горно-Шорская моноклинали (перспективы связывают с коллекторами трещинного типа), 6 – Амагнетитный блок фундамента (возможны ловушки рифогенного происхождения), 7 – область проницаемых зон фундамента (возможны залежи в антиклиналях, сформированных над разломами фундамента), 8 – салаирские надвиги, 9 – томь-колыванские надвиги, 10 – Неня-Чумышская впадина (возможны литолого-стратиграфические залежи), 11 – Урский блок (возможны залежи в антиклиналях, сформированных над разломами фундамента)





Четвертый этаж нефтегазоносности – угленосные отложения кольчугинской серии верхней перми. Суммарная мощность пластов каменного угля в них около 260 м. Здесь прогнозируется открытие вторичных залежей нефти и метанового газа, генерируемого пластами каменных углей. Залежи здесь могли сформироваться на глубине 1000 м (рис. 3).

Оценка ресурсного потенциала антиклинальных ловушек выполнена для наиболее перспективного верхне-среднедевонско-нижнекаменноугольного комплекса объемным методом с помощью месторождений-аналогов [6].

Месторождений в выступлениях известняков девонско-каменноугольного возраста довольно много: в Томской области в Пуденском нефтегазоносном районе (НГР) – восемь месторождений нефти и газа (нефтегазоконденсатные Лугинецкое, Останинское, Северо-Останинское, Селимхановское, Герасимовское, нефтяные Сатпаевское и Восточно-Верхнекомбарское, газоконденсатное Верхнекомбарское); в Межовском НГР – пять (нефтегазоконденсатные Арчинское, Урманское и Нижнетабаганское, нефтяные Южно-Тамбаевское и Южно-Табаганское); в Новосибирской области – два (Малоичское и Восточное).

Резервуары для залежей УВ – трещиноватые известняки и доломиты девона, карбонатные и кремнисто-глинистые отложения карбона. Месторождения нефти и газа, как правило, приурочены к эрозионно-тектоническим выступам палеозойского основания и связаны со сложно построенными литологически, тектонически и стратиграфически экранированными ловушками.

Исходя из тектонических предпосылок в Кузнецком прогибе можно ожидать структурные залежи нефти и газа, приуроченные к антиклинальным поднятиям, которые служили ловушками при региональной миграции углеводородов; литолого-стратиграфические залежи, приуроченные к областям выклинивания отложений и их несогласным залежаниям, связанным с перерывами в осадконакоплении (наиболее крупные перерывы – между средним и верхним девонем); залежи, связанные с трещиноватыми зонами в горных породах, которые широко развиты в пределах прогиба.

Оценка ресурсов УВ установленных объектов выполнена с помощью общепринятых формул для подсчета запасов и ресурсов нефти и газа. Параметры залежей нефти и газа рассчитывались как средневзвешенное значение данных всех известных месторождений-аналогов.

Для оценки ресурсов нефти используются следующие параметры: площадь ловушки, эффективная нефтенасыщенная толщина коллектора, коэффициент открытой пористости, коэффициент нефтенасыщенности порового пространства, плотность нефти, пересчетный коэффициент, учитывающий усадку нефти при переводе ее из пластовых условий в поверхностные.

Средняя эффективная нефтенасыщенная толщина принята 6,5 м. На месторождениях-аналогах она изменяется от 1,7 до 20,0 м. Минимальная мощность отмечена в отдельных пластах на Герасимовском и Селимхановском месторождениях, максимальная – на Останинском.

Отмечается низкая пористость пород на Арчинском (0,07 доли ед.) и Северо-Останинском (0,04 доли ед. на глубине 3123–3160 м) месторождениях, а в пластах Лугинецкого, Урманского, Сатпаевского, Арчинского (на глубине 2735–2745 м) месторождений она достигает 17–18 %. По исследованиям керна скважин Кузнецкого прогиба пористость 0,15–0,28 доли ед., среднее значение принято 0,18 доли ед.

Нефтенасыщенность изменяется на Урманском месторождении от 0,41 (на глубине 3146–3239 м) до 0,82 доли ед. (на глубине 2994–3133 м), на Останинском составляет 0,95 доли ед, в среднем 0,62 доли ед.

Нефть на месторождениях различна по плотности. Доля особо легкой и легкой нефти (до 0,850 г/см³) – больше половины (60 %), нефтей средней плотности (0,851–0,870 г/см³) – 35 %, а в пластах Арчинского месторождения встречается и тяжелая (0,871–0,895 г/см³) – 5 %. Среднее значение 0,83 г/см³.

Среднее значение пересчетного коэффициента нефти составило 0,704 доли ед.

Коэффициент извлечения нефти Северо-Останинского месторождения достигает 0,5 усл. ед., а на Южно-Тамбаевской площади – 0,1 усл. ед. Средневзвешенное значение принято 0,25 усл. ед.

Извлекаемые ресурсы нефти выявленных ловушек прогнозируются 138 млн т.

Для оценки ресурсов газа используются следующие параметры: площадь газонасыщенности, эффективная газонасыщенная толщина коллектора, коэффициент открытой пористости, коэффициент газонасыщенности, пластовое давление.

Средняя эффективная газонасыщенная толщина принята 6,2 м. В продуктивных пластах на Нижнетабаганской площади она изменяется в от 1,7 до 8,8 м, максимальные газонасыщенные толщины встречены на Селимхановской (10,3 м) и Герасимовской (18,8 м) площадях.

Среднее значение пористости газонасыщенных коллекторов принято 12 %; максимальные отмечены на Останинской (19 %), Герасимовской (18 %) и Лугинецкой (18,5 %) площадях; на Арчинской площади пористость составляет 7 % (Восточно-Арчинская залежь в районе скв. 50).

Газонасыщенность пород на месторождениях изменяется от 0,5 до 0,79 доли ед., в среднем 0,6 доли ед.

Пластовое давление на месторождениях напрямую зависит от глубины. Глубина залегания продуктивных пластов на месторождениях-аналогов 2350–3100 м; продуктивных отложений верхне-



среднедевонско-нижнекаменноугольного комплекса 2900–4200 м. Для подсчета ресурсов газа принято нормальное гидростатическое расчетное пластовое давление 30,5 МПа.

Ресурсы свободного газа выявленных ловушек прогнозируются 262 млрд м³.

Аценка прогнозных ресурсов углеводородов Кузнецкого прогиба была выполнена в том числе с использованием объемно-статистического метода.

Объемно-статистический метод в данном случае применен исходя из того, что изученность Кузнецкого прогиба не позволяет использовать другие методы оценки (метод аналогий, объемно-генетический и др.). На данной стадии изученности территории имеются лишь сведения о суммарном объеме осадочного выполнения, мощности и литологическом составе, о наличии и особенностях распространения природных резервуаров (коллекторов и флюидоупоров).

Объемно-статистический метод базируется на анализе выборки чуть менее 100 сравнительно хорошо изученных нефтегазоносных бассейнов, для которых известны основные геометрические характеристики осадочного выполнения, его преимущественный возраст и относительно точные оценки начальных суммарных ресурсов УВ.

Для подвыборки были обобщены материалы 26 седиментационных бассейнов с преимущественно палеозойским возрастом осадочного выполнения. Коэффициент корреляции между прогнозными запасами углеводородов и объемом осадочного выполнения бассейнов составил 0,88.

Объем осадочного выполнения для Кузнецкого прогиба с площадью 27 тыс. км² и средней мощностью осадочного чехла 5 км принят равным 135 тыс. км³. Средняя оценка – 726,4 млн т, минимальная – 227,2 млн т, максимальная – 2322,6 млн т условного топлива. Распределение по флюидному составу в настоящее время вызывает затруднение, но с учетом, что район газоносный, можно предположить, что 90 % ресурсов – это газ [2].

Выводы

Тектоническое строение и данные о нефтегазоносности Кузнецкого прогиба свидетельствуют о возможности открытия промышленных скоплений нефти и газа в куполах антиклинальных складок и на склонах поднятий. Особый интерес в этом отношении представляют морские отложения верхне-среднедевонского и карбонатные отложения доорогенного цикла нижнекаменноугольного (турне–визе) возраста, залегающие на доступных бурению глубинах (до 5 км). Потенциально нефтегазоносными могут оказаться отложения среднего, верхнего карбона и перми.

Благодаря исследованиям, проведенным специалистами «Сибнефтегеофизики», в Кузнецком прогибе, кроме выявленных перспективных объектов, было установлено, что потенциально про-

дуктивны области развития верхне-среднедевонских органогенных построек на погребенном склоне Кузнецкого Алатау, глубины залегания которых 1500–2000 м, а также зоны развития передовых складок девонских отложений Томь-Кольванской складчатой области с глубинами залегания 1000–3000 м [3].

Исходя из множества предпосылок, можно заключить, что Кузнецкая впадина представляет собой район, перспективный на обнаружение залежей нефти и газа. В связи с этим предлагается рассматривать его как объект для проведения поисковых работ с уточнением выявленных объектов и подготовки их к поисковому бурению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ашурков В. А., Голдаев Н. В.** Использование и воспроизводство минерально-сырьевой базы Кемеровской области. Нефть и природный газ // Недра Кемеровской области: сб. КНР по Кемеровской области. – Кемерово, 1998. – С. 98–113.
2. **Бурштейн Л. М.** Методы количественной оценки перспектив нефтегазоносности (на примере седиментационных бассейнов Сибири): автореф. дис. ... д. г.-м. н. – Новосибирск, 2011. – 41 с.
3. **Борщ С. С., Беспечная Л. Ю., Ведерников Г. В.** Новые данные о геологическом строении Кузнецкого прогиба // Геофизика. Специальный выпуск к 30-летию «Сибнефтегеофизики». – Новосибирск, 2001. – С. 102–109 с.
4. **Геологическое** строение и перспективы нефтегазоносности Кузбасса / В. С. Муромцев, Г. Н. Карцева, С. П. Микуцкий и др. // Тр. СНИИГГиМС. – 1959. – Вып. 4. – 299 с.
5. **Жеро О. Г.** К вопросу о нефтегазоносности Кузбасса // Материалы по геологии, гидрогеологии, геофизике и полезным ископаемым Сибири. – Л., 1960. – С. 76–86. – (Тр. СНИИГГиМС; вып. 9).
6. **Методическое** руководство по количественной и экономической оценке ресурсов нефти, газа и конденсата России / под ред. К. А. Клещева, А. Э. Конторовича. – М.: ВНИГНИ, 2000. – 189 с.
7. **Сибирский федеральный округ, Кемеровская область, геологическая карта, масштаб 1:2 500 000 / сост. по материалам «Геологической карты России и прилегающих акваторий масштаба 2 500 000» / гл. ред. О. В. Петров, отв. ред. С. И. Стрельников. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2017.**
8. **Черкасов Г. Н., Шаров Г. Н., Ашурков В. А.** Нефтегазоносный потенциал Кузнецкого прогиба (Западная Сибирь) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2012. – № 1 (9). – С. 107–121.

REFERENCES

1. Ashurkov V.A., Goldaev N.V. [Use and reproduction of the mineral resource base of the Kemerovo Region. Oil and natural gas]. *Nedra Kemerovskoy oblasti: Sbornik KPR po Kemerovskoy oblasti* [Subsurface of the Kemerovo region: Collection of CNR on the



Kemerovo Region]. Kemerovo, 1998, pp. 98–113. (In Russ.).

2. Burshteyn L.M. *Metody kolichestvennoy otsenki perspektiv neftegazonosnosti (na primere sedimentatsionnykh basseynov Sibiri)*. Avtoref. dokt. dis. [Methods of quantitative assessment of petroleum potential (by the example of sedimentation basins of Siberia). Author's abstract of DSc thesis]. Novosibirsk, 2011. (In Russ.).

3. Borshch S.S., Bespechnaya L.Yu., Vedernikova G.V. [New data on the geological structure of the Kuznetsk Trough]. *Geofizika. Spetsialnyy vypusk k 30-letiyu Sibneftegeofiziki – Geophysics. Special issue arranged to the 30th anniversary of Sibneftegeofizika*, 2001, issue 1, pp. 102–109. (In Russ.).

4. Muromtsev V.S., Kartseva G.N., Mikutsky S.P., et al. [Geological structure and oil-and-gas prospects of Kuzbass]. *Trudy SNIIGGiMS*, 1959, issue 4, 299 p. (In Russ.).

5. Zhero O.G. [To the question of petroleum potential of Kuzbass. Materials on geology, hydrogeology,

geophysics and minerals of Siberia]. *Trudy SNIIGGiMS*, 1960, issue 9, pp. 76–86. (In Russ.).

6. Kleshchev K.A., Kontorovich A.E., eds. *Metodicheskoye rukovodstvo po kolichestvennoy i ekonomicheskoy otsenke resursov nefti, gaza i kondensata Rossii* [Methodological guideline on quantitative and economic assessment of Russian oil, gas and condensate resources]. Moscow, VNIGNI Publ., 2000. 189 p. (In Russ.).

7. Siberian Federal District, Kemerovo region, geological map, scale 1:2.500.000 / based on the materials of the “Geological map of Russia and adjacent water areas, scale 2.500.000” / ch. ed. O.V.Petrov, resp. ed. S.I.Strelnikov. St. Petersburg, VSEGEI Publ., 2017. (In Russ.).

8. Cherkasov G.N., Sharov G.N., Ashurkov V.A. [Petroleum potential of the Kuznetsk Trough (West Siberia)]. *Geologiya i mineralno-syryevyye resursy Sibiri – Geology and Mineral Resources of Siberia*, 2012, no. 1 (9), pp. 107–121. (In Russ.).

© Ю. Л. Зайцева, В. В. Сапьяник, 2022



ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В РАЙОНЕ ДЕПУТАТСКОГО ОЛОВОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ ЯКУТИЯ)

М. М. Шац, В. Н. Макаров

Институт мерзлотоведения СО РАН, Якутск, Россия

Освещено состояние оловодобывающей отрасли в Якутии, в частности на крупнейшем месторождении олова – Депутатском. Охарактеризованы природные условия территории, их экстремальность в климатическом, геолого-геоморфологическом и геокриологическом отношениях. Показана масштабность и специфичность последствий отработки месторождения, характер и своеобразие воздействия на отдельные компоненты природной среды. Высказано мнение о нецелесообразности ограничений в дальнейшей отработке месторождения при условии создания и реализации системы природоохранных и компенсирующих мероприятий, позволяющих сохранить эффективную добычу олова с минимальным ущербом для северных геосистем. Это будет способствовать возрождению оловодобывающей отрасли республики.

Ключевые слова: олово, Депутатское месторождение, геоэкология, окружающая природная среда, добыча полезных ископаемых, охрана природы.

GEOECOLOGICAL CONDITIONS IN THE AREA OF THE DEPUTATSKOYE TIN ORE DEPOSIT (NORTH-EASTERN YAKUTIA)

M. M. Shats, V. N. Makarov

Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, Russia

The article highlights the state of the tin mining industry in Yakutia and in the largest tin deposit – Deputatskoye, characterizes natural conditions of the development territory, their extremity in climatic, geological, geomorphological and geocryological relations. The scale and specificity of consequences of mine development, nature, originality of the impact on individual components of the natural environment are shown. The opinion is expressed about the inexpediency of restrictions in further mine development provided that a system of nature protection and remedial measures is created and implemented to maintain an effective tin mining with minimal damage for northern geosystems. This will contribute to the revival of the tin mining industry of the republic.

Keywords: tin, deposit, Deputatskoye deposit, geoecology, natural environment, mineral extraction, nature protection.

DOI 10.20403/2078-0575-2022-4-55-63

Олово является одним из важнейших полезных ископаемых, задействованных в народном хозяйстве РФ.

Значительный рост спроса на бытовую электронику, особенно в Китае, Тайване, Южной Корее и Соединенных Штатах, стимулирует рынок олова, что, в свою очередь, обеспечивает поддержку установившихся высоких цен на металл. Его запасы в недрах нашей страны превышают 2 млн т, сконцентрированы восточнее Урала – в пределах Иркутской и Магаданской областей, Забайкальского, Хабаровского и Приморского краев, Республики Якутии и Чукотского автономного округа. Подобная асимметрия в распространении объясняется геологическими особенностями образования месторождений олова, локализованных в шести металлогенических провинциях – Байкальской, Забайкальской, Яно-Индигорской, Хингано-Охотской, Сихотэ-Алиньской и Чукотской [10, 11].

Сложное геологическое строение территории Республики Саха (Якутия) определило многообразие видов полезных ископаемых в ее недрах. Основной минерально-сырьевой базы республики являются крупные и уникальные месторождения угля,

нефти, газа, железных руд, полиметаллов, олова, сурьмы, ниобия, тантала, редкоземельных элементов, золота, серебра, урана и алмазов.

Освоение всех этих богатств требует знания и всестороннего учета экстремальных природных условий. При этом особое внимание должно уделяться инженерно-геологическим, в том числе геокриологическим, и геоэкологическим материалам, обуславливающим специфику отработки месторождений. Интенсивно возрастающие темпы добычи полезных ископаемых привели к негативным изменениям природной среды, достигающим в ряде горнопромышленных районов региона состояния критической экологической ситуации.

Основные месторождения олова сосредоточены на востоке и северо-востоке республики. В Якутии к настоящему времени известно 114 собственно оловянных объектов – девять коренных месторождений (Барыллыэлах, Депутатское, Дьяхтардахское, Кестер, Улахан-Эгеляхское, Чурпунньаа, Эге-Хая); шесть россыпных (Ергылкан, Смольникова, Тасаппа, Тирехтях (рис. 1), Тысы-Кыл, Чокурдахское), 92 коренных и семь россыпных проявлений, а также два



Рис. 1. Карьер на россыпном месторождении олова Тирехтах [3]

месторождения комплексных олово-вольфрамовых руд (Купольное и Хороньское).

Цель статьи – показать связь геокриологической специфики с геокриологическими и геоэкологическими условиями территории крупнейшего в РФ Депутатского оловорудного месторождения. Статья будет интересна и полезна студентам и специалистам геолого-географической и экономической отраслей.

Природные условия территории освоения

В административном отношении месторождение находится в Усть-Янском районе Республики Саха (Якутия), геоморфологически – в зоне сочленения Селянняхской межгорной впадины с горной цепью Салтага-Тас. Селянняхская межгорная впадина является типичным озерно-аллювиальным понижением с многочисленными водоемами в котлованах. Основные водотоки района месторождения – р. Иргичээн и ее правый приток р. Депутатская.

Климат района резко континентальный с суровой продолжительной зимой (8–9 месяцев) и коротким летом. Среднегодовая температура воздуха в районе $-13,2^{\circ}\text{C}$, среднегодовое количество осадков 250–280 мм, глубина снежного покрова до 24 см. Многолетнемерзлые породы имеют сплошной характер развития, мощность около 500 м, температура на подошве слоя годовых колебаний около $-7,0^{\circ}\text{C}$. Сезонное оттаивание грунтов составляет от 0,4 до 1,8 м [13, 15]. Основными географическими факторами, отрицательно влияющими на преобразование экосистем криолитозоны в районе месторождения, являются климатические (низкая температура, высокая повторяемость безветренных дней, туманы, относительно высокая плотность воздуха), геоморфологические и геокриологические условия ландшафтов (льдистость отложений, температура горных пород, мощность сезонно-талого слоя, наледи и другие мерзлотные процессы и явления).

К другой группе факторов, влияющих на последствия недропользования, относятся геологические и горнотехнические условия залегания месторождений, рельеф местности, глубина и мощность продуктивного слоя, угол наклона и формы рудного

тела, содержание и физико-химические свойства полезного компонента и геохимический состав руд, эндогенных ореолов и вмещающих пород.

Важный геоэкологический аспект – специфика развития криогенных процессов и явлений [14]. В целом природные условия при естественном развитии территории не благоприятствуют высокой активности криогенных процессов, в основном вследствие небольшой мощности рыхлых отложений, не превышающей 2–2,5 м.

В подобных условиях развиваются следующие криогенные процессы, ранжированные нами по степени пораженности района месторождения [13].

Морозное выветривание преобразовывает 20–30 % поверхности района. В них формируется достаточно мощная (2–7 м) кора криогенного выветривания песчаников, которая по своим свойствам резко отличается от подстилающих коренных пород. Это должно быть учтено при освоении.

Солифлюкция развита на 20–25 % площади, в результате поверхность перекрыта рыхлыми пылеватыми отложениями, которые в условиях достаточного увлажнения и под действием гравитационных сил перемещаются вниз по склонам. Скорость процесса обычно 8–10 см в год. В отдельных случаях при значительном уменьшении сил сцепления между частицами грунта и крутизне склонов более 1° скорость солифлюкции может достигать 30 см в год. При обычных скоростях солифлюкции на склонах малой (-5°) и средней ($6-10^{\circ}$) крутизны формируются оплывины, языки, натёки и микро-террасы.



Рис. 2. Морозобойная трещина на дороге. Фото С. И. Серикова



Рис. 3. Каменные моря – курумы (а) и морозная сортировка (б). Фото С. И. Серикова

Морозное пучение грунтов развито лишь на 15–20 % территории месторождения. Это связано с относительно низкой влажностью грунтов. В основном процессу подвержены озерно-аллювиальные и озерно-болотные отложения, а также аллювиальные отложения пойм и низких террас. Здесь формируется кочковатый микрорельеф. Диаметр кочек 30–50 см, высота 10–30 см, редко встречаются кочки до 1,5 м в поперечнике и 0,3–0,4 м высотой. Все эти формы являются результатом сезонного пучения.

Многолетнее пучение грунтов наблюдается редко и возможно только на участках развития торфяников. Образующиеся при этом отдельные слабовыпуклые многолетние бугры пучения имеют высоту не более 1–1,5 м.

Термокарстовые явления охватывают 5–8 % территории, что обусловлено отсутствием крупных залежеобразующих масс подземных льдов и локальным распространением сильно льдистых четвертичных отложений, зафиксированных лишь на отдельных участках поймы, I и II надпойменных террас, в долинах временных водотоков и на плоских или слабо выгнутых водораздельных пространствах.

Значительно более ярко выражены на местности делли на пологих склонах, перекрытых сильно льдистыми отложениями. Подобные термоэрозийные формы хорошо выработаны, имеют глубину до 2–2,5 м при ширине до 30 м.

Морозобойное трещинообразование – наименее всего развитый криогенный процесс, затронувший лишь 1 % площади (рис. 2).

Это связано с отсутствием в данном районе высокой влажности грунтов, больших разрывных температурных градиентов в деятельном слое. При обнажении участков высоких пойм и низких террас возможно развитие законсервированных маломощных полигонов морозобойных трещин и каменных морей – курумов (рис. 3).

Геоэкология территории месторождения

Горнодобывающие и горнообогатительные предприятия – одни из наиболее активных преоб-

разователей окружающей среды, что связано с целым комплексом техногенных факторов [4]. В то время и сами месторождения являются природными загрязнителями. Отрицательные геоэкологические последствия практически неизбежны при технологических процессах разведки и эксплуатации месторождений. Это дефляция и размыв отвалов и хвостохранилищ; стоки водоотлива из подземных и поверхностных горных выработок; стоки обогатительных фабрик после очистных сооружений; рассеяние рудного материала при транспортировке; организованные и неорганизованные выбросы в процессе обогащения.

Анализ природных особенностей и исследований по дифференциации территории региона, опыта разработки месторождений олова позволил привести принципиальную схему их геоэкологической типизации как объектов недропользования (табл. 1).

Значительная химическая нагрузка на водные и наземные экосистемы месторождений олова в регионе определяется особенностями регионального геохимического фона, составом добываемого сырья и вмещающих пород, таликовых зон, высокой способностью мерзлых пород к пылеобразованию.

К технологическим факторам воздействия на геологическую среду и экосистемы при недропользовании отнесены способ и система разработки месторождений, применяемая технология добычи и переработки сырья, используемый комплекс основной и вспомогательной техники.

Геоэкологическая ситуация, характерная для оловорудных месторождений, рассматривается нами на примере Депутатского оловорудного месторождения, расположенного на северо-востоке Республики Саха (Якутия) в Усть-Янском районе (рис. 4). Это крупнейшее месторождение олова в России: его запасы составляют 13 % от общероссийских. Месторождение открыто 3 августа 1947 г. и активно разрабатывалось подземным способом в 1951–1999 гг. Позднее, в связи с общими экономическими проблемами в стране [13], эксплуатация

Таблица 1

Схема геоэкологической типизации месторождений олова [15]

Виды месторождений олова	Типичные геоэкологические особенности размещения минеральных ресурсов	Характерные формы воздействия на компоненты природной среды
Россыпные (Ергылкан, Смольникова, Тасаппа, Тирехтях, Тысы-Кыл, Чокурдахское)	Располагаются в долинах малых и средних порядков, в отложениях речных террас, бортах долин, реже на водоразделах. Мощность ММП 300–500 м. Глубина залегания россыпей от до 10·n м. Форма пластообразная, протяженность от 0,1 до n·10 км. Ширина россыпей в среднем от 10 до 10·n м	Нарушение мерзлотных условий ландшафта, почвенно-растительного покрова, техногенные атмо-, гидро- и литохимические ореолы и потоки, снижение биологической продуктивности экосистем
Рудные (Барыллыэлах, Депутатское, Дьяхтардахское, Кестер, Улахан-Эгелях, Эге-Хая, Чурпуньяа)	Тяготеют к положительным морфоструктурам (плато, низко-, среднегорный рельеф), вершинным и водораздельным поверхностям. Мощность ММП 300–500 м. Формы рудных тел от простых до сложных, разной конфигурации. Глубина залегания от 1 до 10·n м, мощность рудных тел и жил от 1 до 10·n м	Нарушение мерзлотных условий ландшафта, почвенно-растительного покрова, сбросы в водотоки, загрязнение атмосферы; химический состав вмещающих пород, природные и техногенные лито- и гидрогеохимические ореолы и потоки рассеяния; закисление геосистем, снижение биологической продуктивности экосистем; технологии добычи (открытая, подземная), обогащения и складирования отходов производства (отвалы пустых пород)



Рис. 4. Космический снимок района Депутатского месторождения

постепенно сокращается. Ограниченная отработка ведется и в настоящее время [8].

Основной оловосодержащий минерал месторождения – касситерит, попутные ценные элементы в рудных телах – In, Au, Bi, Ag (табл. 2).

Рудное поле месторождения сложено мощной терригенной толщей песчаников с прослоями-ритмами глинистых алевролитов и алевропесчаников.

Таблица 2

Химический состав руды Депутатского месторождения олова, мг/кг

Горные породы	Sn	Cu	Zn	Pb	As	Tl	Кол-во проб
Руда на Западном и Центральном флангах месторождения	4000	310	1200	70	64	1,4	120
Вмещающие породы, песчаники	3,8	26,3	76,8	18,7	<5	0,84	32

Простираение пластов от северо-западного до субширотного, падение до 20° на юго-восток. Рудные тела морфологически представлены минерализованными зонами дробления, жилами выполнения, зонами прожилкования с выклинивающимися и дуговыми апофизами. Мощность не выдержана и изменяется в пределах от 0,3 до 4,5 м с небольшими раздувами. Состав первичных руд – сульфиды, кварц, хлорит, турмалин, метаморфизованные осколки вмещающих пород [12]. Западный участок Депутатского оловорудного месторождения вскрыт штольнями Вентиляционная, Капитальная, Вскрывающая (рис. 5).

К настоящему времени в результате горно-геологических работ серьезному преобразованию подвержено около 75 % площади месторождения [8]. Выделяются ландшафты катастрофической, значительной и умеренной степени техногенной нарушенности (рис. 6). Общая площадь нарушенных земель на Депутатском горнообогатительном комбинате составляет около 4,9 тыс. га.

Категория объекта по степени последствий разработки на данной стадии оценивается авторами как умеренно опасная, с возобновлением отработки – как опасная, а при аварийных ситуациях может стать особо опасной.



Рис. 5. Участок «Западный» оловорудного месторождения Депутатское. Фото С. И. Серикова

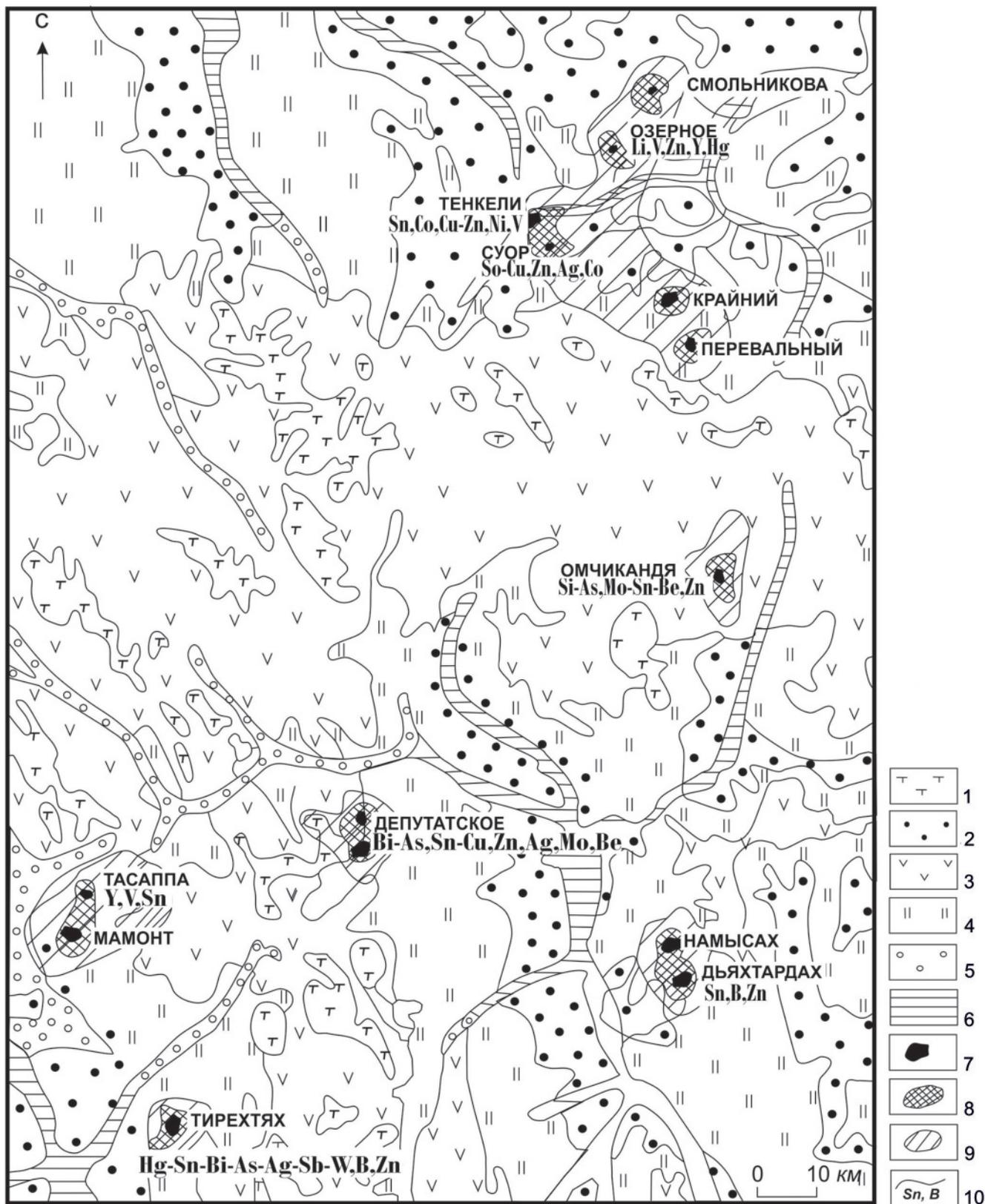


Рис. 6. Нарушенность ландшафтов Депутатского горнопромышленного узла

Тип ландшафта: 1 – горно-приповерхностный, 2 – плоскогорно-привершинный, 3 – горно-склоновый, 4 – межлассный, 5 – горно-долинный, 6 – мелкодольный; 7–9 – зоны различной степени техногенной нарушенности: 7 – катастрофической, 8 – значительной, 9 – умеренной; 10 – геохимические потоки рассеяния

Поверхностные воды (реки, озера) за пределами месторождения очень пресные с минерализацией 30–40 мг/л, гидрокарбонатные смешанные по со-

ставу катионов. Характерная особенность химического состава фоновых вод – сравнительно высокое для Северо-Востока Якутии содержание сульфат-ио-

на, отражающее насыщенность сульфидами горных пород. Соотношение анионов в составе фоновых речных вод – $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$, катионов – $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+$, $\text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ [6].

В формировании химического состава поверхностных и надмерзлотных вод преобладающее значение принадлежит атмосферным осадкам, которые вносят около 30–40 % солей в речные воды. Дождевые воды частично просачиваются в горные породы до кровли многолетней мерзлоты, насыщая сезонно-талый слой, а в основном стекают по поверхности в пониженные участки рельефа, в реки и озера.

Общей чертой гидрогеохимии района Депутатского месторождения является формирование кислых, иногда очень кислых естественных гидрогеохимических полей с высокими концентрациями сульфатов и присутствием в солевом составе комплекса рудных элементов [7].

В результате процессов криогенеза в надмерзлотных водах формируются сульфатные криопэги. Величина сухого остатка этих вод достигает 250 г/л, а в составе микроэлементов обнаружены высокие концентрации Cu, Sn, As, Ag, Pb, Cd, Be, Nb, Ta, Li, Hg.

Повышенная сульфатность характерна и для подмерзлотных вод, вскрытых скважинами в пределах рудного поля на глубинах 200–600 м. В составе подмерзлотных вод наблюдается обширный комплекс тяжелых металлов (Sn, Cu, Ag, Pb, Zn, Ni) и As, типоморфных составу рудных тел.

Источниками долговременного загрязнения речных экосистем являются хвостохранилища. Рудная пульпа обогащена металлами (в основном халькофильной группы). Экологическая опасность продуктов обогащения связана с активизацией физико-химических процессов, возрастанием миграционной способности металлов, что ведет к развитию контрастных и протяженных потоков их рассеяния.

Значительную опасность представляет такие высокотоксичные элементы как As и Pb, накапливающиеся в осадках отстойников и хвостохранилищ, и способные быть источниками вторичного загрязнения воды. Их содержание в осадках, особенно в техногенных илах, высокое (табл. 3).

Отрицательные экологические последствия разработки Депутатского месторождения олова имеют локальный характер по загрязнению атмосферы и литосферы и региональный по уровню техногенного давления на водные системы.

Таблица 3

Содержание As и Pb в осадках хвостохранилищ Депутатского ГОКа, мг/кг

Объект	As	Pb
Хвостохранилище	1000	7
Отстойник	500	70
ПДК _{почв} [2]	10	32

Отработка месторождения ведется шахтным способом и связана с извлечением на поверхность больших масс пустых горных пород, откачкой дренажных вод, эксплуатацией их накопителей, хвостохранилищ.

Природную гидрогеохимическую обстановку меняют техногенные процессы: увеличение инфильтрационного питания за счет поступления из накопителей карьерных вод и жидкой фазы пульпы из хвостохранилищ; атмосферных осадков, поверхностных вод вследствие инверсии режима поверхностных водоемов и водотоков (превращения их из естественных дрен в источники питания); загрязнение поверхностных вод атмосферными осадками, содержащими продукты выщелачивания отвалов пустых пород, карьерными водами, откачиваемыми в накопители, поверхностные водотоки и водоемы, сточными водами. Большинство сооружений, ограждающих накопители и хвостохранилища, пропускают техногенные растворы. Для техногенных стоков характерна стабильность поступления загрязнителей в водотоки. «Ураганная» кислотность, повышенная концентрация сульфатов и соединений азота наблюдается в водосбросе хвостохранилища Депутатского оловорудного месторождения на протяжении тридцати лет (табл. 4).

Поступление техногенных вод из хвостохранилища (рис. 7) формирует контрастные техногенные


Рис. 7. Хвостохранилище Депутатской обогатительной фабрики. Фото С. И. Серикова

Таблица 4

Содержание макро- и микрокомпонентов в техногенных водоемах Депутатского оловорудного месторождения, мг/л

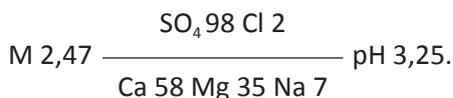
Объект	pH	NH_4^+	NO_2^-	SO_4^{2-}	Mg^{2+}	Zn	Cu	Mn	As
Хвостохранилище	2,6–3,5	405	0,034	11350	145	1,1	64	45	0,10
Водосброс (1991 г.)	2,6	1,0	0,005	1094	60	1,5	2,0	1,0	0,005
Водосброс (2021 г.)	2,9	<0,5	1,31	1250	52	<0,005	<0,001	0,0043	0,005
ПДК _{рх} [1]	–	0,1	0,02	100	40	0,010	0,001	0,010	0,010



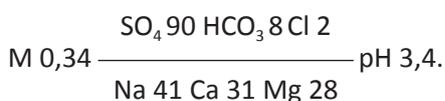
гидрогеохимические аномалии в р. Депутатская, ручьях, расположенных ниже по течению и даже в р. Иргичээн, куда сточные воды с накопителя жидких промышленных отходов на хвостохранилище прямиком спускаются по водосбросному лотку. При этом содержание, к примеру, аммония, Fe, Mn, Cu, Zn в воде, накапливающейся в хвостохранилище, превышает ПДК в сотни и даже в тысячи раз

Большие объемы загрязненных стоков попадают в водные системы при катастрофических паводках. На Депутатском ГОК с 22 мая по 4 июня 2007 г. объем сброса составил 202 тыс. м³; с 6 по 13 июня 2008 г. – 103 тыс. м³ паводковой воды при пропускной способности сифонного водосброса 600 м³/ч.

Вода ручьев, расположенных ниже разрабатываемых месторождений Депутатского рудного поля, представляет собой типичные «рудные» воды с преобладанием сульфатов в солевом составе и высокой концентрацией тяжелых металлов. Это очень агрессивные кислые воды (рН 2,5–3,5) с повышенной минерализацией. Высокая кислотность и насыщенность природных вод сульфатами и тяжелыми металлами наблюдается практически на всем протяжении р. Депутатская. Химический состав воды ниже хвостохранилища ДОФ сульфатный магниевый с минерализацией около 2,5 г/л (формула Курлова):



Рудничные воды обогатительной фабрики частично сливаются через водоотводный туннель непосредственно в р. Иргичээн. Нейтрализация технологических растворов малоэффективна, и через туннель в реку поступают практически неочищенные очень кислые стоки. В русле реки ниже водоотвода рудничных вод формируется контрастная техногенная аномалия (р. Иргичээн, 1,5 км ниже водоотвода Депутатской обогатительной фабрики – ДОФ):



Сброс рудничных вод Депутатской обогатительной фабрики в водную систему р. Иргичээн приводит к ее загрязнению широкой гаммой микроэлементов (табл. 5). Однако, благодаря щелочному геохимическому барьеру в воде реки, тяжелые металлы частично удаляются из раствора и концентрируются в донных осадках.

Для улучшения экологической обстановки на Депутатском месторождении в ООО «Геотех-проект» в 2020 г. разработан проект консервации Депутатского ГОКа. Предлагается осушить хвостохранилище, а сухой остаток покрыть несколькими слоями специальной гидроизолирующей пленки, создав и запечатав внутри искусственную мерзлоту. Этот процесс планируется повторить, а затем на-

Таблица 5

Состав и контрастность техногенных гидрогеохимических аномалий в районе Депутатского месторождения олова (n = 2–9)

Контрастность относительно фоновых содержаний	Состав гидрогеохимических аномалий
1000·n	Zn, Cu, Mn
100·n	Co, Pb, La, SO ₄
10·n	Ag, Mo, Sn, As, Mg, NH ₄
n	V, Cr

крыть содержимое хвостохранилища специальным составом, затвердевающим при контакте с водой, и засыпать грунтом. На финальном этапе объект будет засыпан слоем грунта высотой около 1 м. Считается, что это позволит исключить миграцию загрязнителей в водные системы. Проектом также предусмотрена реконструкция старых дренажных каналов через горный хребет в долину р. Иргичээн.

Выводы

Оловодобывающая отрасль в Яно-Индибирской провинции на Северо-Востоке Якутии характеризуется высокими запасами полезных ископаемых при экстремальных природных условиях (резко континентальный климат, скудная растительность, суровые слабо изученные мерзлотные и геоэкологические характеристики). В сочетании все это обуславливает необходимость разработки и реализации системы природоохранных и компенсирующих мероприятий.

Еще в далеком 1963 г. известный ученый К. Г. Кондаков отметил, что на основе всестороннего учета качества сырья определена высокая экономическая эффективность создания в Якутии крупной оловодобывающей промышленности [5]. Так, для получения 1 т олова в концентрате из якутских месторождений из-за высокого его содержания и качества руд при одинаковом уровне потребуется меньше затрат на технику, рабочую силу, чем в Приморском крае, – в 3 раза, в Хабаровском крае и Магаданской области – в 1,5 раза, в Читинской области – в 7,5 раз.

Цена на олово за последние десять лет на Лондонской бирже металлов на 17.01.2022 увеличилась с 24818 до 41553 \$/т, т. е. почти в 2 раза, а средняя цена олова с 01.01.1993 по 18.01.2022 г. возросла на 35991 \$/т (647 %): с 5562 до 41553 \$/т. Казалось бы, при устойчивом росте мирового спроса на олово можно достичь неплохих финансовых показателей при дальнейшем освоении Депутатского месторождения. Однако одним из факторов, удорожающих освоение природных ресурсов республики, является отсутствие налаженной экономически эффективной транспортной схемы. Транспортировки, хранение и реализация оловянного концентрата на месторождении Депутатское в целом занимает до 1,5 лет.

Усть-Янский район, где расположено Депутатское и другие разведанные месторождения олова,

входит в состав Арктической зоны, инвестиционный потенциал которой базируется на запасах полезных ископаемых. При этом основные проблемы связаны с экстремальными природными условиями, приводящими к сложностям с переработкой, транспортировкой сырья; кроме того, практически утрачен квалифицированный кадровый потенциал отрасли. Особо следует обратить внимание на необходимость решения важнейшей проблемы – вовлечения в хозяйственный оборот перспективнейшего месторождения Черпунья, обладающего рудой с уникально высокими содержаниями олова, но находящегося на побережье Северного Ледовитого океана в наиболее экстремальных природных условиях, что и послужило причиной, из-за которой отработка здесь так и не развернута.

Авторы считают, что самым разумным было бы соблюсти баланс между экологическими и экономическими интересами республики, а квалифицированно это могут сделать только экономисты. Авторы надеются, что окончательное решение о будущем месторождения будет принято с учетом оперативной и объективной информации о геокриологических и геоэкологических условиях Яно-Индибирской оловорудной провинции. Создание и реализация системы природоохранных и компенсирующих мероприятий позволят сохранить эффективную добычу олова с минимальным ущербом для северных геосистем и способствовать возрождению оловодобывающей отрасли республики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **ГН 2.1.5.1315-03.** Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. – М.: Минздрав России, 2003 (с изменениями на 13.07.17).

2. **ГН 2.1.7.2041-06.** Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы. – М.: Стандартиформ, 2006. – 15 с.

3. **Добыча** олова на месторождении Тирехтах в Якутии может начаться в 2018 году. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3199732>.

4. **Единые** правила охраны недр при разработке месторождений твердых полезных ископаемых / Госгортехнадзор СССР. – М.: Недра, 1987. – 60 с.

5. **Кондаков К. Г.** Основные экономические положения эффективности промышленного освоения недровых богатств Якутской АССР: доклад о содержании основных опубликованных работ на соиск. учен. степ. к. э. н. / Объединенный ученый совет по экономическим наукам СО АН СССР. – Якутск, 1963. – 25 с.

6. **Макаров В. Н.** Ионная (солевая) миграция химических элементов в природных водах криолитозоны // Сб. докл. междунар. науч. конф. «Четвертые Виноградовские чтения. Гидрология: от

познания к мировоззрению» (24–27 марта 2020 г., СПбГУ). – СПб.: ВВМ, 2020. – С. 957–962.

7. **Макаров В. Н., Мокшанцев Б. К.** Техногенные геохимические потоки месторождений олова в арктической зоне Якутии // Формирование подземных вод криолитозоны. – Якутск: Ин-т мерзловедения СО РАН, 1992. – С. 48–65.

8. **Матвеев А. И., Еремеева Н. Г.** Технологическая оценка месторождений олова Якутии. – Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2011. – 119 с.

9. **Мерзлые ландшафты Якутии.** Пояснительная записка к мерзлотно-ландшафтной карте Якутской АССР м-ба 1:2 500 000. – Новосибирск: ГУГК, 1989. – 170 с.

10. **Перспективы добычи олова в России.** – URL: <https://www.yktimes.ru/%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8/perspektivy-dobyichi-olova-v-rossii>.

11. **Свинобоева О. Н., Ноговицын Р. Р.** Перспективы возрождения оловянной промышленности в Республике Саха (Якутия). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-vozhrozhdeniya-olovyannoy-promyshlennosti-v-respublike-saha-yakutiya>.

12. **Тектоника,** геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / отв. ред. Л. М. Парфенов, М. И. Кузьмин. – М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. – 571 с.

13. **Шац М. М.** Геокриологические и геоэкономические аспекты освоения месторождений олова, Яно-Индибирская провинция (Якутия) // Маркшейдерия и недропользование. – 2019. – № 5 (103). – С. 3–8.

14. **Шац М. М.** Дистанционные эколого-геокриологические исследования. – Якутск: Ин-т мерзловедения СО РАН, 1997. – 78 с.

15. **Шац М. М., Макаров В. Н.** Геоэкологические особенности недропользования в Восточной Сибири // Всерос. конф. с междунар. участием «Устойчивость природных и технических систем в криолитозоне», посвящ. 60-летию образования ИМЗ СО РАН (28–30.09.2020 г.) – Якутск: Ин-т мерзловедения СО РАН, 2020. – С. 204–207.

REFERENCES

1. *GN 2.1.5.1315-03. Predelno dopustimyye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v vode vodnykh obyektov khozyaystvenno-pityevogo i kulturno-bytovogo vodopolzovaniya* [HS hygienic standards 2.1.5.1315-03. Maximum concentration limits (MCL) of chemicals in the water of water bodies of drinking and household and cultural and social water use)]. Moscow, Ministry of Health of Russia Publ., 2003 (as amended on 13.07.17). (In Russ.).

2. *GN 2.1.7.2041-06. Predelno dopustimyye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v pochve. Gigenicheskiye normativy.* [Maximum concentration limits (MCL) of chemicals in soil. Hygienic standards]. Moscow, Standartinform Publ., 2006. 15 p. (In Russ.).



3. Mestorozhdeniye Tirekhtyakh [Tirekhtyakh deposit]. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3199732A> (accessed: 12.06.2021). (In Russ.).
4. [Unified Rules for the Protection of Subsurface Resources upon the Development of Deposits of Solid Commercial Minerals]. *Gosgotekhnasdzor SSSR State Technical & Mining Inspectorate of USSR*. Moscow, Nedra Publ., 1987. 60 p. (In Russ.).
5. Kondakov K.G. *Osnovnyye ekonomicheskiye polozheniya effektivnosti promyshlennogo osvoeniya nedrovyykh bogatstv Yakutskoy ASSR. Doklad kand. dis.* [The main economic provisions of the efficiency of commercial development of the subsoil resources of the Yakut ASSR. Author's abstract of PhD thesis]. Yakutsk, 1963. 25 p. (In Russ.).
6. Makarov V.N. [Ionic (salt) migration of chemical elements in natural waters of the cryolithic zone]. *Chetvertye Vinogradovskiy chteniye. Hidrogeologiya: ot poznaniya k mirovozzreniyu 24–27 marta 2020. Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy universitet* [The 4th Vinogradov Readings. Hydrology: From Cognition to Worldview. March 24–27, 2020. St. Petersburg State University]. Saint Petersburg, VVM Publ., 2020, pp. 957–962. (In Russ.).
7. Makarov V.N., Mokshantsev B.K. [Technogenic geochemical fluxes of tin deposits in the Arctic zone of Yakutia]. *Formirovaniye podzemnykh vod kriolitozony* [Formation of groundwater in the permafrost zone]. Yakutsk, Permafrost Institute SB RAS Publ., 1992, pp. 48–65. (In Russ.).
8. Matveev A.I., Eremeeva N.G. *Tekhnologicheskaya otsenka mestorozhdeniy olova Yakutii* [Technological assessment of tin deposits in Yakutia]. Novosibirsk, Geo Publ., 2011. 119 p. (In Russ.).
9. Fedorov A.N., Botulu T.A., Varlamov S.P. *Merzlyye landshafty Yakutii. Poyasnitelnaya zapiska k merzlotno-landshaftnoy karte Yakutskoy ASSR masshtaba 1: 2 500 000*. [Permafrost landscapes of Yakutia. Sketchbook for Permafrost-Landscape map of Yakutian ASSR scale 1:2,500,000]. Novosibirsk, GUGK Publ., 1989. 170 p. (In Russ.).
10. *Perspektivy dovyichi olova v Rossii* [Prospects of tin mining in Russia]. URL: <https://www.yktimes.ru/%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8/perspektivy-dobyichi-olova-v-rossii> (accessed: 11.06.2017). (In Russ.).
11. Svinoboeva O.N., Nogovitsyn R.R. *Perspektivy vozrozhdeniya olovyannoy promyshlennosti v respublike Sakha (Yakutiya)* [Perspectives for revival of tin industry in the Republic of Sakha (Yakutia)]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-vozhrozhdeniya-olovyanoy-promyshlennosti-v-respublike-saha-yakutiya> (accessed: 18.09.2018). (In Russ.).
12. Parfenov L.M., Kuzmin M.I. *Tektonika, geodinamika i metallogeniya territorii Respubliki Sakha (Yakutiya)* [Tectonics, geodynamics and metallogeny of the Sakha Republic territory (Yakutia)]. Moscow, MAIK Nauka/Interperiodika Publ., 2001. 571 p. (In Russ.).
13. Shats M.M. [Geocryological and geoecological of development of tin deposits of Yana-Indigir Province (Yakutia)]. *Marksheyderiya i nedropolzovaniye – Mine Surveying and Subsurface Use*, 2019, no. 5 (103), pp. 3–8. (In Russ.).
14. Shats M.M. *Distantsionnyye ekologo-geokriologicheskiye issledovaniya* [Remote ecologic and geocryologic investigations]. Yakutsk, Permafrost Institute SB RAS Publ., 1997. 78 p. (In Russ.).
15. Shats M.M., Makarov V.N. [Geoecological features of subsurface use in Eastern Siberia]. *Vserossiyskaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennaya 60-letiyu obrazovaniya IMZ SO RAN “Ustoychivost prirodnykh i tekhnicheskikh sistem v kriolitozone” (28–30.09.2020)* [All-Russian Conference with international participation, devoted to the 60th anniversary of establishment of Permafrost Institute SB RAS “Environmental and infrastructure integrity in permafrost regions” (28–30.09.2020)]. Yakutsk, Permafrost Institute SB RAS Publ., pp. 204–207. (In Russ.).

© М. М. Шац, В. Н. Макаров, 2022



УДК 550.42

ПРОИСХОЖДЕНИЕ АВТОНОМНЫХ РОССЫПЕЙ АЛМАЗОВ

В. С. Шкодзинский

Институт геологии алмазов и благородных металлов СО РАН, Якутск, Россия

Полученные доказательства горячей аккреции Земли свидетельствуют, что кимберлиты, лампроиты и алмазы сформировались из остаточных расплавов придонных перидотитовых частей глобально-магматического океана, образовавшегося в результате огромного импактного тепловыделения при аккреции. Характерные для автономных россыпей с неизвестным коренным источником ромбододекаэдрические и округлые алмазы возникли в относительно богатых кремнекислотой вязких магмах. Низкое содержание в них углекислоты привело к небольшой глубине вскипания, декомпрессионного затвердевания и взрыва затвердевших частей поднимающихся магматических колонн под влиянием законсервированного затвердеванием высокого внутреннего давления газовой фазы и к образованию незначительных по объему взрывных диатрем. Поэтому продукты взрыва выбрасывались преимущественно на земную поверхность и сформировали алмазоносные тuffy и тuffизиты. Их размыв привел к формированию автономных россыпей алмаза, для которых не удается найти кимберлитовые трубки – предполагаемые коренные источники алмазов.

Ключевые слова: россыпи, алмазы, магматический океан, декомпрессионное затвердевание.

ORIGIN OF AUTONOMOUS DIAMOND PLACERS

V. S. Shkodzinsky

Diamond and Precious Metal Geology Institute, SB RAS, Yakutsk, Russia

The obtained evidences of the hot accretion of Earth indicates that kimberlites, lamproites and diamonds were formed from residual melts of the bottom peridotite parts in global magmatic ocean generated as a result of the huge impact heat input during accretion. Rhombic-dodecahedron and rounded diamonds, characteristic of autonomous placers with an unknown mother lode, appeared in relatively silicic acid-rich viscous magmas. The low content of carbon dioxide in them led to a small boiling depth, decompression solidification and explosion of solidified parts of rising pyrogeic columns under the influence of the high internal pressure of gas phase preserved by solidification and to the formation of explosive diatremes insignificant in volume. Therefore, explosion products were ejected mainly onto the Earth's surface and formed diamond tuffs and tuffizites. Their wash out has led to the formation of autonomous diamond placers, for which it is not possible to find kimberlite pipes, the supposed mother lodes of diamonds.

Keywords: placers, diamonds, magmatic ocean, decompression solidification.

DOI 10.20403/2078-0575-2022-4-64-69

С древнейших времен россыпи – источники алмазов. Аллювиальной россыпью является, например, Голконда в Индии, где были найдены знаменитые ювелирные алмазы Кох-и-Нур, Орлов, Регент [2]. В настоящее время выделяются две разновидности россыпей. Россыпи ближнего переноса имеют отчетливую пространственную связь с недалеко расположенными (обычно до первых десятков километров) кимберлитовыми трубками и содержат одинаковые с ними алмазы. Они имеют относительно небольшой размер и широко распространены в Якутской кимберлитовой провинции [3]. Россыпи, образование которых связывается с дальним переносом алмазов, имеют множество загадочных особенностей.

Известно, что в водотоках наиболее далеко переносятся мелкие обломки пород и минералов. Например, средний вес алмазов в устье р. Малая Ботубия составляет 23,4 мг, а на участке в 300 км ниже по течению р. Вилюй – 9 мг [3]. Поэтому россыпи дальнего переноса, казалось бы, должны содержать мелкие кристаллы алмазов, однако замечательная их особенность – намного бóльшая средняя крупность алмазов по сравнению с кимберлитовыми трубками. В трубках Якутии средний вес кристаллов

алмаза обычно составляет первые миллиграммы (рис. 1), в россыпях р. Маят и Вишерского Урала он достигает многих десятков мг, а в россыпях юго-западного побережья Африки – 300 мг. Можно предполагать повышение среднего веса алмазов за счет интенсивного выноса самых мелких алмазов и незначительных перемещений крупных. Но в этом случае образование россыпей и отсутствие в них коренных источников вряд ли можно связывать с процессами дальнего переноса.

Другой загадочной особенностью является обычно отсутствие богатых кимберлитовых трубок – предполагаемых коренных источников алмазов. Поэтому такие россыпи целесообразно называть автономными. Крупность и высокое содержание ювелирных алмазов в россыпях стимулировало проведение большого объема поисковых работ. Например, в Южной Африке для поиска коренных источников алмазов россыпей из кимберлитовых трубок было отобрано множество тысячетонных проб [5], но найти коренные источники крупных алмазов так и не удалось. В связи с большой площадью распространения россыпей (до сотен тысяч квадратных километров) это совершенно непонятно. Обычно

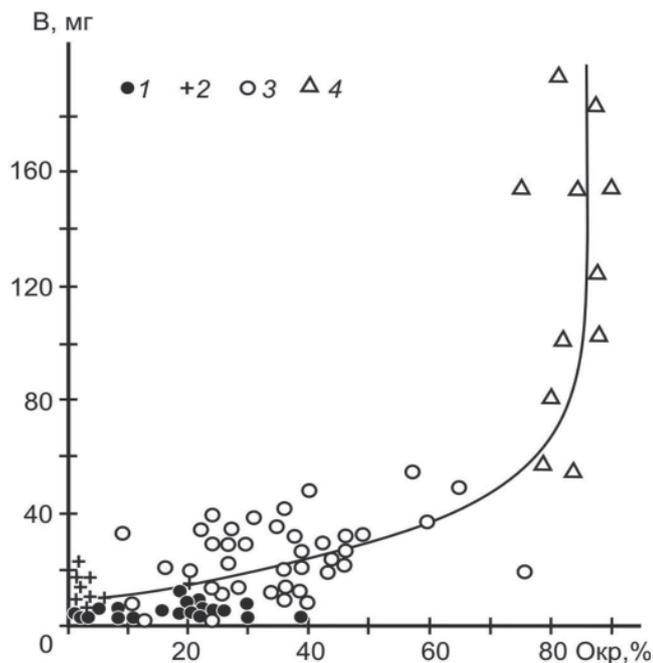


Рис. 1. Соотношение доли округлых (Окр) алмазов с их средним весом (В) в кимберлитовых трубках Якутии (1), в россыпях ближнего переноса (2), в автономных россыпях Якутии (3) и Вишерского Урала (4) [7]

предполагается, что алмазы перемещены на огромное расстояние и коренные источники слишком удалены, однако большая крупность алмазов противоречит этому предположению.

Еще одна особенность автономных россыпей – высокая доля в алмазах додекаэдроидов и округлых кристаллов и очень редкое присутствие октаэдров. Алмазы северных россыпей Якутии и Вишерского Урала по соотношению наиболее распространенных преимущественно октаэдрических ламинарных алмазов с суммой округлых и ромбододекаэдрических кристаллов кардинально отличаются от алмазов кимберлитовых трубок (рис. 2). Это указывает, что типичные кимберлиты не являются коренным источником алмазов рассматриваемых россыпей. Для выяснения их генезиса необходимо установление природы главных разновидностей алмаза. Это позволяют сделать имеющиеся доказательства образования кимберлитов и содержащихся в них алмазов в результате кристаллизации и фракционирования перидотитового слоя глобального магматического океана, возникшего в результате огромного импактного тепловыделения при аккреции Земли [6, 7].

По этим данным железное ядро быстро сформировалось раньше мантии в результате объединения частиц железа в протопланетном диске под влиянием главным образом магнитных сил, поскольку они были в миллиарды раз мощнее гравитационных [6]. Магматический океан образовался на самой ранней стадии аккреции мантии. Его придонная часть кристаллизовалась и фракционировала под влиянием роста давления верхних частей, возникавших при аккреции, и процессов остывания. Постепенное возрастание интенсивности аккреции и температу-

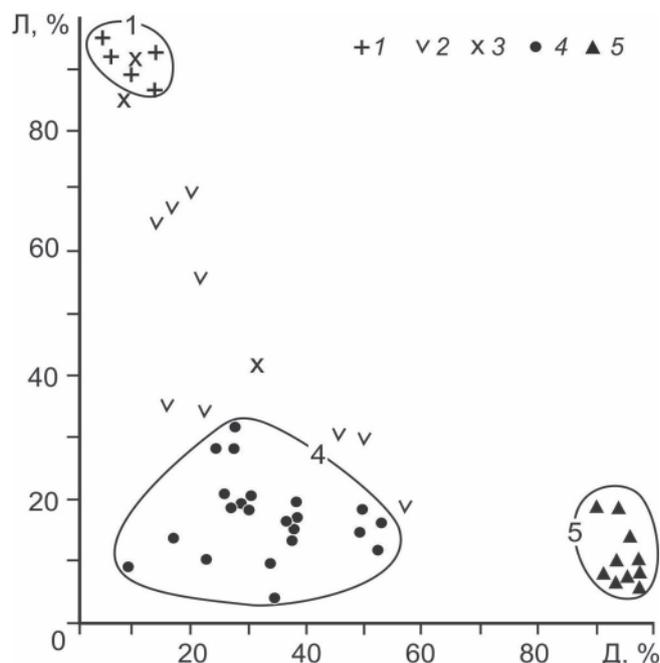


Рис. 2. Соотношение долей ламинарных (Л) алмазов с суммой ромбододекаэдрических и округлых (Д) в кимберлитах Малоботубинского поля Якутии (1), северных трубок (2), в россыпях ближнего переноса (3), автономных россыпях Якутии (4) и Вишерского Урала (5) [3]

ры магматического океана обусловило эволюцию состава его придонных остаточных расплавов от низкотемпературных кислых к высокотемпературным основным и перидотитовым, образование в магматическом океане соответствующих по составу слоев, обратного геотермического градиента в мантии, отсутствие в ней конвекции и современных геодинамических обстановок на ранней Земле.

Вследствие слоистости и сильного возрастания плотности с глубиной (от 2,2 до 2,8 г/см³) остывание магматического океана не сопровождалось широкомасштабной конвекцией расплавов. Поэтому он длительно кристаллизовался сверху вниз в результате преимущественно кондуктивных теплопотерь. Затвердевание верхнего кислого слоя привело к формированию раннедокембрийских кристаллических комплексов и континентальной коры. Всплытие остаточных расплавов из различных слоев обусловило эволюцию магматизма древних платформ от кислого к основному, ультраосновному и кимберлитовому.

Вследствие глубинного положения перидотитового слоя и кристаллизации магматического океана сверху вниз большинство кимберлитовых остаточных расплавов сформировалось в фанерозое. Это объясняет относительно молодой возраст кимберлитов (в среднем 236 млн лет). Алмазы начали кристаллизоваться при еще гарцбургитовом составе перидотитового слоя около 3,5 млрд лет назад вследствие накопления свободного углерода в расплаве, поскольку он почти не входил в состав кристаллизовавшихся породообразующих минералов. Очень небольшая вязкость перидотитовых расплавов (де-

сытые доли пьюза) обусловила большую скорость диффузии углерода. Поэтому он успевал достигать торцов слоев роста на кристаллах и присоединялся преимущественно к ним, поскольку здесь обнажалось максимальное количество свободных ковалентных связей углерода. В результате путем послойного роста формировались идеальные остросереберные октаэдры алмаза с зеркально гладкими гранями. Слоистое строение обусловило их ламинарность. Вследствие еще высокой температуры верхних слоев магматического океана кристаллизация октаэдров была очень длительной (более миллиарда лет). Это обусловило образование встречающихся в кимберлитах алмазов-гигантов и их преимущественно (в 99 % случаев) октаэдрическую огранку [6].

Декомпрессионное плавление вещества всплывавших плюмов (и потому отсутствие в них процессов накопления углерода) объясняет отсутствие в их породах алмазов, несмотря на огромное давление на глубинной стадии эволюции. Относительная кратковременность процессов накопления углерода в иногда кристаллизовавшихся в глубинных условиях основных магмах обычно является причиной очень небольшой массы (доли миллиграмма) кристаллов алмаза, встречающихся в щелочных базитах.

Накопление в магматическом океане при фракционировании многовалентных элементов (Si, Al, Ti) привело к увеличению вязкости расплавов в тысячи раз, к уменьшению в них скорости диффузии углерода и площади возникавших слоев роста на алмазах. Постепенное уменьшение размера слоев обусловило формирование выпуклых граней и округлых кристаллов. Послойный рост алмазов сменялся на радиальный, и возникали сначала кристаллы переходной морфологии, а затем ромбододекаэдры, кубы и агрегаты. Это подтверждается существованием прямой корреляции в кимберлитах доли ромбододекаэдров, кубов (рис. 3) и округлых алмазов (рис. 4) с содержанием кремнекислоты, обычно накапливающейся при фракционировании. Обратная корреляция наблюдается для октаэдров с кремнекислотой и округлых кристаллов с величиной структурного фактора расплавов, поскольку эта величина уменьшалась при процессах фракционирования [4]. Существование этих корреляций – важное доказательство реальности полученной модели алмазообразования.

На поздних стадиях фракционирования на кристаллах формировались разнообразные скульптуры. Вследствие накопления расплавофильных компонентов в остаточных расплавах в сотни раз возрастало содержание примесей, особенно азота в поздних алмазах. Опускание и подъем алмазов локальными нисходящими и восходящими потоками расплавов в разные по составу слои магматического океана обусловили существование нарушений единой зональности в распределении примесей в кристаллах. Эволюция морфологии и состава алмазов при кристаллизации перидотитового слоя магматического

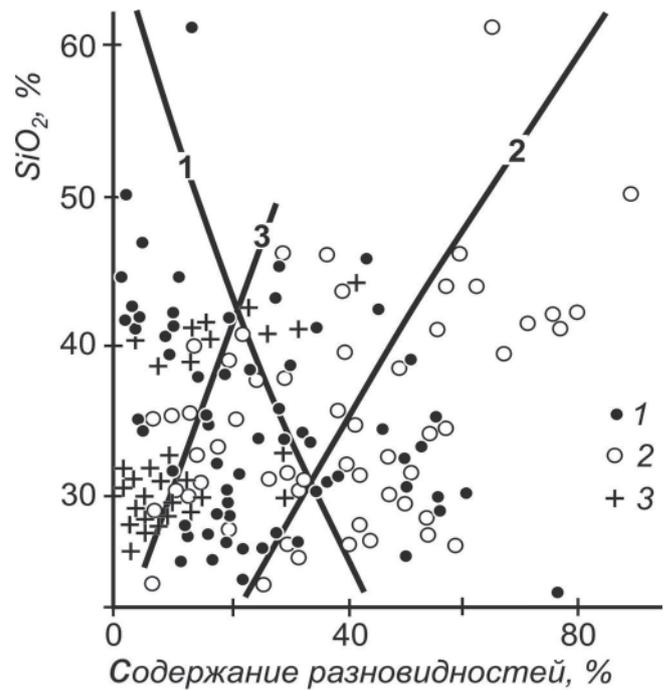


Рис. 3. Соотношение содержания кремнекислоты в кимберлитах с долей октаэдрических (1), ромбододекаэдрических (2) и кубических (3) кристаллов алмаза [7]

океана объясняет значительное разнообразие алмазов в каждой кимберлитовой трубке.

Вследствие увеличения содержания кремнекислоты и расплавофильных компонентов снизу вверх доля поздних ромбододекаэдров и округлых кристаллов в магматическом океане увеличивалась в этом направлении. Подъем из различных частей магматического океана объясняет частое сонахождение в одних и тех же полях кимберлитов с разными алмазами и неалмазоносных. Выклинивание на северном краю Сибирской платформы нижних наиболее мафических частей континентальной литосферы под влиянием механического воздействия подстилающей астеносферы при перемещениях континента является причиной резкого уменьшения в этом направлении количества кимберлитов с преимущественно октаэдрическими алмазами и возрастания в них доли ромбододекаэдрических и округлых кристаллов.

При доле октаэдров среди алмазов 20 % среднее содержание кремнекислоты в материнских магматических породах северных россыпей Якутии должно составлять около 42 % (линия 1 на рис. 3) и они должны иметь состав лампрокимберлитов (рис. 5). При типичной для Вишерского Урала доле октаэдров среди алмазов (первые проценты) их материнские магмы должны содержать около 60 % кремнекислоты, но они имели состав, близкий к типичным лампроитам. Лампрокимберлитовый и лампроитовый состав материнских магм позволяет понять причину отсутствия богатых кимберлитов – гипотетических коренных источников алмазов автономных россыпей.

Линии солидуса в присутствии флюидной фазы на P-T диаграммах для магм имеют отрицательный

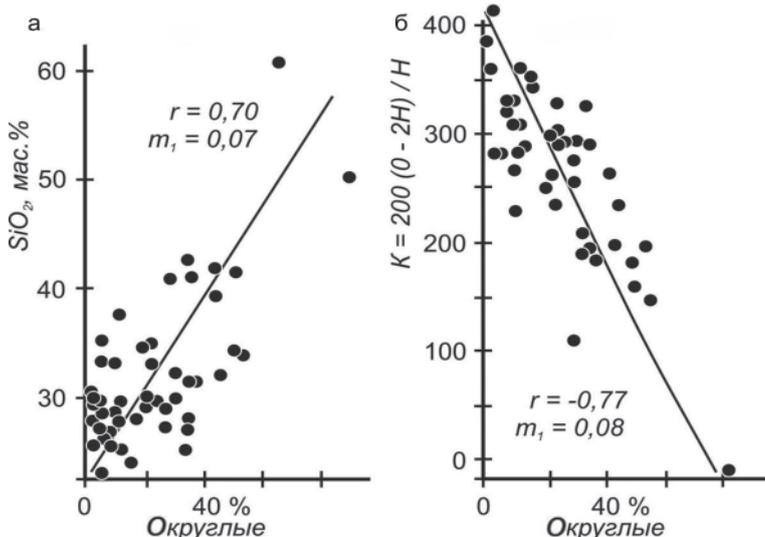


Рис. 4. Соотношение доли округлых кристаллов алмаза в кимберлитах с содержанием кремнекислоты (а) и величиной структурного фактора (К) их расплавов (б); r и m_1 – коэффициент корреляции и его ошибка, H и O – суммарные количества грамм-ионов сеткообразователей и кислорода соответственно [7]

наклон при низком давлении. Из такого наклона следует, что на диаграммах линии подъема магм пересекают линии солидуса (рис. 6). Поэтому в магмах после вскипания на малоглубинной стадии подъема резко увеличивалось содержание твердых фаз при медленном движении или происходило остеклование расплава при быстром. Огромная глубина зарождения и поэтому большая скорость всплывания приводили сначала к остеклованию кимберлитовых расплавов на малоглубинной стадии подъема.

Последующая реакция стекла с выделяющимися водой и углекислотой обусловили замещение его

серпентином, карбонатами и другими низкотемпературными минералами. Декомпрессионное затвердевание препятствовало расширению выделившейся газовой фазы и приводило к консервации ее высокого давления при дальнейшем подъеме. Под влиянием нарастающей разницы между высоким внутренним давлением газовой фазы и уменьшающимся внешним происходила взрывная дезинтеграция верхних частей магматических колон, образование брекчий, туфов и эксплозивных диатрем. Это на физико-химической основе объясняет природу взрывов кимберлитовых магм и вулканических диатрем. Несмотря на очевидность рассматриваемого декомпрессионно-флюидного происхождения вулканических взрывов, оно обычно не учитывается, что затрудняет выяснение природы многих особенностей кимберлитового магматизма. Такое происхождение взрывов позволяет понять причину отсутствия вы-

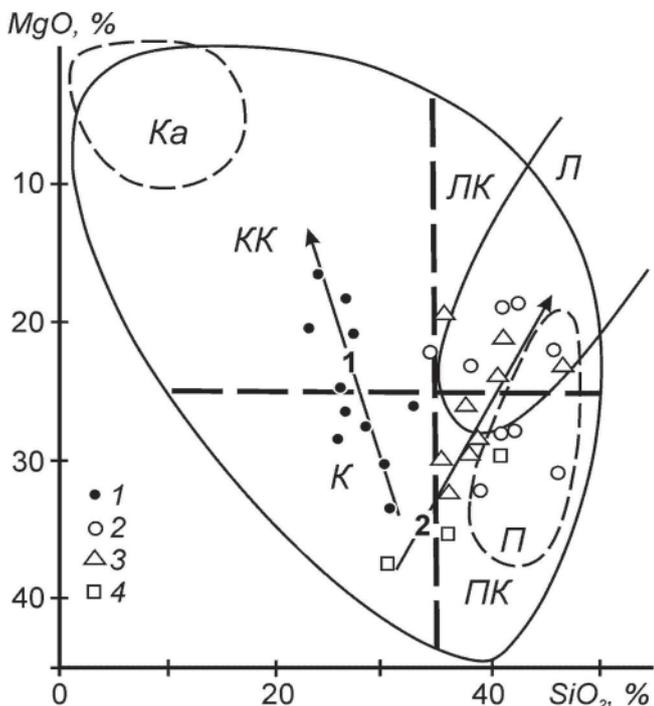


Рис. 5. Соотношение содержаний SiO_2 и MgO в щелочноультраосновных породах: 1–4 – средний состав трубок продуктивных кимберлитов Якутии (1), Архангельской провинции (2), Африки (3), Канады (4); тренды фракционирования: 1 – карбонатитовый, 2 – лампроитовый; поля составов: Ка – карбонатитов, КК – карбокимберлитов, Л – лампроитов, ЛК – лампрокиберлитов, ПК – пикрокимберлитов, П – пикритов [7]

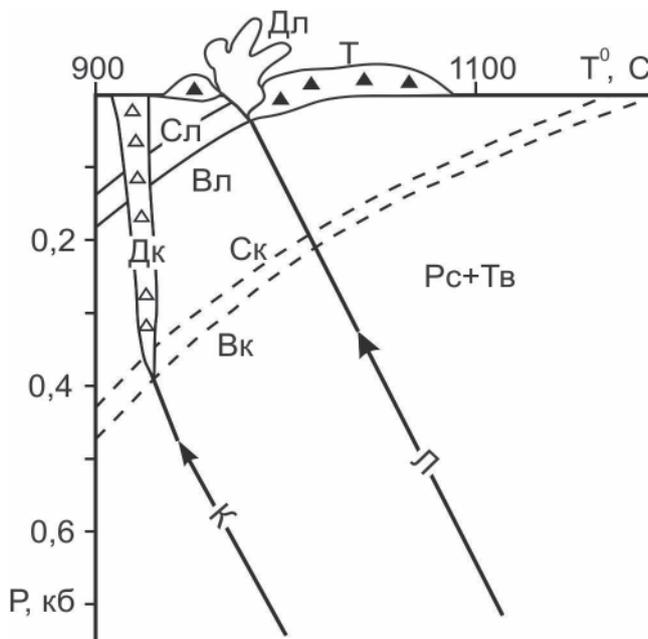


Рис. 6. Малоглубинная эволюция кимберлитовых (К) и лампроитовых (Л) магм: В – начало вскипания магм, Д – диатремы, Пс – расплав, С – солидус магм, Т – туфы, Тв – твердые фазы

скопродуктивных кимберлитов – предполагаемых коренных источников алмазов в автономных россыпях.

Лампроиты в отличие от кимберлитов обычно содержат очень небольшое количество (в среднем меньше 1 %) углекислоты, тогда как в кимберлитах ее содержание достигает 16 %. Данный компонент примерно в 5 раз менее растворим в расплаве, чем вода. Из этого следует, что при прочих равных условиях флюидная фаза в наиболее бедных углекислотой лампроитовых магмах начинала выделяться на значительно меньшей глубине, чем в кимберлитовых. Высокое содержание воды и большое количество выделявшегося флюида приводили к взрыву декомпрессионно затвердевших частей магматических колонн. Взрыв происходил в приповерхностных условиях, и диатремы имели небольшую глубину (см. рис. 6) или вообще не формировались. Обычно это подтверждается отсутствием четко выраженных диатрем в районах распространения мощных толщ игнимбритов, являющихся продуктом взрыва бедных углекислотой кислых магм. Из приведенных данных следует важный вывод: продукты взрывов богатых кремнекислотой магм размещались преимущественно на земной поверхности и формировали тела туфов и туффизитов. Этим они резко отличаются от богатых углекислотой кимберлитовых магм. Вследствие взрывов в глубинных условиях кимберлитовые магмы формировали протяженные (до первых километров) трубки. В них размещалась большая часть кимберлитового материала.

Ярким примером размещения продуктов взрывов богатых кремнекислотой магм на земной поверхности является Северная Якутия. Здесь вдоль побережья Северного Ледовитого океана на расстоянии более 500 км в карнийских отложениях триаса прослеживается тонкий (менее 50 см) слой высокоалмазоносных туффизитов [2]. Алмазы этого слоя морфологически идентичны содержащимся в многочисленных более молодых россыпях. Поэтому есть все основания предполагать, что в россыпи алмазы поступали из карнийских туфов и туффизитов. Их существование – важное подтверждение реальности полученной модели взрывов родоначальных магм алмазов автономных россыпей.

В декомпрессионно остеклованных расплавах газовые пузырьки были очень мелкими и равномерно распределялись в породе. Это привело к очень тонкому дроблению затвердевших пород при взрыве. Мелкие обломки разносились восходящими горячими потоками и ветром на большие расстояния, что иллюстрируют современные вулканические взрывы. Так можно объяснить размещение карнийских туффизитов и связанных с ними более молодых россыпей на огромной площади (сотни тысяч квадратных километров).

Очень низкая алмазоносность северных кимберлитовых трубок свидетельствует, что материнские магмы алмазов распространенных здесь россыпей формировались в более глубинных условиях.

Это указывает на значительную неоднородность состава магматического океана, размещавшегося в основании континентальной литосферы. Наряду с меланократовыми перидотитовыми магмами здесь на одной и той же глубине присутствовали менее мафические участки, фракционирование которых привело к образованию расплавов, близких к лампроитам. Вследствие большей низкотемпературности и более позднего затвердевания последние из данных расплавов формировались и внедрялись позже кимберлитовых, что объясняет более молодой возраст туффизитов (216–233 млн лет) по сравнению с высокоалмазоносными промышленными кимберлитами (358–367 млн лет) [3]. Если бы эти расплавы формировались выше в литосфере, чем кимберлитовые, то они внедрялись бы раньше вследствие кристаллизации слоистого магматического океана сверху вниз. Образование магм выше перидотитового слоя объясняет протерозойский возраст лампроитовой трубки Аргайл в Австралии. Распространение почти на всех древних платформах крупных автономных россыпей алмазов свидетельствует о существовании самостоятельного магматизма, близкого по составу к лампроитовому, который был источником многих крупных ювелирных алмазов. Вследствие низкого содержания углекислоты и высокого – воды эти магмы взрывались в приповерхностных условиях, что приводило к рассеиванию их материала на земной поверхности.

В кимберлитовых трубках самая мелкая фракция алмазов (0,5–1 мм) содержит наибольшее количество кристаллов. Число их уменьшается с ростом размера (рис. 7). В автономных россыпях мелкая фракция содержит очень небольшое количество кристаллов. Значит, ее малочисленность и повышенный средний размер кристаллов в автономных россыпях обусловлены сильным выносом наиболее транспортабельных мелких зерен алмаза водными потоками. Это подтверждается малочисленностью и средней фракции (1–2 мм) в автономных россыпях Вишерского Урала (см. рис. 7). Средний вес кристаллов алмаза в них и, следовательно, масштабы их выноса были намного выше, чем в северных россыпях Якутии. Относительно близкое число кристаллов в крупных фракциях в различных участках автономных россыпей Якутии указывает на незначительные перемещения и вынос алмазов крупных фракций. В россыпях ближнего переноса обеднение алмазами мелкой фракции менее выражено [2].

Из полученных результатов следует важный вывод о размещении автономных россыпей преимущественно на месте подъема магм, выносивших их алмазы. Это уменьшает перспективы открытия гипотетических богатых кимберлитовых тел, но приводит к экономии труда и средств, направляемых на их поиски. Ни на одном континенте такие тела не были обнаружены. При подобном генезисе автономных россыпей возникает проблема поисков остатков диатрем, в результате эксплозивного образования ко-

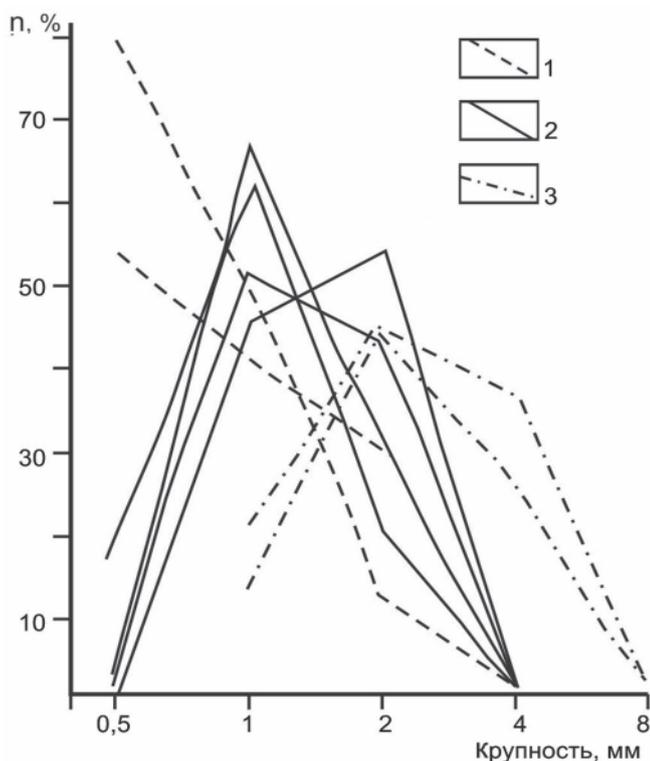


Рис. 7. Распределение алмазов по крупности: 1 – кимберлиты Малоботубинского поля; автономные россыпи: 2 – северной Якутии, 3 – Вишерского Урала (по [3])

торых начали формироваться автономные россыпи. В современных вулканах после взрывов часто возникают кальдеры, частично заполненные вулканическими породами. В случае размещения в карбонатных толщах циркуляция в них воды, подкисленной вулканическими газами, должна была приводить к их преобразованию в карстовые полости. Подобные полости широко распространены на левобережье р. Маят в Якутии и на Вишерском Урале в участках размещения богатых автономных россыпей. Иногда высокие содержания алмазов в карстовых полостях [3] подтверждают, что они могут быть измененными остатками диатрем, в которых формировался материал алмазоносных туфов и туффизитов.

Выводы

Таким образом, доказательства существования на Земле глобального магматического океана приводят к новому решению проблемы генезиса автономных россыпей алмазов. По указанным данным кимберлиты и лампроиты возникли из остаточных расплавов придонных частей этого океана. Типичные для автономных россыпей ромбододекаэдрические и округлые алмазы кристаллизовались в наиболее богатых кремнекислотой разностях расплавов вследствие их повышенной вязкости. Низкое содержание углекислоты обусловило небольшую глубину их вскипания и декомпрессионного затвердевания и возникновение незначительных по размеру диа-

трем в результате взрыва затвердевших разностей под влиянием высокого внутреннего давления за консервированной газовой фазы. Поэтому продукты взрыва выбрасывались преимущественно на земную поверхность и сформировали алмазоносные туфы и туффизиты. Их размыв привел к образованию автономных россыпей, для которых не удается найти богатые кимберлитовые трубки – обычно предполагаемый источник алмазов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аргунов К. П. Алмазы Якутии. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. – 216 с.
2. Бэлфор И. Знаменитые алмазы. – Якутск: ПНУЛ «Минералы», 1999. – 355 с.
3. Россыпи алмазов мира / В. М. Подчасов, В. Н. Евсеев, В. Е. Минорин, В. Г. Черников. – М.: Геоинформарк, 2005. – 747 с.
4. Россыпи алмазов России / С. А. Граханов, В. И. Шаталов, В. А. Штыров и др. – Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2007. – 457 с.
5. Персиков Э. С. Вязкость магматических расплавов. – М.: Наука, 1984. – 160 с.
6. Шкодзинский В. С. Глобальная петрология по современным данным о горячей гетерогенной аккреции Земли. – Якутск: СВФУ, 2018. – 244 с.
7. Шкодзинский В. С. Петрология литосферы и кимберлитов (модель горячей гетерогенной аккреции Земли). – Якутск: СВФУ, 2014. – 452 с.

REFERENCES

1. Argunov K.P. *Almazы Yakutii* [Yakutia diamonds]. Novosibirsk, SB RAS Publ., 2005. 216 p. (In Russ.).
2. Belfor I. *Znamenityye almazы* [Famous diamonds]. Yakutsk, PNUL "Mineraly" Publ., 1999. 355 p. (In Russ.).
3. Podchasov V.M., Evseev V.N., Minorin V.E., Chernikov V.G. *Rosсыпи almazov mira* [Placers of diamonds of the world]. Moscow, Geoinformark Publ., 2005. 747 p. (In Russ.).
4. Grakhanov S.A., Shatalov V.I., Shtyrov V.A., et al. *Rosсыпи almazov Rossii* [Diamond placers of Russia]. Novosibirsk, Geo Publ., 2007. 457 p. (In Russ.).
5. Persikov E.S. *Vyazkostь magmaticheskikh rasplavov* [Viscosity of magmatic melts]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 160 p. (In Russ.).
6. Shkodzinsky V.S. *Globanaya petrologiya po sovremennym dannym o goryachey geterogennoy akkretsii Zemli* [Global petrology according to modern data on the hot heterogeneous accretion of Earth]. Yakutsk, NEFU Publ., 2018. 244 p. (In Russ.).
7. Shkodzinsky V.S. *Petrologiya litosfery i kimberlitov (model goryachey geterogennoy akkretsii Zemli)* [Petrology of lithosphere and kimberlites (model of the hot heterogeneous accretion of Earth)]. Yakutsk, NEFU Publ., 2014. 452 p. (In Russ.).

© В. С. Шкодзинский, 2022



UDK 550.83: 556.3

STUDY OF AQUIFER LAYERS: AN EXAMPLE OF EL-OWEINAT REGION, EGYPT

A. El-Meselhy^{1,2}, G. M. Mitrofanov^{1,3,4}

¹Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia; ²Department of Geophysical Sciences, National Research Centre, Cairo, Egypt; ³A.A.Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia; ⁴Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

The analysis of the geological structure of aquifer layers made it possible to solve two important tasks: (1) determination of the aquifer system and groundwater flow, (2) assessment of the well efficiency of existing productive wells. The resulting solution was based on three-dimensional modeling using borehole geophysical data and the involvement of comprehensive information on the development of water resources. The result was new knowledge about the studied aquifer system in its geophysical, geological and field context. It consists in determining: the static water depth and the direction of the main flow, the structure of the aquifer with the distribution of aquifer layers and aquitard layers, basement rocks, as well as the well efficiency and the aquifer loss coefficients. These measures make it possible to increase the well efficiency and managing the process of pumping water from existing wells, as well as to optimize the drilling of new wells in the area under consideration.

Keywords: 3D modeling, structure of groundwater aquifer layers, well logging data, efficiency of wells and development of water resources.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ НА ПРИМЕРЕ ОБЛАСТИ ЭЛЬ-ОВЕЙНАТ ЕГИПЕТ

А. Эль-Меселхи^{1,2}, Г. М. Митрофанов^{3,4}

¹Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия; ²Национальный исследовательский центр, Департамент геофизики, Каир, Египет; ³Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия; ⁴Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

Выполненный анализ геологической структуры водоносных горизонтов позволил обеспечить решение двух важных задач: 1) детализация системы водоносных горизонтов и потока подземных вод, 2) оценка эффективности существующих добывающих скважин. Полученное решение основывалось на трехмерном моделировании, использующем скважинные геофизические данные, и привлечении комплексной информации о разработке водных ресурсов. Результатом стали новые знания об изучаемой системе подземных водоносных горизонтов в ее геофизическом, геологическом и промышленном контексте. Оно состоит в определении статической глубины воды и направлении основного потока, структуры водного горизонта с выделением водных слоев и водоупоров, выходов фундамента, а также эффективности работы скважин и коэффициентов потерь водоносного горизонта. Знания позволяют повысить эффективность управления процессом откачки воды из существующих скважин, а также оптимизировать бурение новых скважин в рассматриваемом районе.

Ключевые слова: 3D моделирование, структура подземных водоносных горизонтов, данные геофизических исследований скважин, эффективность заложения скважин и разработки водных ресурсов.

DOI 10.20403/2078-0575-2022-4-70-84

The problem of the development of groundwater resources is one of the most urgent tasks for mankind. It is of particular importance for countries with arid climates and a significant distribution of deserts. These countries include Egypt. Geological modelling programs are a useful tool in the development of such resources. They allow visualization of aquifer systems and reconstruction of ongoing hydrodynamic processes, which are important for assessment of underground resources and management of groundwater [2, 5, 15, 17, 20].

It should be noted that previous studies have provided significant information about the geological and hydrogeological setting in El-Oweinat area [1, 10, 12]. According to these studies, the main aquifer system in the study area is called the Nubian Sandstone Aquifer System (NSAS), which is described as a “transboundary aquifer” crossing the borders between four countries; Egypt, Libya, Sudan and Chad. A wide range of classi-

cal methods of hydrogeology were used in textbooks and monographs [3, 16, 18]. The main hydrogeological survey methods used in El-Oweinat area are geoelectric survey, magnetic survey and remote sensing.

Therefore, most previous studies have focused on geoelectric and magnetic exploration techniques to delineate subsurface stratigraphic layers of groundwater resources. However, little attention has been paid to the construction of detailed 3D models based on borehole data. With the necessary information, we were able to perform such constructions based on 79 groundwater wells located at a distance of about 1 km from each other. The constructed model provides new information about the deep change of lithostratigraphic layers in the study area. When building the 3D model, we used the Petrel package (Schlumberger Limited) [13].

At this time, there are a significant number of geological and hydrogeological modeling packages. In



addition to the above, these include: Petrosys (Petrosys Pty Ltd), EarthVision (Dynamic Graphics, Inc., USA), GOCAD (Paradigm Geophysical Ltd), Modflow (USGS). The development of software and hardware over the past decade has made it possible to create effective tools for 3D modeling with the possibility of integrating various digital data sets, such as scanned or digitized maps, satellite images, well studies (geophysical, petrophysical) and hydrogeological settings [7–9]. As a result, three-dimensional geophysical/hydrogeological models have become the most effective way to understand and visualize aquifer systems.

Our choice of Petrel package was determined by several reasons. Let us point out three of them, which were decisive for us. The first is related to the possibility of creating a 3D model from multiple sources. For example, when oil companies drill deep wells in the study area, it will be easy to integrate the data obtained into the constructed model. The second is the possibility of 4D modeling implemented in the package. Therefore, the collection of temporal information about the static water depth is very important to determine the fluctuations in water depth over time. The same applies to water pollution processes. Third, the package's ability to work with massive 3D data storage, which allows the model to be significantly extended to the entire El-Oweinat region, which has more than 1600 wells drilled into the aquifer system [16].

In the article, the three-dimensional geophysical/hydrogeological model will be used as a tool to study the target object, which is the aquifer system, and determine the optimal site for drilling new wells. When construction this model, well logging geophysical data, as well as hydrogeological data, were used.

About the objectives of the study

In the study area, a significant problem arises when drilling production wells of groundwater. They breakdown shortly after construction, so decision-makers have no choice but to drill new wells. There are a number of reasons that can cause early failure of water wells. These may include: improper design and construction of the well, the placement and quality of the building material, incomplete development of the well, incrustation formation, corrosion, aquifer problems, over-pumping. The first three of these reasons relate to the expertise of the groundwater well contractor. The next three are related to the characteristics of the aquifer. The last reason is caused by users of groundwater wells.

The cost of building new wells is high, so the question of choosing the best location to drill new wells should be taken seriously. In doing so, the most reliable information about the structure and properties of aquifer system should be available to ensure that the impact on well stability of three of these reasons, incrustation, corrosion and aquifer problems, is reduced.

The main objective of this study is to demonstrate the possibility of choosing the optimal locations for

drilling new wells of groundwater by building a three-dimensional model and visualizing the aquifer system based on the integrated use of the data sets. The constructed model can then be used as a tool for making various decisions, in particular, water pollution, the efficiency of individual wells, etc. We will indicate the following steps as the stages of building the model.

Step 1 – collection and preparation of source well data for its insertion into petrel software.

Step 2 – analysis of the results obtained from the 3D model in order to correlate and analyze the structure of geological horizons.

Step 3 – solving applied problems, which include: analysis of the efficiency of existing production wells and the amount of dissolved substances in the water.

The creation of a three-dimensional geophysical and hydrogeological model can also be used to clarify the geological distribution of lithofacies and the hydrogeological properties of the aquifer system. Such clarification is carried out for existing wells drilled for the purpose of technical extraction of groundwater in the study area. The information obtained is necessary for the optimal selection of the best location for drilling new wells in the future and can be used as a basis for sustainable management and development of water resources production.

Source data and model building

These included well logging data (gamma, SP and resistivity logs), core descriptions and hydrogeological data, which included: pumping tests, especially step drawdown tests, as well as various remote sensing data, such as satellite imagery and digital elevation model (DEM). In order to enter all the used data into the Petrel software, it was necessary to create a geodatabase in the Geographic Information System (GIS). This database allows you to store, process and analyze information about the general geology of the study area, well drilling data, lithological description of rocks and static water depth in various formats and at different scales. In addition to the available parameters, hydrogeological data and aquifer properties were determined by the analysis of pumping tests for all available wells, which were placed in GIS.

Omitting numerous technical details, we will indicate the main stages of building a three-dimensional hydrogeological model.

1. Preparation of GIS database with scanning and importing a geological map into a specialized ArcGIS 10.8 system with its reference to the UTM / WGS84 projection system (zone 35 north latitude); integration of the Landsat image and a digital elevation model (ALOS PALSAR – Radiometric Terrain Correction RTC) with 12.5 m spatial resolution; QC digitization of logging data from 79 groundwater wells and analysis of pump tests.

2. Importation of GIS and hydrogeological data into Petrel software with quality control of the obtained logs.

3. Interpretation of logs and determination of the thickness of sandstone, shale and basement layers based on reliable logging data and description of lithology from core samples for the determination of lithofacies in the study area.

4. Correlation between the well logging data and creation of 2D sections in different directions (for example, east-west and north-south).

5. Creation of spatial maps for various parameters to display the properties and characteristics of an aquifer system in 2D and 3D.

6. Construction of a 3D hydrogeological model for the area under investigation using Petrel software.

The 3D model created in this way can be useful for understanding the groundwater flow direction, groundwater management, and for making decisions on site selection when drilling new wells. To demonstrate these capabilities, here are some simple examples.

One of the first results obtained after the creation of the geodatabase was a digital elevation model (ALOS PALSAR) with a spatial resolution of 12.5 m, shown in Figure 1. This indicates that the study area is an almost flat area, which is a good area for agricultural activities and drilling groundwater wells.

As a result of the interpretation, the dominant stratigraphic unit in the study area is an aquifer of sand-

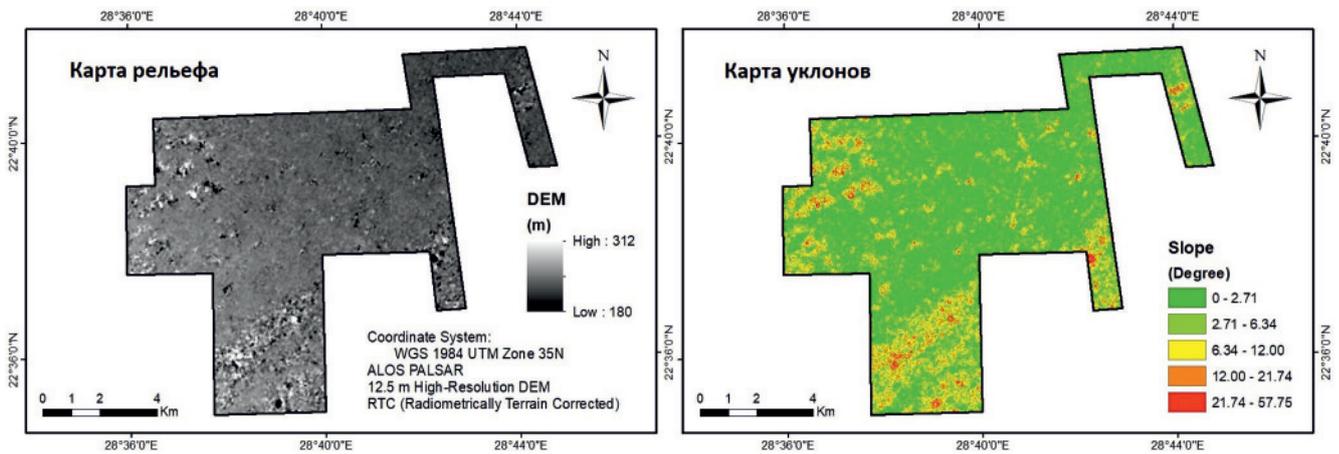


Fig. 1. Constructed digital elevation model and slope = Цифровые модели рельефа и уклона

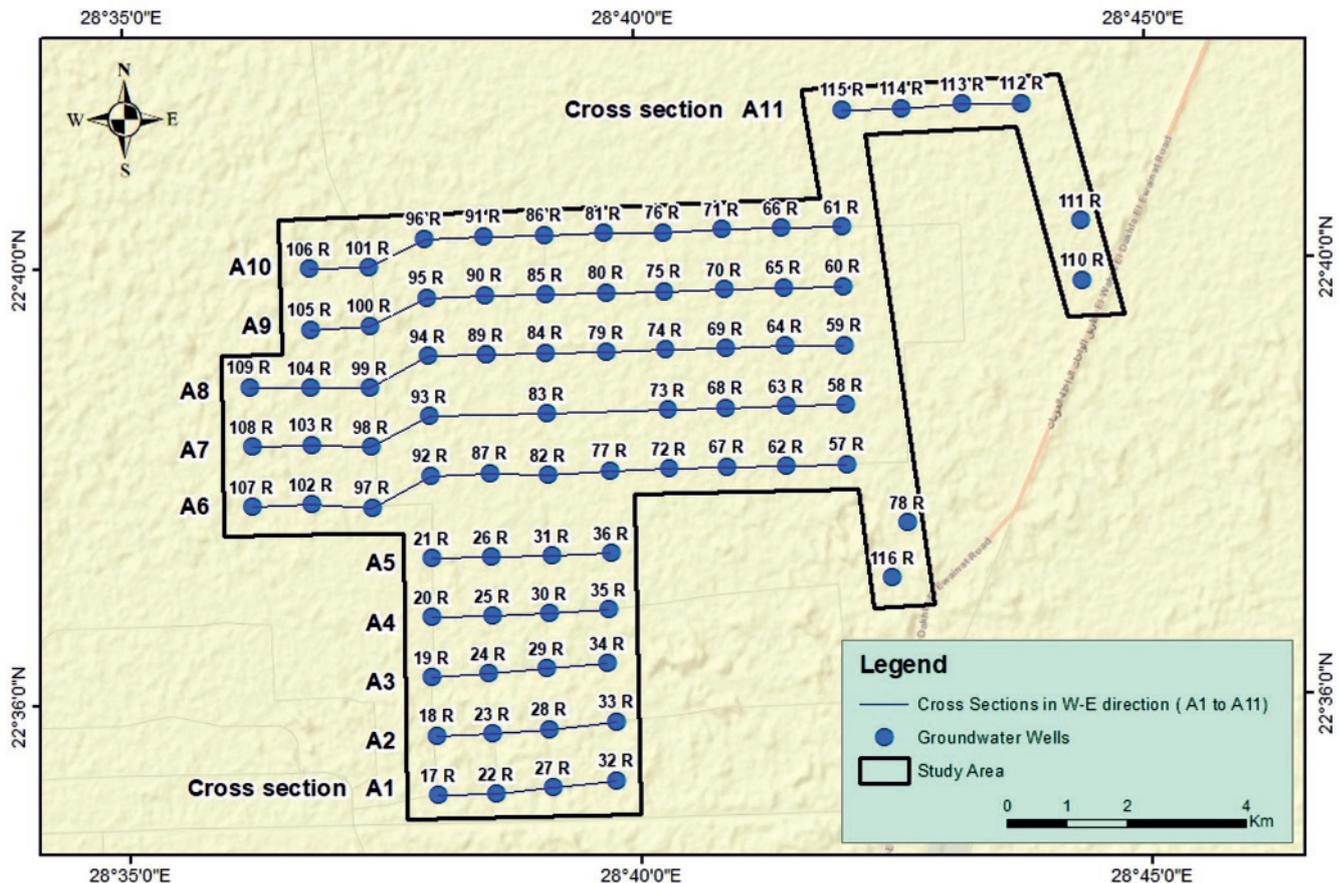


Fig. 2. Locations of 11 cross-sections (from A1 to A11) in a west-east direction within the study area = Расположение 11 поперечных сечений (от A1 до A11) в направлении запад – восток в пределах изучаемой территории

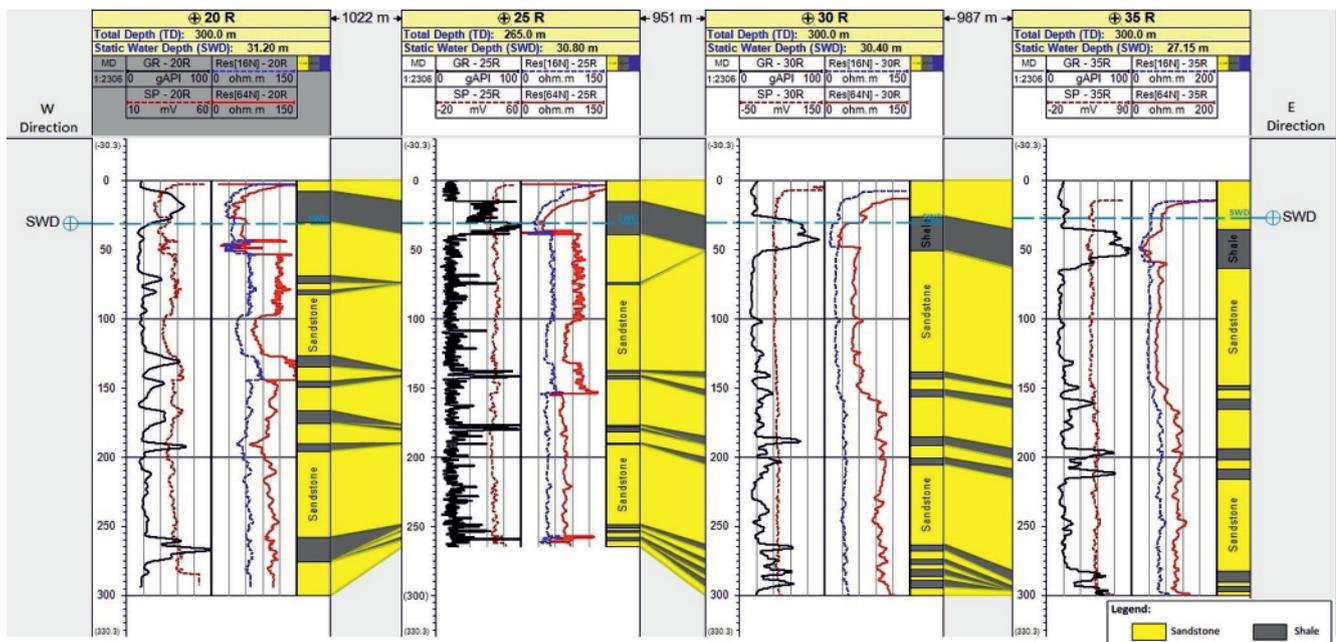


Fig. 3. Correlation of borehole geophysical data for section A4 = Корреляция скважинных геофизических данных для сечения A4

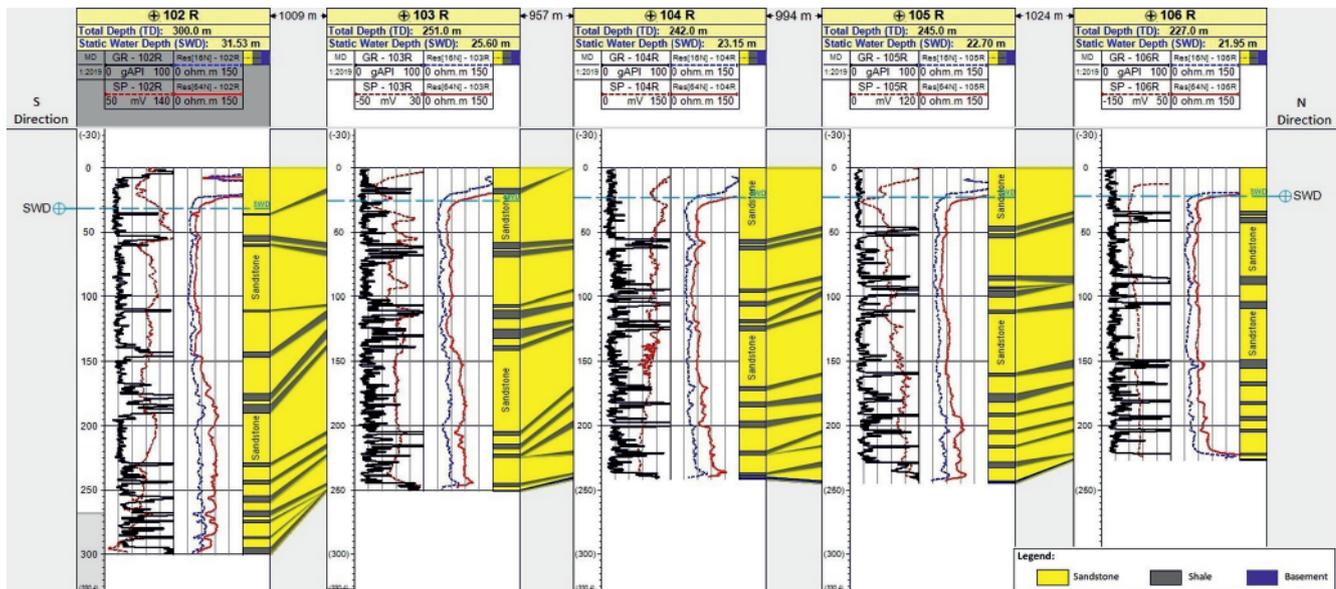


Fig. 4. Correlation of borehole geophysical data for cross-section B2 = Корреляция скважинных геофизических данных для сечения B2

stone with thin shale layers. According to the results of geophysical observations, it has high values of gamma ray, which is explained by the presence of radioactive materials in shale layers.

To visualize the distribution of lithostratigraphic layers within the study area, 23 sections or cross-sections were constructed, which show the correlation of geological layers determined from borehole geophysical data. The first 11 sections are built in a west-east direction, labeled from A1 to A11 (Figure 2). At the same time, the distance between the wells was about 1 km. The second 12 cross-sections were created in the north-south direction. They are labeled from B1 to B12. Below, as examples of the correlation performed, two cross-sections are presented: A4 (Figure 3) and B2 (Figure 4).

The cross section A4, shown in Figure 3, extends for about 3 km and encounters four groundwater wells, which are labeled: 20R, 25R, 30R and 35R, respectively, and with a distance of about 1 km between the wells.

During the interpretation of well log data in the third stage of model building, the thicknesses of aquifer (e.g., sandstone) and aquitard layers (e.g., shale) were determined. Therefore, another important practical result was obtained, related to the total thickness of the two types of layers along the section. In particular, the total thickness of the aquifers for wells: 20R, 25R, 30R, 35R is 224.2 m, 225.9 m, 236.2 m, 235. m, respectively; the thickness of the aquitards is 75.7 m, 39.0 m, 63.8 m, 64.75 m, respectively. The static water depth (SWD) for each of these wells was 31.2 m, 30.8 m, 30.4 m, 27.15 m, respectively, which indicates



Table 1

The top of the basement and the thickness of the layers along the cross-section B2

Well Name	Top of Basement (m)	Total Depth (m)	Aquifer thickness (m)	Aquitard thickness (m)	Static Water Depth (m)
102R	–	300.00	251.06	48.94	31.53
103R	250.00	251.00	205.93	44.07	25.60
104R	240.00	242.00	203.66	36.34	23.15
105R	243.00	245.00	203.42	39.58	22.70
106R	226.00	227.00	188.44	37.56	21.95

the predominant groundwater flow in west direction from high to lower level of SWD with a depth difference of 4 m between wells 35R and 20R.

To solve the main problem, it is important to increase the total thickness of the aquifers and reduce the thickness of the aquitards not only at the points of already drilled wells, but also in the areas of the proposed drilling of new wells. This makes it possible to install a large length of screen pipes in front of the sandstone layers to obtain the required amount of groundwater used in agricultural activities.

The geological cross-section B2 (Figure 4) is one of 12 north-south cross-sections. This cross-section extends for 4 km and passes through five groundwater wells, which are located from south to north; 102R, 103R, 104R, 105R and 106R, respectively, with a well distance of about 1 km.

This cross section contains groundwater wells 103R–106R (Table 1, Figure 4). These wells penetrate the Upper Cretaceous Nubian sandstones aquifer system and penetrate into the Precambrian basement rocks. The presence of basement rocks is confirmed by the description of core samples taken during the drilling process.

The results presented in Figure 4 show the horizontal and vertical distribution of the lithostratigraphic layers of the aquifer in the north-south direction of the study area. The total depth of the 102R well reaches 300 m, while other wells could not reach this depth as planned due to the presence of basement rocks, which is considered a bad location to drill groundwater wells, as shown below.

Spatial Analysis of Modeling Results

The Petrel package was used to construct 2D and 3D visualizations of the properties and characteristics of the aquifer in the study area. In particular, it made it possible to study the static depth of water (SWD) within the study area, which is one of the most important factors that can be used in choosing the best site to drill new wells.

According to Figure 5, the static water depth (SWD) has quite significant variations and a complex structure in the study area. The SWD changes from a maximum value of 38.6 m in well 17R in the southwest and a minimum value of 13.8 m in well 114R in the northeastern part of the region with an average value of 24.5 m. The presented three-dimensional and two-

dimensional visualization views of SWD show that the direction of groundwater flow has a fairly prominent direction from the northeast to the deepest points of the SWD in the southwest.

The direction of groundwater flow is a very important environmental factor in choosing the best location for drilling wells. The well should be located at minimum values of static water depth so that contamination from any source moves away from the well and not towards the well. Also, to decide where to drill a well, it will be better to locate the well uphill in shallow static water depth for economic reasons. Usually, a deeper water level inside a well requires more pipes and a powerful submersible pump with high mechanical power to lift water from the well to the surface, which can lead to an increase in the cost of water production.

The combination of three-dimensional visualization modeling of lithostratigraphic layers and static water depth (Figure 6) can be used to understand the direction of groundwater flow controlled by the subsurface structure and stratigraphic sequence of aquifer layers. In the study area, the groundwater flow direction and the static water depth depend on the structure of the basement more than on the change in the lithostratigraphic layers.

For example, in cross-section B2 (Figure 4), especially at the bottom of well 102R, it can be assumed that there is a fault in the bottom between wells 102R and 103R. The assumption is justified by the fact that basement rocks appear in wells 103R, 104R, 105R, 106R. This indicates that in the area of these wells there was a sharp rise in the basement. The depth to the basement in these wells was 250 m, 240 m, 243 m and 226 m, respectively (Table 1). In well 102R, drilling continued without penetrating the basement rocks to a total depth of 300 m. Consequently, this uplift and the inferred fault, surrounding it, affected the direction of groundwater flow and the SWD. The static water depth was 21.95 m in well 106R in the north direction, and in the south in well 102R, the static water depth reached 31.53 m. Thus, in this cross-section, the flow direction is considered to be in south direction from the high level of SWD to the lowest depth in the well 102R, which is affected by the structure. Unfortunately, we do not have enough regional geological data to delineate in detail all the structures in the study area.

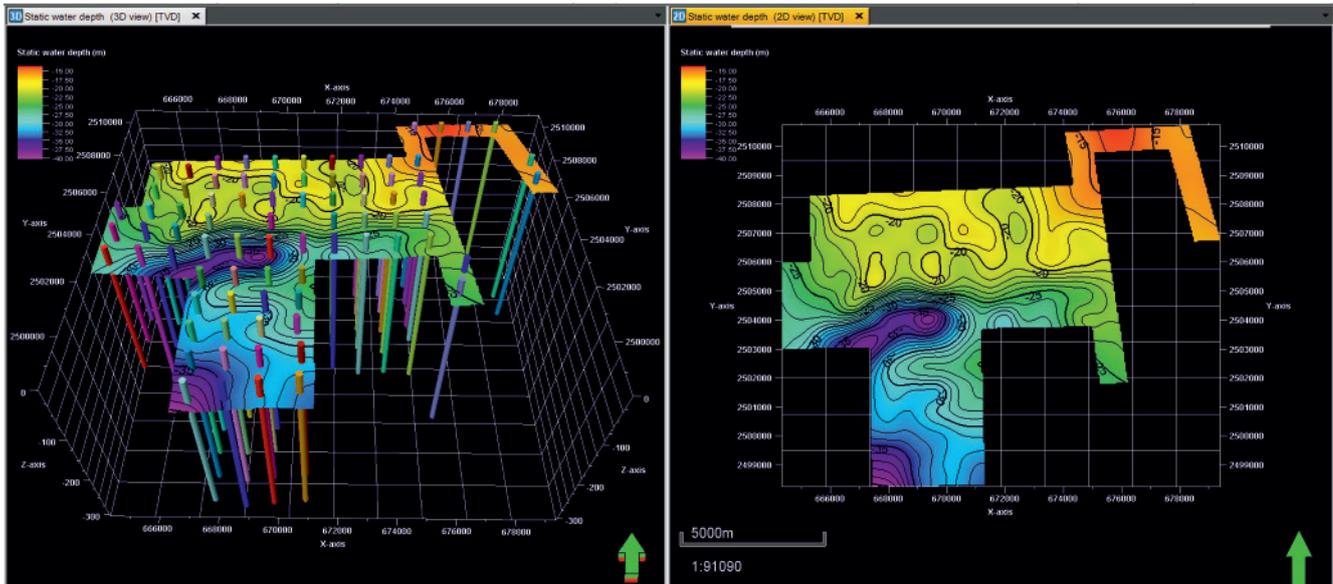


Fig. 5. 3D and 2D visualization of the static water depth in the study area = 3D и 2D визуализация статической глубины воды в изучаемой области

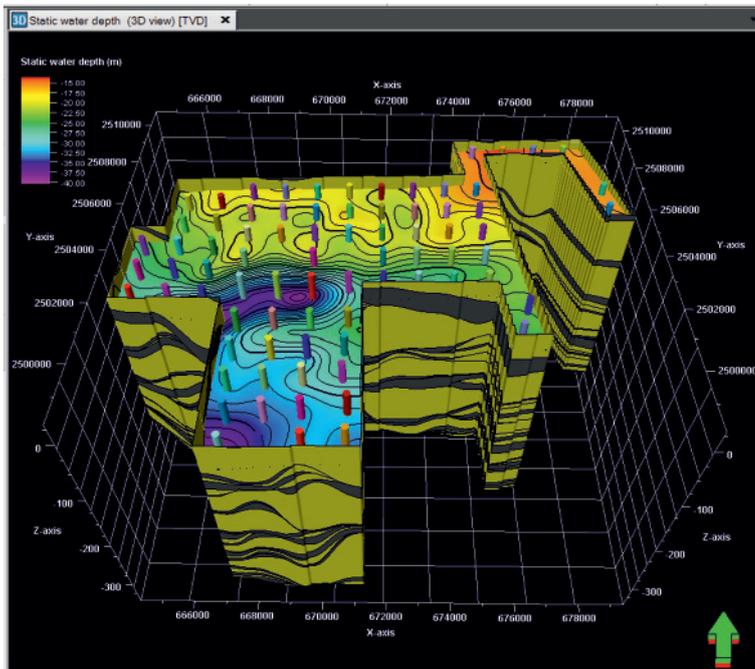


Fig. 6. 3D visualization of lithostratigraphic layers and static water depth in the study area = 3D визуализация литостратиграфических слоев и статической глубины воды в изучаемой области

Another important result obtained from the modeling is the total thickness of the aquifer and its structure in the entire area of study. Characteristics such as the SWD value have a significant impact on the selection of the best site or location for drilling new wells. As the total thickness of an aquifer increases, the feasibility of selecting the site increases because sandstone layers can serve as an aquifer layer of groundwater and it supply sufficient water. This is important for achieving a specific goal and obtaining an economically significant amount of water from a groundwater well.

Increasing the thickness of the aquifer makes it possible to install more screen pipes (e.g., PVC screens) inside the well in front of the sandstone layers, which result in groundwater being drawn from the adjacent layers after filtering the water by the gravel packing.

In the present study, the total thickness of the aquifer of discontinuous sandstone layers in each well of 79 groundwater wells was calculated based on all constructed sections (see Sec. 2) and integrated into the geodatabase.

According to the obtained results, the total thickness of aquifers in the study area (Figure 7a) ranges from 269.48 m in well 74R to 184.00 m in well 101R in the northwest direction with an average thickness of 232.26 m. A significant fluctuation in the thickness of the aquifers is affected by the change in the total depth of the wells, which is strongly influenced by the appearance of the basement rocks in the bottom of some wells. For example, a sharp decrease in the thickness of the entire aquifer occurs in the northwest direction in wells 101R and 106R, which is associated with a decrease in the total depth of the wells and the appear-

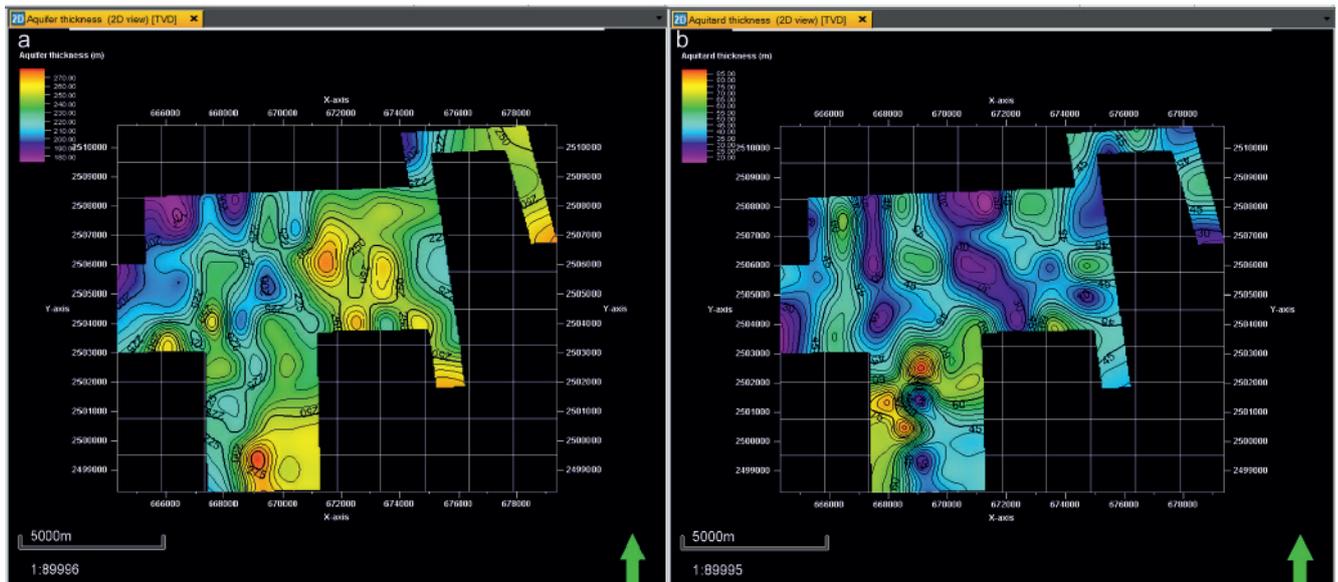


Fig. 7. Thickness maps for: (a) aquifers and (b) aquitards in the study area = Карты мощности водоносных слоев (а) и водоупоров в изучаемой области (б)

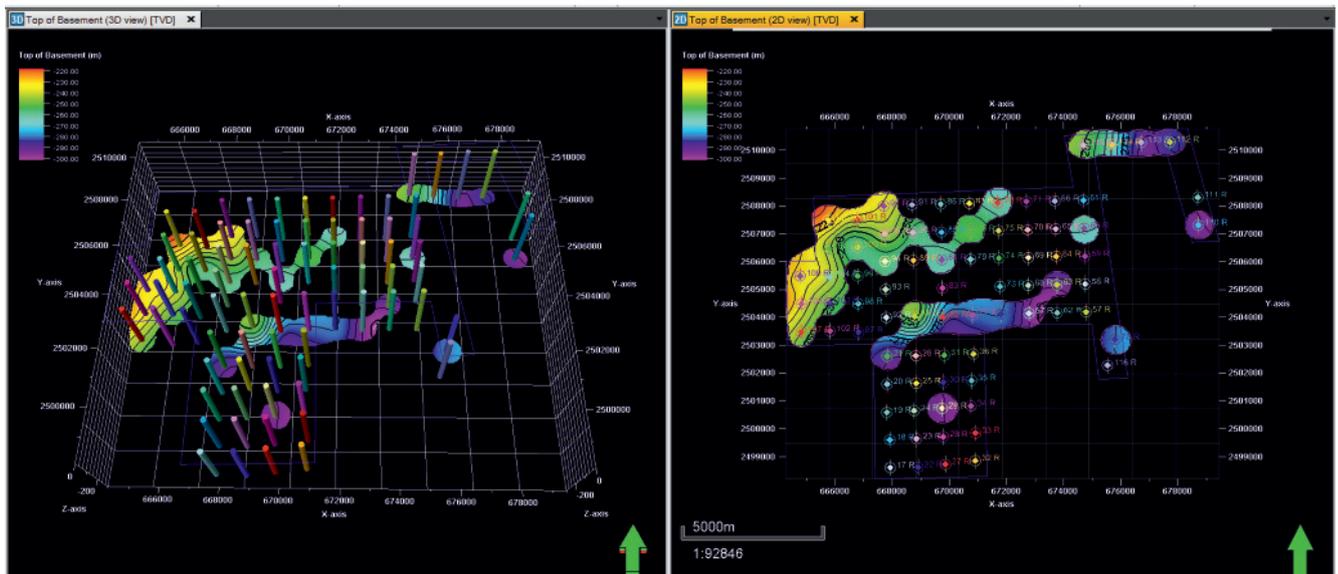


Fig. 8. 3D and 2D visualization for the top of basement rocks in the study area = 3D и 2D визуализация выходов пород фундамента в изучаемой области

ance of basement rocks at the bottom of these wells at depths of 238 m and 226 m, respectively.

When changing the ratio of the total thickness of the aquifers and aquitards (Figure 7), one should carefully choose the location for drilling. The disadvantages of aquitard layers in the design of wells are the shale layers, which supply the well with fine sediments and over time can block slots in the screen pipes, which will lead to their destruction under pressure.

According to the obtained results, the total aquitard thickness in the study area (Figure 7b) ranges from 78.52 m in well 26R to 22.59 m in well 8 R with an average aquitard thickness of about 43.90 m throughout the study area. The increase in the aquitard thickness is partially due to the decrease in the total thickness and the decrease in the aquifer thickness.

When determining areas where there is a high probability of successful drilling of groundwater wells,

it is necessary to take into account the relief of the basement rocks (Figure 8). Favorable areas for drilling wells are those where there is a high probability of successfully penetrating aquifer layers or aquifer systems. It is a waste of time and money to drill a well in the basement rocks, as mentioned above.

The present study showed that the basement rocks (Figure 8) were found at the bottom of 32 groundwater wells. This was confirmed by analyzing core samples obtained during the drilling process. Thus, according to the results of this study, it is strongly recommended not to drill any wells near these areas if the existing wells fail. Re-drilling in such areas would not be economically profitable.

The analysis shows that the drilling total depth in the study area varies from 306 m in well 23R to 227 m in well 106R with an average total depth of about 277 m. Increasing the total depth is very important for

two reasons. First, it is necessary to install upper galvanized steel casing, which is used to place a submersible pump to uplift the groundwater to the surface. The second reason is to install PVC screen pipes and blank pipes of sufficient length to withdraw a high quantity of groundwater that can be used in agricultural activities and domestic purposes.

Analysis of well efficiency results

Determining the efficiency of a groundwater well is important because it indicates how freely the well allows groundwater to pass through the well screen

29.91%, 38.27% in wells. 63R, 96R, 65R, 104R, 101R, 77R, 33R, and 21R, respectively. These very low well efficiency values are attributed to the consequences of insufficient well development or inadequate well design and construction. Thus, this can lead to failure or breakdown of these wells shortly after construction, as described in the first section of the article.

The second important point about well performance is the water salinity or the total dissolved solids, which can seriously affect agricultural projects and domestic purposes, that will be established depending on groundwater resources.

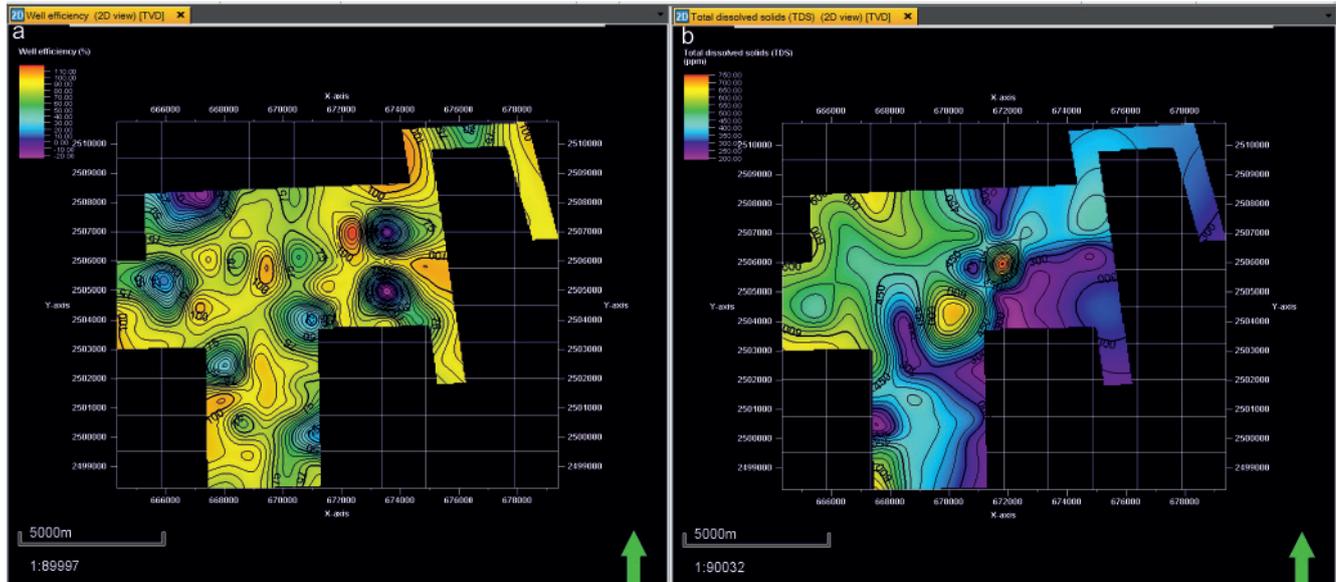


Fig. 9. Maps: (a) well efficiency (b) total dissolved solids in the study area = Карты эффективности скважин (a) и общего количества растворенных твердых веществ в изучаемой области(б)

pipes (e.g., PVC screen) or perforations. The efficiency of a pumped well is calculated as the ratio of laminar head loss (aquifer loss) to total head loss [11, 18]. The efficiency of a pump well expresses the relationship between the theoretical drawdown outside the well and the actual/measured drawdown inside the well [6]. Consequently, the efficiency of a well can be determined by analyzing the step drawdown tests that are performed inside the borehole at the last stage of drilling the well without using observation wells. The efficiency of a well can be calculated from the following equation:

$$\text{Well efficiency (\%)} = \frac{BQ}{(BQ + CQ^2)} \cdot 100, (1)$$

where (BQ) is the aquifer loss or laminar head loss (m), (CQ²) is the well loss or turbulent head loss (m), (BQ + CQ²) is the total head loss (m), and (Q) is the discharge rate (m³/hr).

In this study, the well efficiency (Figure 9a) was determined for all analyzed groundwater wells in the study area using the above equation (1). The safe yield for most groundwater wells in the study area is achieved at a discharge rate of Q 250 m³/h (RIGW, 2008). The well efficiency reached a maximum value of 95.91% at well 66 R, while the minimum well efficiency was 3.85%, 8.76%, 9.91%, 16.67%, 20.56%, 25.74%,

Table 2

Classification of water based on TDS [14]

Classification	TDS (mg/l)
Fresh water	0 to 1000
Brackish water	1000 to 10,000
Saline water	10,000 to 100,000
Brine	Greater than 100,000

The total dissolved solids (TDS) is the total amount of organic and inorganic materials in the solution contained in a sample of water. The general groundwater classification system based on total dissolved solids can be described in four classes as shown in Table 2.

In this study area, the total dissolved solids (Figure 9b) ranges from 690 mg/l in well 74R to 230 mg/l in well 67R. Consequently, based on the previous classification (Table 2) and according to Chebotarev’s classification for salinity [3], the groundwater in the study area is classified as fresh water, which ranges from 0 to 1000 mg/l.

Conclusion

The study showed that the combination of a 3D model and the identification of lithostratigraphic layers with aquifer properties provided a better under-

standing of the aquifer system in the study area and can help in making various decisions regarding the development of water resources. The aquifer properties and characteristics that had been determined include: static water depth, the total thickness of the aquifer and aquitard, the depth of basement, aquifer and well loss coefficients, well efficiency and total dissolved solids (TDS). For example, increasing the total thickness of the aquifer (e.g., sandstone layers) and shallow static water depths are considered to be the best locations for drilling new wells. Moreover, the horizontal and vertical distribution of lithofacies can help to estimate the well design and how to place the screen pipes and the blank pipes into the borehole.

Based on the results of this study, it is highly recommended not to drill any groundwater wells near the 32 wells shown in Figure 8, even if these wells break down or fail. Because the basement rocks are found at the bottom of these wells, as demonstrated by mapping the top of basement rocks in the study area.

As a result of this study, due to the decrease of the well efficiency values at wells: 21R, 33R, 63R, 65R, 77R, 96R, 101R, 104R. It is highly recommended to perform air development stage and pump development stage in order to increase the well efficiency of these wells and avoid their destruction or failure over time [14]. Because these stages of well development are considered to be a procedure used to maximize the well yield. They are also effective for repairing formation damage caused by drilling and altering the physical characteristics of the aquifer near the borehole to improve the flow of groundwater to the well and increase the volume of water pumped out of the existing wells.

Acknowledgment

The researcher Ahmed El-Meselhy is funded by scholarship No. EGY 6827/19 under the joint executive program between the Ministry of Higher Education of the Arab Republic of Egypt and the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation. The authors are grateful to the Department of Geophysics of Novosibirsk State University for the opportunity to conduct research on the basis of a laboratory equipped with the latest version of Petrel software. They are also grateful to Schlumberger for giving the opportunity for the researcher El-Meselhy to take several online courses to learn and practice on Petrel software.

REFERENCES

1. Al Temamy A., Barseem M. Structural impact on the groundwater occurrence in Nubia sandstone aquifer using geomagnetic and geoelectrical techniques, Northwest Bir Tarfawi, East El Oweinat area, Western Desert. *Egyptian Geophysical Society EGS Journal*, 2010, vol. 8, no. 1, pp. 47–63.
2. Apel M. From 3D geomodelling systems towards 3D geosciences information systems: data mod-

el, query functionality and data management. *Comput. Geosci.*, 2006, vol. 32, pp. 222–229.

3. Chebotarev I.I. Metamorphism of natural waters in the crust of weathering. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 1955, vol. 8, pp. 22–212.

4. Fetter C.W. Applied hydrogeology, 4th ed. Upper Saddle River, Printice Hall, 2001. 598 p.

5. Kazakis N., Chalikakis K., Mazzilli N., et al. Management and research strategies of karst aquifers in Greece: literature overview and exemplification based on hydrodynamic modelling and vulnerability assessment of a strategic karst aquifer. *Sci. Total Environ*, 2018, iss. 643, pp. 592–609. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.184>.

6. Kruseman G.P., de Ridder N.A. Analysis and evaluation of pumping test data. Wageningen, The Netherlands, International Institute for Land Reclamation and Improvement, 2nd ed. (completely revised), 1990. 377 p.

7. Mallet J.-L. GOCAD: A computer aided design program for geological applications. K. A. Turner, (Ed.), *Proc. NATO Conference on Three-dimensional modeling with geoscientific information systems*, 1992, pp. 123–142.

8. Mallet J.-L. Geomodelling. Applied Geostatistics. *Oxford University Press*, 2002.

9. Mallet J.-L. Geomodelling: Shared-Earth-Model and SGrids. *2003 gOcad Consortium Report*, Nancy School of Geology, Nancy, France, 2003.

10. Masoud M., Schneider M., Osta M.M. Recharge flux to the Nubian Sandstone aquifer and its impact on the present development in southwest Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 2013, vol. 85, pp. 115–124.

11. Mogg J.L. Step-drawdown test needs critical review. *Ground Water*, 1969, vol. 7, iss. 1, pp. 28–34.

12. Nour S. Groundwater potential for irrigation in the East Oweinat area. *Western Desert Egypt. Geo*, 1996, vol. 27, pp. 143–154.

13. Petrel Software Manual. *Schlumberger Information Solutions*, 2017.

14. Poehls D.J., Gregory J.S. Encyclopedic Dictionary of Hydrogeology. *Academic Press, an imprint of Elsevier*, USA, 2009. 517 p.

15. Price S.J., Terrington R.L., Busby J., et al. 3D ground-use optimization for sustainable urban development planning: a case-study from Earls Court. London. UK. *Tunn. Undergr. Sp. Technol.*, 2018, vol. 81, pp. 144–164. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.06.025>.

16. Sawsan I. Effects of groundwater over-pumping on the sustainability of the Nubian Sandstone Aquifer in East-Oweinat Area, Egypt. *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, 2019, vol. 8, pp. 117–130.

17. Song L.X., Xiao K., Li S., et al. Part II: A demonstration of integrating multiple-scale 3D modelling into GIS-based prospectivity analysis: a case study of the Huayuan-Malichang district, China. *Ore Geol. Rev.*, 2018, vol. 95, pp. 292–305. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.02.034>.



18. Todd D.K. Groundwater Hydrology. John Wiley, New York. 2nd ed., 1980. 535 p.

19. Vsevolozhsky V. Fundamentals of Hydrogeology: Textbook. 2nd ed. Moscow, State University Publ., 2007. 448 p. (In Russ.).

20. Zhu L., Zhang C., Li M., et al. Building 3D solid models of sedimentary stratigraphic systems from bore-hole data: an automatic method and case studies. *Eng. Geol.*, 2012, vol. 127, pp. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2011.12.001>.

© A. El-Meselhy, G. Mitrofanov, 2022

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ НА ПРИМЕРЕ ОБЛАСТИ ЭЛЬ-ОВЕЙНАТ, ЕГИПЕТ

Проблема разработки подземных водных ресурсов является одной из актуальных для человечества. Особое значение она приобретает для стран с засушливым климатом и значительным распространением пустынь. К таким странам относится Египет. При разработке этих ресурсов полезный инструмент – программы геологического моделирования. Они позволяют визуализировать системы водоносных горизонтов и проводить реконструкцию протекающих гидродинамических процессов, что важно для оценки ресурсной базы и управления подземными водами [2, 5, 15, 17, 20].

Отметим, что в результате предыдущих исследований была получена значительная информация о геологической и гидрогеологической обстановке в районе Эль-Овейнат [1, 10, 12]). Основная система водоносных горизонтов в изучаемой области называется системой водоносных горизонтов нубийских песчаников (NSAS) и описывается как «трансграничный водоносный горизонт», пересекающий границы между четырьмя странами: Египтом, Ливией, Суданом и Чадом. При изучении использовался широкий спектр классических методов гидрогеологии, изложенных в учебниках и монографиях [3, 16, 18]. Основными методами гидрогеологической разведки в районе Эль-Овейнат являются геоэлектрическая съемка, магнитная съемка и дистанционное зондирование.

Таким образом, большинство предыдущих исследований было сосредоточено на применении геоэлектрических и магниторазведочных методов для оконтуривания подповерхностных стратиграфических единиц, имеющих отношение к подземным водным ресурсам. При этом мало внимания уделялось построению детальных 3D-моделей на основе скважинных данных. Обладая необходимой информацией, мы смогли выполнить такие построения по 79 скважинам, расположенным на расстоянии около 1 км друг от друга. Построенная модель дает новую информацию о глубинном изменении литостратиграфических слоев в районе исследования. При построении 3D-модели нами использовался пакет Petrel (Schlumberger Limited) [13].

К настоящему времени существует значительное число пакетов геологического и гидрогеологического моделирования. Кроме указанного, к ним относятся Petrosys (Petrosys Pty Ltd), EarthVision (Dynamic

Graphics, Inc., США), GOCAD (Paradigm Geophysical Ltd), Modflow (USGS). Развитие программного и аппаратного обеспечения за последнее десятилетие позволило создать эффективные средства для 3D-моделирования с возможностями интеграции различных цифровых наборов данных, таких как сканированные или оцифрованные карты, спутниковые изображения, исследования скважин (геофизических, петрофизических) и гидрогеологических обстановок [7, 8, 15]. В результате трехмерные геофизические/гидрогеологические модели стали наиболее эффективным способом понимания и визуализации системы подземных водоносных горизонтов.

Выбор нами пакета Petrel определялся несколькими причинами. Укажем на три из них, которые стали для нас определяющими. Первая связана с возможностью создания 3D-модели из нескольких источников. Например, при бурении нефтяными компаниями глубоких скважин в исследуемом районе будет несложно интегрировать полученные данные в построенную модель. Вторая – реализованная в пакете возможность 4D-моделирования. Поэтому сбор временной информации о статической глубине воды очень важен для определения колебаний глубины воды во времени. Это же относится и к процессам загрязнения воды. Третья – имеющаяся в пакете возможность работы с массивными хранилищами 3D-данных, которая позволяет существенно расширять модель на весь регион Эль-Овейнат, где имеется более 1600 скважин, пробуренных на водоносные горизонты [16].

В статье трехмерная геофизическая/гидрогеологическая модель используется в качестве инструмента для изучения целевого объекта, которым являлась система водоносных горизонтов, и определения оптимального участка для бурения новых скважин. При ее построении использовались материалы геофизических исследований скважин, а также гидрогеологические данные.

О задачах исследования

В изучаемом районе при бурении добывающих скважин с грунтовыми водами возникает существенная проблема. Воды прорываются вскоре после строительства, поэтому лицам, принимающим решения, ничего не остается, кроме как бурить новые

скважины. Существует ряд причин, которые могут вызвать преждевременный отказ водяных скважин: неправильное проектирование и строительство скважины, положение и качество строительного материала, неполное освоение скважины, образование корки, коррозия, проблемы водоносного горизонта, перекачка. Первые три причины связаны с производственным опытом подрядчика, выполняющего разработку подземных вод, следующие три определяются характеристиками водоносного горизонта, а последняя вызвана пользователями скважин с грунтовыми водами.

Учитывая высокую стоимость строительства новых скважин, к вопросу выбора наилучшего места для бурения новых скважин следует относиться серьезно. При этом следует иметь наиболее достоверную информацию о структуре и свойствах водоносных горизонтов, чтобы гарантировать уменьшение влияния на срок службы и эффективность скважин трех из указанных причин – наращивание корки, коррозия и проблемы водоносного горизонта, связанные с его характеристиками.

Основная задача настоящего исследования – продемонстрировать возможность выбора оптимальных мест для бурения новых скважин с грунтовыми водами путем построения трехмерной модели и визуализации системы водоносного горизонта на основе комплексного использования набора данных. Построенная модель в дальнейшем может быть использована в качестве инструмента для принятия различных решений, в частности относительно загрязнения воды, эффективности работы отдельных скважин и пр. В качестве этапов построения модели укажем следующие шаги.

Шаг 1 – сбор и подготовка исходной скважинной информации для ее введения в программное обеспечение (ПО) Petrel.

Шаг 2 – анализ результатов, полученных по 3D-модели с целью корреляции и анализа структуры геологических горизонтов.

Шаг 3 – решение прикладных задач (анализ эффективности существующих добывающих скважин и количество растворенных веществ в воде).

Создание трехмерной геофизической и гидрогеологической модели может быть также использовано для уточнения геологического распределения литофаций и гидрогеологических свойств системы водоносных горизонтов. Такое уточнение выполняется по существующим скважинам, пробуренным с целью промышленной добычи подземных вод в изучаемом районе. Полученная информация необходима для оптимального выбора наилучшего места бурения новых скважин в будущем и может быть использована в качестве основы для устойчивого управления и развития добычи водных ресурсов.

Исходные данные и построение модели

Исходными данными были данные каротажа скважин (гамма-каротаж, SP и каротаж сопротив-

ления), описания керна и гидрогеологические материалы (испытания откачки, особенно испытания ступенчатой депрессии), а также различные данные дистанционного зондирования, например, спутниковые снимки и цифровая модель рельефа (ЦМР). Для введения всех используемых данных в ПО Petrel потребовалось создание базы геоданных в географической информационной системе (ГеоИС). Эта база позволяет хранить, обрабатывать и анализировать информацию об общей геологии изучаемой области, данных бурения скважин, литологическом описании пород и статической глубине воды в различных форматах и в разных масштабах. Кроме имеющихся параметров, путем анализа испытаний откачки для всех скважин были определены гидрогеологические данные и свойства водоносного горизонта, которые помещались в ГеоИС.

Опуская многочисленные технические детали, укажем основные этапы построения трехмерной гидрогеологической модели.

1. Подготовка базы данных ГеоИС со сканированием и импортированием геологической карты в специализированную систему ArcGIS 10.8 с ее привязкой к проекционной системе UTM/WGS84 (зона 35 северной широты), интегрирование изображения Landsat и цифровой модель рельефа (ALOS PALSAR – Radiometric Terrain Correction RTC) с пространственным разрешением 12,5 м, оцифровка с помощью QC данных каротажа по 79 скважинам с подземными водами и анализом насосных испытаний.

2. Импорт данных ГеоИС и гидрогеологических данных в ПО Petrel с контролем качества полученных каротажных диаграмм.

3. Интерпретация каротажных диаграмм и определение толщины песчаника, глинистого сланца и слоев фундамента на основе надежных каротажных диаграмм и описания литологии по образцам керна для определения литофаций в исследуемой области.

4. Корреляция между данными ГеоИС и создание разрезов 2D в разных направлениях (например, восток – запад и север – юг).

5. Создание пространственных карт для различных параметров для отображения свойств и характеристик системы водоносного горизонта в 2D и 3D.

6. Построение 3D гидрогеологической модели для области изучаемого участка с использованием ПО Petrel.

Созданная таким образом 3D-модель может быть полезна для понимания направления потока грунтовых вод, управления грунтовыми водами и для принятия решений по выбору мест при бурении новых скважин. Для демонстрации этих возможностей приведем несколько простых примеров.

Одним из первых результатов, полученных после создания базы геоданных, была цифровая мо-



Таблица 1

Верхняя часть фундамента и толщины слоев по поперечному сечению В2

Скважина	Кровля фундамента, м	Общая глубина, м	Мощность водоносного слоя, м	Толщина водоупоров, м	Статическая глубина воды, м
102R	–	300,00	251,06	48,94	31,53
103R	250,00	251,00	205,93	44,07	25,60
104R	240,00	242,00	203,66	36,34	23,15
105R	243,00	245,00	203,42	39,58	22,70
106R	226,00	227,00	188,44	37,56	21,95

дель рельефа (ALOS PALSAR) с пространственным разрешением 12,5 м, представленная на рис. 1. Она свидетельствует, что изучаемый район представляет собой почти ровную территорию, являющуюся хорошей областью для сельскохозяйственных работ и бурения скважин с грунтовыми водами.

В результате интерпретации преобладающая стратиграфическая единица в исследуемой области – водоносный горизонт песчаника с прослоями тонких сланцев. По результатам геофизических наблюдений он имеет высокие значения гамма-каротажа, что объясняется присутствием радиоактивных материалов в слоях сланца.

Для визуализации прослеживаемости литостратиграфических слоев в пределах исследуемой области были построены 23 разреза или поперечных сечения, которые показывают корреляцию геологических горизонтов, определяемых по скважинным геофизическим данным. Первые 11 разрезов построены в направлении с запада на восток и обозначены как А1–А11 (рис. 2). При этом расстояние между скважинами составляло около 1 км. Вторые 12 поперечных сечений были созданы в направлении с севера на юг (В1–В12). Как примеры выполненной корреляции представлены два поперечных сечения: А4 (рис. 3) и В2 (рис. 4).

Поперечное сечение А4 (см. рис. 3) простирается примерно на 3 км и пересекает четыре скважины с грунтовыми водами (20R, 25R, 30R и 35R); расстояние между скважинами около 1 км.

В процессе интерпретации данных каротажа скважин на третьем этапе построения модели были определены толщины водоносных слоев (например, песчаника) и водоупорных слоев (например, сланца). Таким образом, был получен еще один важный практический результат, относящийся к общей мощности двух типов слоев по разрезу. В частности, общая мощность водоносных слоев для скважин 20R, 25R, 30R, 35R составляет 224,2 м, 225,9 м, 236,2 м, 235,2 м соответственно; толщина водоупоров – 75,7 м, 39,0 м, 63,8 м, 64,75 м соответственно; статическая глубина воды (SWD) – 31,2 м, 30,8 м, 30,4 м, 27,15 м соответственно, что указывает на преимущественное западное направление потока грунтовых вод от высокого уровня до низшего с перепадом глубин SWD в 4 м между скважинами 35R и 20R.

Для решения основной задачи важно увеличение общей толщины водоносных слоев и уменьше-

ние толщины водоупоров не только в точках уже пробуренных скважин, но и в областях предполагаемого бурения новых скважин. Это дает возможность установить большую длину экранных труб перед слоями песчаника для получения необходимого количества подземных вод, используемых в сельскохозяйственной деятельности.

Геологическое поперечное сечение В2 (см. рис. 4) – одно из 12 поперечных сечений в направлении север–юг, простирается на 4 км и проходит через пять скважин с грунтовыми водами: 102R, 103R, 104R, 105R и 106R с расстоянием между ними около 1 км.

Этот поперечный разрез содержит скважины с грунтовыми водами 103R–106R (табл. 1, см. рис. 4). Они вскрывают водоносные горизонты нубийских песчаников верхнего мела и проникают в выступающие докембрийские породы. Наличие пород фундамента подтверждено описанием образцов керна, отобранных в процессе бурения.

Результаты, представленные на рис. 4, показывают горизонтальное и вертикальное распределение литостратиграфических слоев водоносного горизонта в направлении север–юг исследуемой области. Общая глубина скв. 102R достигает 300 м, но другие скважины не смогли достичь этой запланированной глубины из-за наличия пород фундамента: это считается плохим местом для бурения скважин с грунтовыми водами, что будет показано далее.

Пространственный анализ результатов моделирования

Пакет Petrel использовался для построения 2D- и 3D-визуализаций свойств и характеристик водоносного горизонта в районе исследования. В частности, он позволил исследовать в пределах изучаемой области статическую глубину воды – один из наиболее важных факторов, который может быть использован при выборе наилучшего места для бурения новых скважин.

Согласно рис. 5 статическая глубина воды в исследуемой области имеет значительные вариации и сложную конфигурацию. Наблюдаемые изменения имеют максимальные значения 38,6 м в скв. 17R в юго-западной части области, минимальные 13,8 м в скв. 114R в северо-восточной, в среднем 24,5 м. Представленные трехмерная визуализация SWD

и наборы двумерных показывают, что поток подземных вод обладает достаточно выраженным направлением с северо-востока к наиболее глубоким точкам SWD на юго-западе.

Направление потока грунтовых вод – очень важный экологический фактор, определяющий выбор наилучшего места для бурения скважин. Скважину следует размещать на минимальных значениях статической глубины воды, чтобы загрязнение от любого источника перемещалось от скважины, а не в ее сторону. Поэтому лучше расположить скважину вверх по склону на небольшой статической глубине воды по экономическим причинам: обычно для более глубокого уровня воды внутри скважины требуется больше труб и более мощный погружной насос для подъема воды на поверхность, что может привести к удорожанию добычи.

Комбинация трехмерного визуального моделирования литостратиграфических слоев и статической глубины воды (рис. 6) может быть использована, чтобы определить направление потока подземных вод, контролируемого подземной структурой и стратиграфической последовательностью слоев водоносного горизонта. В районе исследования направление потока подземных вод и статическая глубина воды зависят от структуры фундамента больше, чем от изменения литостратиграфических слоев.

Например, в поперечном сечении В2 (см. рис. 4), особенно на забое скв. 102R, можно предполагать наличие разлома в фундаменте между скважинами 102R и 103R, поскольку породы фундамента появляются в скважинах 103R, 104R, 105R, 106R. Это указывает, что в области данных скважин произошел резкий подъем фундамента. Глубина до фундамента в скважинах составляла 250, 240, 243 и 226 м соответственно (см. табл. 1). В скв. 102R бурение продолжалось без вскрытия пород фундамента до общей глубины 300 м. Следовательно, это поднятие и ограничивающий его предполагаемый разлом повлияли на направление потока грунтовых вод и SWD: 21,95 м в скв. 106R в северном направлении, 31,53 м в скв. 102R в южном. Таким образом, в данном поперечном сечении направление потока считается направленным к югу от высокого уровня до самой низкой глубины SWD в скв. 102R, на которую влияет установка конструкции. К сожалению, у нас недостаточно региональных геологических данных, чтобы детально очертить все структуры в исследуемой области.

Еще одним важным результатом, полученным посредством выполненного моделирования, является общая мощность водоносного горизонта и его строение во всей области исследования. Эти характеристики, как и значение SWD, существенно влияют на выбор наилучшего участка или места для бурения новых скважин. Целесообразность выбора участка возрастает с увеличением общей мощности водоносного горизонта, поскольку слои песчаника

могут служить резервуаром грунтовых вод и снабжать его достаточным количеством воды. Это важно для достижения конкретной цели и получения экономически значимого количества воды из скважины с грунтовыми водами.

Увеличение толщины водоносного горизонта дает возможность установить больше экранных труб (например, экрана из ПВХ) внутри скважины перед слоями песчаника, которые приводят к получению грунтовых вод из соседних слоев после фильтрации воды гравийной набивкой. В процессе проведения исследования совокупная толщина водоносного горизонта прерывистых слоев песчаника в каждой из 79 скважин с грунтовыми водами была рассчитана на основе всех построенных разрезов и интегрирована в базу геоданных.

Согласно полученным результатам общая мощность водоносных слоев в изучаемом районе (рис. 7, а) колеблется в северо-западном направлении от 269,48 м в скв. 74R до 184,00 м в скв. 101R, в среднем составляя 232,26 м. Значительное колебание мощности водоносных слоев объясняется изменением общей длины скважин, на которую заметно влияет появление пород фундамента в нижней части некоторых скважин. Например, резкое уменьшение толщины всего водоносного горизонта происходит в северо-западном направлении в скважинах 101R и 106R, что связано с уменьшением общей их глубины и появлением пород фундамента на забое на глубинах 238 и 226 м соответственно.

При изменении соотношения общей мощности водоносных слоев и водоупоров (см. рис. 7) следует особенно тщательно выбирать площадку для бурения. Недостатками водоупорных пластов при проектировании скважин являются кварцевые пласты, снабжающие скважину, из которых в нее попадают мелкодисперсные отложения. Они со временем могут блокировать щели в обсадных трубах экрана, что приведет к их разрушению под давлением.

Судя по результатам исследований, общая мощность водоупора в изучаемом районе (см. рис. 7, б) колеблется от 78,52 м в скв. 26R до 22,59 м в скв. 8R (в среднем около 43,90 м на всей изучаемой территории). Увеличение толщины водоупора частично объясняется уменьшением мощности водоносного горизонта и понижением толщин водоносных слоев.

При определении участков, где высока вероятность успешного бурения скважин с грунтовыми водами, необходимо учитывать рельеф фундамента (рис. 8). Благоприятными областями для бурения являются те, где велика возможность успешного попадания в водоносные пласты или систему водоносного горизонта. При этом пустой тратой времени и денег, как уже отмечалось, считается бурение скважины в породах фундамента.

Выполненное исследование показало, что породы фундамента (см. рис. 8) обнаружены на забое



32 скважин с грунтовыми водами. Это подтверждено путем анализа образцов керна, полученных в процессе бурения. Таким образом, если существующие скважины выйдут из строя, настоятельно не рекомендуется бурить какие-либо скважины вблизи этих участков, так как повторное бурение будет экономически невыгодно.

Проведенный анализ показывает, что глубина бурения в изучаемой области варьируется от 306 м в скв. 23R до 227 м в скв. 106R (в среднем около 277 м). При этом часто невозможность достижения максимальной глубины ограничивалась именно появлением пород фундамента. Увеличение же наибольшей глубины очень важно по двум причинам: 1) необходимо установить верхний кожух из оцинкованной стали, который используется для размещения погружного насоса для подъема грунтовых вод на поверхность; 2) следует установить экранящие трубы из ПВХ и глухие трубы достаточной длины для забора большого количества грунтовых вод, которые можно использовать в сельскохозяйственной деятельности и в бытовых целях.

Анализ результатов эффективности скважин

Определение эффективности скважины с грунтовыми водами важно, так как оно показывает, насколько свободно скважина позволяет грунтовыми водам проходить через экран скважины (например, из ПВХ) или перфорационные отверстия. Эффективность откачиваемой скважины рассчитывается как отношение ламинарной потери напора (потери водоносного горизонта) к общей потере напора [11, 18]. Эффективность насосной скважины выражает взаимосвязь между теоретической депрессией за пределами скважины и фактической/измеренной депрессией внутри скважины [6]. Следовательно, эффективность скважины может быть определена путем анализа испытаний ступенчатой депрессии, которые выполняются внутри ствола скважины на последнем этапе бурения без использования контрольных скважин. Эффективность можно рассчитать по следующему уравнению:

$$\text{КПД скважины (\%)} = \frac{BQ}{(BQ + CQ^2)} \cdot 100,$$

где (BQ) – потеря водоносного горизонта или ламинарная потеря напора, м; CQ^2 – потеря давления в скважине или турбулентная потеря напора, м; $BQ + CQ^2$ – общая потеря напора, м; Q – расход воды, $\text{м}^3/\text{ч}$.

В настоящем исследовании эффективность (рис. 9, а) была определена для всех анализируемых скважин с грунтовыми водами в изучаемом районе с применением указанного уравнения. Безопасный дебит для большинства скважин с подземными водами в районе исследования достигается при $Q = 250 \text{ м}^3/\text{ч}$ (RIGW, 2008). КПД скважины достиг максимального значения 95,91 % в скв. 66R; минимальны значения КПД 3,85, 8,76, 9,91, 16,67, 20,56, 25,74, 29,91, 38,27 % в скважинах 63R, 96R, 65R,

104R, 101R, 77R, 33R и 21R соответственно. Столь низкие значения эффективности объясняются последствиями недостаточного освоения скважины или несоответствующего ее проектирования и строительства. Таким образом, это может привести к отказу или поломке скважин вскоре после строительства, как описано в первом разделе статьи.

Вторым важным моментом, характеризующим эффективность скважин, является соленость воды или общее количество растворенных твердых веществ. Они могут серьезно повлиять на сельскохозяйственные проекты и бытовые цели, которые будут определены в зависимости от ресурсов грунтовых вод.

Общее количество растворенных твердых веществ (TDS) – это общее количество органических и неорганических материалов в растворе, содержащемся в пробе воды. Общую систему классификации подземных вод, основанную на общем количестве растворенных твердых веществ, можно описать по четырем классам, приведенным в табл. 2.

Таблица 2

Классификация воды на основе TDS [10]

Классификация	TDS, мг/л
Пресная вода	0–1000
Солоноватая вода	1000–10000
Соленая вода	10000–100000
Рассол	>100000

В районе исследования общее количество растворенных твердых веществ (см. рис. 9, б) колеблется от 690 мг/л в скв. 74R до 230 мг/л в скв. 67R. Следовательно, на основании приведенной в табл. 2 классификации и классификации Чеботарева по солёности [3], подземные воды в районе исследования относятся к пресным, так как содержание солей колеблется от 0 до 1000 мг/л.

Выводы

В рамках выполненного исследования показано, что комбинация 3D модели и определение литостратиграфических слоев со свойствами водоносного горизонта дает лучшее понимание системы водоносного горизонта в изучаемом районе и может помочь при принятии различных решений, касающихся разработки водных ресурсов. Определяемые свойства и характеристики водоносного горизонта включают статическую глубину воды, общую мощность водоносного горизонта и водоупоров, глубину до фундамента, коэффициенты потерь водоносного горизонта и скважин, КПД скважины и общую величину TDS. Например, увеличение общей мощности водоносного горизонта (например, слоев песчаника) и неглубокие статические глубины воды считаются лучшим местом для бурения новых скважин. Более того, горизонтальное и вертикальное распределение литофаций может помочь оценить не только конструкцию скважины, но и пра-



вильность размещения экранирующих и глухих труб в ее стволе.

Основываясь на результатах настоящего исследования настоятельно не рекомендуется бурение скважин с грунтовыми водами рядом с 32 скважинами, показанными на рис. 8, даже если они выйдут из строя, поскольку здесь породы фундамента встречаются в нижней части скважин, что подтверждается картированием выходов пород фундамента в изучаемом районе.

Обнаруженное в результате проведенного исследования снижение значений КПД скважин 21R, 33R, 63R, 65R, 77R, 96R, 101R, 104R свидетельствует о крайней необходимости выполнить этап разработки с использованием воздуха и этап разработки насоса, чтобы повысить эффективность скважин и со временем избежать их разрушения или выхода из строя [14], потому что указанные этапы разработки скважины считаются процедурой, используемой для максимального увеличения ее дебита. Они также

эффективны для исправления повреждений, нанесенных пласту в результате бурения, и изменения физических характеристик водоносного горизонта вблизи ствола скважины для улучшения притока грунтовых вод к скважине и повышения объема откачиваемой воды из существующих скважин.

Исследователь Ахмед Эль-Меселхи финансируется за счет стипендии № EGY 6827/19 в рамках совместной исполнительской программы Министерства высшего образования Арабской Республики Египет и Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Авторы благодарны кафедре геофизики Новосибирского государственного университета за возможность проводить исследования на базе лаборатории, оснащенной последней версией программного обеспечения Petrel. Также они благодарны компании Schlumberger за предоставленную А. Эль-Меселхи возможность пройти несколько онлайн-курсов по изучению и практике работы с программным обеспечением Petrel.

© А. Эль-Меселхи, Г. М. Митрофанов, 2022



ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ТРАНСГРАНИЧНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ (НА ПРИМЕРЕ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ)

Е. И. Головина, А. В. Гребнева

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

В настоящее время надежно защищенные от загрязнения питьевые подземные воды должны рассматриваться как приоритетный источник хозяйственно-питьевого водоснабжения населения. Они, несомненно, относятся к стратегическим видам полезных ископаемых, так как по существу являются единственным источником питьевого водоснабжения на период чрезвычайных ситуаций и возможность их использования существенным образом влияет на национальную безопасность страны. Современная геополитическая ситуация вокруг Российской Федерации диктует необходимость рассмотрения вопроса трансграничного управления ресурсным потенциалом подземных вод в контексте международных законодательных конвенций и договоров в новом формате, выделяя подземные воды в отдельный блок стратегических ресурсов, добыча которых происходит на пограничных территориях. В работе приведен анализ количественной оценки добычи подземных вод на наиболее крупных водозаборных объектах Калининградской области, расположенных на трансграничной территории по методу балансового расчета. Этот метод, основанный на расчетах так называемого забора водных ресурсов с территории соседнего государства, позволяет при утверждении максимальных понижений уровней в точках наблюдения производить корректировку деятельности самих водозаборов и их дальнейшее проектирование с учетом пограничных факторов.

Ключевые слова: подземные воды, водоносный горизонт, трансграничная территория, Калининградская область, мониторинг, управление водными ресурсами.

FEATURES OF GROUNDWATER RESOURCES MANAGEMENT IN THE TRANSBOUNDARY TERRITORIES (ON THE EXAMPLE OF THE KALININGRAD REGION)

E. I. Golovina, A. V. Grebneva

Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia

At the present time, drinking groundwater that is reliably protected from contamination should be considered as a priority source of utility and drinking water supply to the population. These waters undoubtedly belong to strategic types of natural resources, since they are essentially the only source of drinking water supply during emergencies, and the possibility of their use significantly affects the national security of the country. The current geopolitical situation around the Russian Federation dictates the need to consider the issue of managing transboundary resources of groundwater in the context of international legislative conventions and treaties in a new format, allocating groundwater to a separate block of strategic resources, the extraction of which occurs in frontier territories. The paper presents the analysis of the groundwater extraction quantitative evaluation at the largest water intake facilities of the Kaliningrad Region located on a transboundary territory using the balance calculation method. The method of balance approach, based on calculations of the so-called intake of water resources from the territory of neighboring state, allows for adjusting the activities of the intakes themselves and their further design taking into account boundary factors when approving maximum level decreases at observation points.

Keywords: groundwater, aquifer, transboundary territory, Kaliningrad region, monitoring, water resources management.

DOI 10.20403/2078-0575-2022-4-85-94

Подземные воды, являясь наиболее защищенным стратегическим ресурсом любого государства, требуют глубокого изучения и научно обоснованного подхода к вопросам недропользования. Наиболее важно это на трансграничных территориях, где соседними государствами осуществляется совместная эксплуатация водоносных горизонтов [2, 23, 25].

В перспективе России отводится особая роль в решении проблем рационального водопользования не только на своей территории, но и на между-

народной арене. Это обуславливает стратегическое значение водных ресурсов для Российской Федерации [5]. При этом если в России вопросы относительно достаточности запасов пресной воды не возникают, то в некоторых соседних странах подобные проблемы стоят достаточно остро, что может отразиться на разделяемых с Россией водных объектах [4].

Калининградская область отличается наиболее высоким уровнем хозяйственного освоения территории из всех регионов Северо-Запада России. Кон-



центрация различных по профилю предприятий на сравнительно ограниченной территории области создает серьезные экологические проблемы. Они тесно связаны с созданием нормальной среды обитания, благоприятных условий жизни и деятельности населения, устойчивого социально-экономического развития региона [20].

Сложность проблемы состоит в необходимости интеграции существующей системы научных знаний с непосредственным решением практических задач, что требует поиска новых форм организации природоохранной работы, разработки и финансирования региональных экологических программ, а их реализация – тесного взаимодействия органов государственной власти Калининградской области с территориальными и федеральными природоохранными органами власти.

Остро стоит вопрос с обеспечением населения области качественной питьевой водой [26–28]. Состояние водных источников (поверхностных и подземных) и систем централизованного водоснабжения не может гарантировать требуемого качества питьевых вод. Около 80 % из 3247 скважин выработали гарантийный срок, требуется их ремонт или ликвидация. Общий забор воды из природных водных объектов в 2020 г. из подземных источников составил 70 млн м³ [13].

Основные направления международного сотрудничества в сфере охраны окружающей природной среды определяются наличием в Калининградской области трансграничных экосистем и природных ресурсов мирового значения. К приоритетам международного сотрудничества относятся:

- гармонизация российских и международных подходов к природоохранной деятельности;
- выполнение обязательств, вытекающих из членства Российской Федерации в международных организациях и ее участия в международных договорах и конвенциях по охране окружающей природной среды;
- участие в трансграничных системах мониторинга окружающей среды;
- разработка и создание эффективной системы природопользования и управления окружающей средой приграничных районов, бассейнов и прибрежных морских зон;
- адаптация международного опыта для решения региональных экологических проблем [11].

Все это возможно только при взаимном согласии и заинтересованности пограничных государств в создании структуры управления недропользованием, которая бы отвечала, с одной стороны, интересам безопасного получения источника водных ресурсов каждым государством, а с другой – готовности решать противоречия, возникающие при чрезмерном расходовании этого ресурса [1, 9].

Государства, расположенные на трансграничных территориях, проводят ежемесячный обмен данными о результатах мониторинга окружающей

среды. В основном это касается гидрометеорологических замеров и наблюдений на гидрологических постах. При этом данные о мониторинге подземных вод на трансграничных территориях не имеют такой частоты обмена, хотя с российской стороны наблюдения за уровнями и гидрохимическим состоянием подземных вод производятся ежемесячно и непрерывно.

Вместе с тем начиная с 2010 г. между Литовской геологической службой и Калининградским агентством минеральных ресурсов подписано соглашение о регулярном обмене мониторинговыми замерами. Мониторинг же между Литвой и Польшей по наблюдению за подземными водами начал осуществляться с 1994 г. За данный сегмент деятельности со стороны России отвечает Министерство природных ресурсов и экологии Калининградской области, в частности Департамент недропользования и водопользования [3].

К основным задачам мониторинговой миссии за подземными водами в Калининградской области относят наблюдения за деятельностью крупных региональных водозаборов, обеспечивающих централизованное водоснабжение населенных пунктов. Сооружение опорной наблюдательной сети скважин было начато еще в 1966 г., сеть состояла тогда из 56 скважин. Количество наблюдательных точек говорит о достаточно развитой гидрогеологической изученности недр исследуемого региона [13].

В сотрудничестве с Россией государства – члены ЕС в 2009 г. разработали стратегию развития региона Балтийского моря. Все эти государства подготовили планы управления бассейнами рек для национального и трансграничного бассейна.

Внедрение Рамочной директивы ЕС по водной среде (WFD) государствами – членами ЕС дает возможность изучать накопленный опыт и проводить работу для подготовки совместных планов по управлению и развитию трансграничных бассейнов рек Преголя и Неман [14].

В Российской Федерации действует сильная, прозрачная и хорошо структурированная правовая база по вопросам управления водными ресурсами на уровне государства. При ее полной реализации она могла бы позволить осуществлять эффективное регулирование и принимать действенные меры для решения проблем водной среды. Наиболее сложная часть управления водными ресурсами – определение концепции, установление правил, наделение полномочиями и распределение ответственности. Однако в Водном кодексе не полностью охвачен трансграничный характер водных ресурсов в Калининградской области, управление и развитие которых должно осуществляться в сотрудничестве с сопредельными государствами. В данном контексте Рамочная директива ЕС по водной среде, внедряемая в Литве и Польше, обладает стратегической значимостью, как указывают западные специалисты.



На первом этапе в совместную мониторинговую сеть включаются скважины, существующие на каждой стороне в полосе 10–15 км по обе стороны от границы: наблюдательные посты и скважины на верхне- и нижнемеловой водоносный комплекс, на четвертичные водоносные горизонты, входящие в комплекс, учитывая техническое состояние скважин, геологическое строение и гидродинамические особенности.

Сеть скважин мониторинга подземных вод в приграничных районах Литвы представлена сетью скважин ненарушенного режима государственного мониторинга подземных вод (11 скважин) и сетью скважин мелких водозаборов (8 скважин) [7].

При подготовке и реализации сотрудничества по трансграничным водам необходимо учитывать определение приоритетов и экономической эффективности; распределение ресурсов должно основываться на глубоком анализе и ясных совместно согласованных целях. Имеются примеры, когда сотрудничество по нескольким общим бассейнам осуществляется в рамках одного соглашения (например, соглашение между Россией и Казахстаном), что является одним из подходов к повышению эффективности сотрудничества [15].

Часто слабое звено процесса управления водными ресурсами – это программы мониторинга. Имеющиеся данные, не приведенные в соответствие между странами и являющиеся неполными и недостоверными, затрудняют определение стратегии улучшения управления водными ресурсами [7].

В документе Европейской экономической комиссии в Женеве (ООН) «Сотрудничество по трансграничным водам: тенденции в новых независимых государствах» [12] указано, что «общей задачей Программы SEPA по Центральной и Восточной Европе является поддержка природоохранных органов в прилегающих странах, т. е. в Беларуси, Латвии, Литве, России (северо-западные районы), Украине и Эстонии. В числе задач программы стоит выделить координацию экологического мониторинга и управления экологической информацией; разработку общего интегрированного подхода к управлению водными ресурсами в пределах каждого совместного бассейна.

Программа SEPA по трансграничным водам включает три трансграничных бассейна:

- Чудское озеро – река Нарва (расположена на территории России и Эстонии);
- река Западная Двина / Даугава (расположена на территории Беларуси, Латвии и России);
- река Неман (расположена на территории Беларуси, Литвы и России)» [12].

В российском законодательстве бассейновый подход описан в Водном кодексе и Законе об охране окружающей среды. В настоящее время в России существует 17 бассейновых управлений и, следовательно, накоплен длительный опыт управления речными бассейнами. Однако полное возмещение

издержек не следует из российского водного законодательства. Белорусская администрация не применяет бассейновый подход, однако она заявила о своем одобрении его принципов.

Не существует единой схемы, которую можно было бы использовать для управления всеми речными бассейнами [12].

Бассейновый речной подход, принятый в качестве модели управления на трансграничных территориях как в европейских государствах, так и в России, имеет целый ряд недостатков и факторов, применение которых к задаче трансграничного управления подземными водами не всегда возможно. Это связано со следующими особенностями:

1. Бассейн той или иной речной или прибрежной системы имеет разный масштаб, который зависит от геоморфологических особенностей региона, разборной площади, гидрометеорологических характеристик и т. д. Соответственно, принимая тот или иной речной бассейн в качестве опорного, необходимо в глобальном масштабе характеризовать его в контексте взаимодействия с соседними бассейнами или подчинения его более крупному водосборному бассейну.

2. Подземные воды, привязанные к тому или иному бассейну поверхностных вод, как правило, имеют неглубокое залегание (грунтовые воды), характеризуются активным водообменом с поверхностными водоемами и водотоками, а также зависят, имея относительно небольшой период водообмена, от условий питания, в первую очередь атмосферного.

3. Вместе с тем региональные водоносные горизонты, приуроченные к артезианским бассейнам и часто не имеющие прямой гидравлической связи с локальными речными бассейнами, весьма сложно характеризовать в связи с именно таким бассейновым региональным (местным) делением. Площадь распространения подобных геологических структур может достигать сотен, а иногда и тысяч км², и соответственно, рассмотрение всего артезианского бассейна в контексте трансграничного регулирования практически невозможно.

Калининградская область относится к Балтийско-Польскому артезианскому бассейну; во времена СССР он назывался Прибалтийским артезианским бассейном и был одним из самых крупных в Европе. На его территории располагаются Эстония, Латвия, Литва, северо-западная часть Беларуси, Калининградская область и часть Псковской (РФ), северо-восточная часть Польши [15].

Если водоносные горизонты четвертичных отложений, относящиеся к зоне активного водообмена, еще в какой-то степени можно рассматривать по бассейновому речному делению, то подземные воды палеогенового и верхнемелового водоносного комплекса необходимо рассматривать именно в контексте регионального артезианского бассейна,

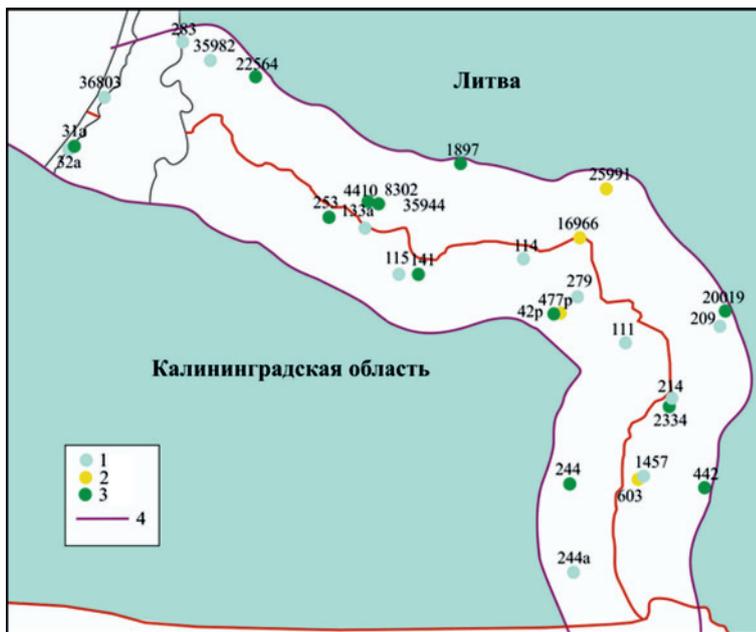


Рис. 1. Система мониторинга подземных вод [13]

1–3 – тип водоносного горизонта: 1 – грунтовый, 2 – четвертичных отложений, 3 – дочетвертичных отложений; 4 – граница мониторинга подземных вод в приграничных районах

так как простираение водоносных горизонтов в этих комплексах выходит далеко за границы региональных речных бассейнов (рис. 1).

Результаты и обсуждение

Объектом исследования являются трансграничные подземные воды Калининградской области, самой западной части России, представляющей собой анклав. На севере и востоке она граничит с Литовской Республикой, на юге – с Республикой Польша, на западе омывается Балтийским морем. Расстояние до ближайшей области России (Псковской) превышает 300 км [6].

Основной эксплуатационный водоносный горизонт на рассматриваемой территории – Виштынецкий водоносный (москвовско-валдайский) (f,lgllvš). Он приурочен к межморенным отложениям песчаной фракции и имеет повсеместное расположение в южной части региона, но его мощность снижается на севере и северо-востоке. Также генетически существует его привязка к древним переуглубленным долинам протяженностью свыше 20 км в северо-западных районах.

Глубина залегания горизонта колеблется от 1,0 до 52 м, в основном 10–20 м, а в южном направлении от 30 до 50 м. Горизонт перекрыт водоупорными суглинками неманского горизонта, в подошве также отмечены водоупорные валунные суглинки виштынецкого возраста. Средняя мощность горизонта около 20 м, в некоторых районах, приуроченных к долинным структурам, достигает до 60–80 м; гранулометрический состав представлен среднекрупнозернистыми песками, на некоторых участках отмечено преобладание гравийно-галечных отложений.

Водоносный горизонт считается напорным при установившихся уровнях в основной массе от 5 до 10 м (от 0 до 180 м по абсолютным отметкам), также отмечены положительные отметки уровня (до

+10 м) в юго-восточной части территории. Водообильность горизонта весьма разная. Удельные дебиты скважин составляют в среднем от 0,1–0,3 л/с на метр понижения, хотя отмечены аномальные показатели – от 15 до 30 л/с, в основном на участках погребенных долин. Среднее значение коэффициента водопроводимости колеблется в пределах 190 м²/сут, но также отмечена аномальная водопроводимость (до 1500 м²/сут) в зоне погребенных долин. По результатам ГРП получено значение пьезопроводности от $2 \cdot 10^4$ до $6,7 \cdot 10^6$ м²/сут, что говорит об изменчивости фильтрационных свойств горизонта [6, 24].

Химический состав подземных вод гидрокарбонатный кальциевый, встречаются также сульфатно-гидрокарбонатные и хлоридно-гидрокарбонатные воды со смешанным катионным составом. Минерализация колеблется от 0,2 до 0,8 г/дм³. Часто в водах отмечается повышенное содержание железа – от 1,5–5 до 16 мг/дм³.

Виштынецкий водоносный горизонт является основным источником водоснабжения городов Гусева, Балтийска, Светлого, Озерска, Гурьевска, Светлогорска, Правдинска, пос. Железнодорожный и др. Утвержденные запасы по 11 месторождениям подземных вод составляют 119,92 тыс. м³/сут.

На территории России эксплуатация водоносного горизонта производится четырьмя водозаборами: Гусевским (участки 1 и 5), общий объем водотбора 4500 м³/сут; Балтийским (участок Восточно-Балтийский) – 25200 м³/сут; Озерским (участки 1 и 2) – 1582 м³/сут; Железнодорожным – 1754 м³/сут.

По имеющимся данным предлагается провести оценку изменения пьезометрической поверхности трансграничных вод Виштынецкого водоносного горизонта на границе Россия – Польша, Россия – Литва.

Оценка будет состоять из определения величины радиуса влияния от работы водозаборов



в Российской Федерации; расчета понижения пьезометрического уровня в пределах радиуса влияния в разные моменты времени; определения количества «забираемых» ресурсов подземных вод с территории сопредельных государств на период эксплуатации 25 лет.

Основной задачей гидродинамического метода является определение расчетного понижения при работе водозаборных сооружений. Расчет прогнозного понижения уровня ведется на срок $t = 10^4$ сут. Значение допустимого понижения берется по опыту эксплуатации водозаборов: Гусевского (участок 1 – 19 м, участок 5 – 46,3 м); Восточно-Балтийского – 43,2 м; Озерского (участок 1 – 35 м, участок 2 – 25 м); Железнодорожного – 23,1 м.

Для подбора типовой расчетной схемы проведем схематизацию природных геолого-гидрогеологических условий исследуемой области.

Схематизация геолого-гидрогеологических условий Виштынецкого водоносного горизонта

Данный водоносный горизонт является напорным и неограниченным на всей территории Калининградской области и схематизируется как однопластовая гидрогеологическая система с сосредоточенным питанием. Структура потока радиальная, мерность одномерная, тип водообмена горизонтальный. Область питания водоносного горизонта находится далеко за пределами участка исследования.

Поскольку рассматриваемый горизонт изолирован водоупорами, не ограничен в плане, является напорным, то для расчетов понижения используется схема Тейса. На территории работ все водозаборы групповые, поэтому будут рассматриваться как компактные группы скважин, следовательно, расчет це-

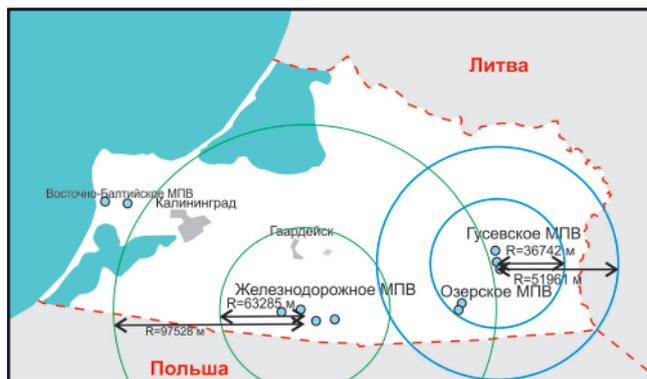


Рис. 2. Распространение воронки депрессии на трансграничной территории от месторождений Железнодорожное и Гусевское

лесообразно проводить с использованием метода «большого колодца»:

$$S = \frac{Q}{2\pi km} \ln \frac{R}{r},$$

$$R = 1,5\sqrt{at},$$

где Q – суммарный расход водозабора, $m^3/сут$; km – водопроводимость пласта, $m^2/сут$; t – расчетный срок эксплуатации водозабора (10^4 сут); R – приведенный радиус скважины; a – уровнепроводность пласта, $m^2/сут$; r – радиус «большого колодца» [17, 21, 22].

На рис. 2 отображена динамическая ситуация по радиусам влияния двух месторождений подземных вод Калининградской области (Железнодорожного и Гусевского) на периоды 10 и 25 лет. Характер распространения депрессионной воронки показывает площадь формирования ресурсов подземных вод на различные периоды эксплуатации месторождения.

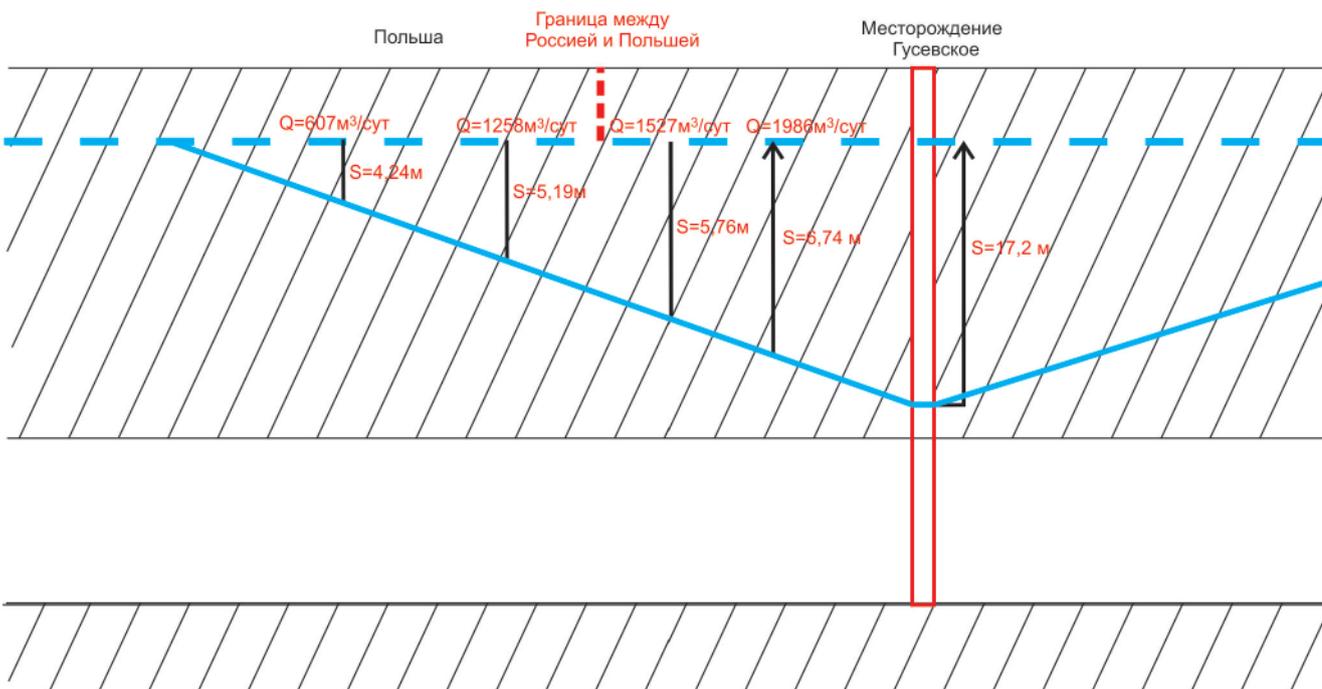


Рис. 3. Динамика изменения понижения трансграничной территории от работы МПВ Гусевское

Основные расчетные параметры по оценке влияния на соседние государства месторождений, эксплуатируемых на Виштынецкий водоносный горизонт

Месторождение подземных вод	Границы	Расстояния до границ, м	Производительность водозабора, м ³ /сут	Время, через которое воронка депрессии дойдет до границы, сут	Количество забираемых ресурсов с территории соседнего государства, м ³ /сут	Процент «забираемых» ресурсов	Понижение, м	Радиус распространения воронки депрессии на трансграничной территории, м
Гусевское	Литва с севера	49500	4900	7280	210	4,3	9,98	8500
	с востока	34800		3590	679	13,8	8,99	23200
	Польша	30600		27740	850	17,4	8,62	27400
Восточное	Литва	180800	25200	183000	0	0	36,35	0
	Польша	41310		9552	123,4	0,5	27,6	957,6
Железнодорожное	Литва с севера	96400	1754	9281	9,9	1	8,26	3662
	с востока	97500		9500	6,78	0,4	8,27	2462
	Польша	4580		21	825,9	53	4,4	95477
Озерское	Литва с севера	64100	1582	23150	0	0	6,67	0
	с востока	47960		12940	0	0	6,44	0
	Польша	8630		419	1271	80	5,09	33530

На рис. 3 схематично в разрезе показана динамика распространения депрессионной воронки, а также обозначены величины понижений уровня на различных этапах деятельности на примере Гусевского месторождения подземных вод.

Величина водопритоков по всей площади распространения депрессионной воронки указана в разных временных интервалах.

Данная гидродинамическая схема подразумевает эксплуатацию месторождений подземных вод с постоянным дебитом без учета влияния отдельных одиночных водозаборов, попадающих в зону радиуса влияния. Подобные расчеты и схемы носят весьма приблизительный характер. Более полную картину в данном случае целесообразно определять с помощью метода численного моделирования, позволяющего учитывать не только влияние соседних водозаборов, но и изменчивость фильтрационных параметров самого водоносного горизонта.

По итогам гидродинамических расчетов оценено влияние нескольких месторождений Виштынецкого водоносного горизонта на ресурсы подземных вод соседних государств – Литвы и Польши. Расчеты выполнены по четырем месторождениям подземных вод (см. таблицу).

По данным расчетам можно сделать вывод, что влияние водозаборов на территорию смежных государств зависит от объема отобранных ресурсов подземных вод, расстояния до границ с соседними государствами, а также от инфильтрационных параметров водоносного горизонта. Время распространения воронки депрессии варьирует в пределах от 21 сут влияния месторождения Железнодорож-

ного на территорию Польши (при этом количество забираемых ресурсов составляет примерно 50 % от общего количества необходимого расхода) до 183000 сут (при этом влияние на соседние государства не отмечается).

Выявлено, что на Восточно-Балтийском месторождении водоотбор не оказывает влияния на соседние государства; Озерское влияет только на границу с Польшей с максимальным забором воды (80 %). Оборудованные на Виштынецкий водоносный горизонт месторождения «забирают» 3975,1 м³/сут от общей заявленной потребности (33436 м³/сут, что составляет примерно 11 % от общего объема потребляемой воды).

Выводы

Представленные расчеты весьма схематичны, поскольку не учитывают сработку запасов по одиночным водозаборами, расположенным в зоне влияния основных перечисленных крупных водозаборов, а главное, в расчетах не учтены параметры и количественные показатели по деятельности водозаборов на территории сопредельного государства. В первую очередь это касается Польши, информация по которой весьма «размыта» и неточна. Итоговая схема расчетов при наличии подобной информации, безусловно, позволит оптимизировать расчетные параметры взаимодействия всех крупных водозаборов, оказывающих влияние друг на друга. Подобные расчеты целесообразно вести с помощью методики численного моделирования, как это было указано в работах [8, 10, 19] на примере совместного использования Ломоносовского горизонта на трансграничной территории России



и Эстонии. Тем не менее даже представленные расчеты позволяют организовать систему мониторинга за динамикой понижения уровней в исследуемом водоносном горизонте по отношению к граничным территориям.

Следует отметить, что методики гидрогеологических расчетов дают возможность говорить о самостоятельном трансграничном подходе к модели управления ресурсами подземных вод без целевой привязки к бассейновому принципу районирования, на котором базируется вся международная концепция управления трансграничными водными ресурсами.

Гидродинамическая схематизация деятельности водозаборных объектов должна быть ориентирована на обмен данными по режиму эксплуатации водоносных горизонтов на территории сопредельных государств, а система мониторинга подземных вод, соответственно, планируется исходя из расчетных параметров распространения депрессионных воронок в зоне влияния [16]. Метод балансового подхода, основанный на расчетах так называемого забора водных ресурсов с территории соседнего государства, позволяет при утверждении максимальных понижений уровней в точках наблюдения производить корректировку деятельности самих водозаборов и их дальнейшее проектирование с учетом пограничных факторов.

Подобные расчеты позволяют применить данную методику к любой трансграничной территории на основе гидрогеологических расчетов, и в первую очередь для оценки геометрических размеров зоны ответственности. На основе гидродинамических моделей определяется зона влияния вдоль границы двух сопредельных государств, после чего производится серия расчетов, позволяющих определить динамический объем забираемых ресурсов подземных вод с территории соседнего государства. Для анализа выбираются те водоносные горизонты, по которым производится оценка эксплуатационных запасов, они же, соответственно, являются источником централизованного водоснабжения. Для более точных расчетов необходима информация по объемам и режиму эксплуатации водоносных горизонтов с обеих сторон государственной границы.

Территория Российской Федерации имеет 16 сухопутных государств-соседей, что делает вопросы трансграничного регулирования добычи подземных вод весьма актуальными. К примеру, на Дальнем Востоке до сих пор не решены проблемы трансграничного управления ресурсами подземных вод с такими странами, как Китай, Монголия, Казахстан, при том что с ними Российская Федерация имеет двусторонние договоры, которые затрагивают в основном аспекты управления поверхностными водами (речным стоком). Поэтому рассмотренные особенности управления ресурсами подземных вод на трансграничных территориях на примере Калининградской

области могут быть адаптированы и для других пограничных территорий с учетом конкретных геолого-гидрогеологических условий.

Современная геополитическая ситуация на границе России и Евросоюза осложняет выполнение принятых ранее конвенций и директив международного уровня в сфере геоэкологии, мониторинга, задач управления. Тем не менее вопросы водоснабжения населения и объектов инфраструктуры на сегодняшний день особо значимы и влияют на безопасность сообщества с обеих сторон границы в масштабах всего региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Болгов М. В., Демин А. П., Шаталова К. Ю.** Институциональные, нормативно-правовые и управленческие аспекты использования трансграничных водных объектов России // Водные ресурсы. – 2016. – Т. 43, № 4. – С. 442–450. – DOI: 10.7868/S0321059616040040.
2. **Боревский Б. В., Язвин Л. С.** Стратегия развития ресурсной базы питьевых подземных вод на территории России в XXI веке // Разведка и охрана недр. – 2003. – № 10. – С. 41–44.
3. **Водосборный** бассейн балтийского моря – UNECE. – URL: https://unece.org/DAM/env/water/publications/assessment/Russian/L_PartIV_Chapter8_Ru.pdf (дата обращения 01.02.2022 г.).
4. **Головина Е. И., Гребнева А. В.** Управление ресурсами подземных вод на трансграничных территориях (на примере Российской Федерации и Эстонской Республики) // Записки Горного института. – 2021. – Т. 252. – С. 788–800. – DOI: 10.31897/PMI.2021.6.2.
5. **Данилов-Данильян В. И., Хранович И. Л.** Управление водными ресурсами. Согласование стратегий водопользования. – М.: Научный мир, 2010. – 232 с. – URL: http://www.cawater-info.net/review/pdf/russia_wm3.pdf (дата обращения 07.02.2022 г.).
6. **Информационный** бюллетень о состоянии недр территории Северо-Западного федерального округа в 2019 году. Вып. 21. – Ижевск: Принт, 2020. – 300 с.
7. **Использование** данных мониторинга водных объектов. – URL: <http://rudocs.exdat.com/docs/index-438023.html?page=9> (дата обращения 12.02.2022 г.).
8. **Миронова А. В., Мольский Е. В., Румынин В. Г.** Трансграничные проблемы при эксплуатации подземных вод в районе государственной границы Россия – Эстония (на примере ломоносовско-воронковского водоносного горизонта) // Водные ресурсы. – 2006. – № 4. – С. 423–432.
9. **Никанорова А. Д., Егоров С. А.** Становление принципов и норм, регулирующих использование государствами трансграничных водных ресурсов // Водные ресурсы. – 2019. – Т. 46, № 1. – С. 114–120. – DOI: 10.31857/S0321-0596461114-120.

10. **О воздействии** объектов северо-западного атомно-промышленного комплекса (СЗАПК) на загрязнение подземных вод (Ленинградская область) / В. А. Ерзова, В. Г. Румынин, С. М. Судариков и др. // Изв. ТПУ. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332, № 9. – С. 30–42. – DOI: 10.18799/24131830/2021/9/3351.

11. **Постановление** Правительства Калининградской области от 12.07.2006 № 510 (ред. от 18.08.2006) «О Концепции областной целевой Программы экологического оздоровления территории Калининградской области на 2006–2010 годы». – <https://zakon-region2.ru/4/198782>.

12. **Сотрудничество** по трансграничным водам: тенденции в новых независимых государствах. – URL: https://unece.org/DAM/env/water/publications/documents/waterseries4_r.pdf (дата обращения 12.02.2022 г.).

13. **Схема** комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Неман и рек бассейна Балтийского моря (Российская часть в Калининградской области). – URL: http://www.nordwest-water.ru/upload/information_system_18/1/2/4/item_12405/property_value_5074.pdf (дата обращения 01.02.2022 г.).

14. **Трансграничное** водное сотрудничество в новых независимых государствах. – URL: http://www.cawater-info.net/bk/water_law/pdf/transwatcoopnis_r.pdf (дата обращения 01.02.2022 г.).

15. **Управление** и развитие водных ресурсов в Калининградской области, Россия, в целях укрепления экономического роста и экологически устойчивого развития с примерами из практики Литвы, Польши и Швеции, Стокгольм, июнь 2011. – URL: https://siwi.org/wp-content/uploads/2015/09/Paper_Kaliningrad_RUS_Final.pdf (дата обращения 21.02.2022 г.).

16. **Устюгов Д. Л., Мирончук Д. П.** Экспресс-откачки как способ выявления взаимодействия обводненной толщи с внешней средой // Записки Горного института. – 2015. – Т. 212. – С. 84–88.

17. **Assessment** of a Hydrogeological Object's Distributed Control System Stability / A. V. Martirosyan, K. V. Martirosyan, A. M. Mir-Amal, A. B. Chernyshev // Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), 2022. – P. 768–771. – DOI: 10.1109/EIConRus54750.2022.9755601.

18. **Golovina E. I.; Grebneva A. V.** Some Aspects of Groundwater Resources Management in Transboundary Areas // Journal of Ecological Engineering. – 2021. – No. 22. – P. 106–118. – DOI: 10.12911/22998993/134037.

19. **Lange I. Y., Lebedeva Y. A., Kotiukov P. V.** A Study of Water Permeability of Coal Ash and Slag to Assess the Possibility of Their Use as Road Pavement Layers // International Journal of Engineering Research and Technology. – 2020. – Vol. 13, no. 2. – P. 374–378.

20. **Litvinenko V. S.** Digital Economy as a Factor in the Technological Development of the Min-

eral Sector // Natural Resources Research. – 2019. – No. 28. – P. 1–21. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11053-019-09568-4>.

21. **Martirosyan A. V., Ilyushin Y. V., Afanasieva O. V.** Development of a Spatially Distributed Mathematical Model of the Field to Reduce the Aquifer's Pollution Risks // Water, MDPI. – 2022. – No. 14 (2). – P. 151.

22. **Smirnova N. V., Cherepovitsyn A. E., Ilinoва A. A.** Application of Norwegian and Russian legislative basis during collaborative development of transboundary hydrocarbon fields // European Research Studies Journal. – 2018. – Vol. 2, no. 21. – P. 434–441.

23. **The status** and trends in radioactive contamination of groundwater at a LLW-ILW storage facility site near Sosnovy Bor (Leningrad region, Russia) / V. G. Rummyanin, A. M. Nikulenkov, K. B. Rozov, et al. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2021. – Vol. 237. – P. 106707. – DOI: 10.1016/j.jenvrad.2021.106707.

24. **Stratigraphy.** Subdivisions of sedimentary strata of the earth's crust for the central part of the European territory of Russia. – URL: <http://www.bibliotekar.ru/2-7-32-geologiya-podmoskoviya/3.htm> (дата обращения 01.04.2022 г.).

25. **UNECE** Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes. – Helsinki, 1992. – URL: https://treaties.un.org/doc/Treaties/1992/03/19920317%2005-46%20AM/Ch_XXVII_05p.pdf (дата обращения 01.04.2022 г.).

26. **UNECE** Water Convention. Implementation guide. – New York, Geneva, 2013. – 132 p. – URL: https://unece.org/fileadmin/DAM/env/water/publications/WAT_Guide_to_implementing_Convention/ECE_Water_Guide_Rus_WEB.pdf (дата обращения 11.04.2022 г.).

27. **UN Convention** «On the Law of the Non-Navigational Uses of International Watercourses». – New York, 1997. – URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/watercrs.shtml (дата обращения 11.04.2022 г.).

REFERENCES

1. Bolgov M.V., Demin A.P. [Institutional, regulatory and managerial aspects of the development of transboundary water bodies and streams in Russia]. *Vodnyye resursy – Water Resources*, 2016, vol. 43, no. 4, pp. 442–450. (In Russ.). DOI: 10.7868/S0321059616040040.

2. Borevskiy B.V., Yazvin L.S. [Strategy of development of the resource base of drinking groundwater in Russian Territory in the XXI century]. *Razvedka i okhrana nedr – Prospect and Protection of Mineral Resources*, 2003, no. 10, pp. 41–44. (In Russ.).

3. *Vodosbornyy basseyn Baltiyskogo moray – UNECE* [Catchment basin of the Baltic Sea – UNECE]. URL: https://unece.org/DAM/env/water/publications/assessment/Russian/L_PartIV_Chapter8_Ru.pdf (accessed: 01.02.2022). (In Russ.).

4. Golovina E.I., Grebneva A.V. [Management of groundwater resources in transboundary territories



(on the example of the Russian Federation and the Republic of Estonia). *Zapiski gornogo instituta – Journal of Mining Institute*, 2021, vol. 252, no. 6, pp. 788–800. (In Russ.). DOI: 10.31897/PMI.2021.6.2.

5. Danilov-Danilyan V.I., Khranovich I.L. *Upravleniye vodnymi resursami. Soglasovaniye strategiy vodo-polzovaniya* [Water resources management. Coordination of water use strategies]. Moscow, Nauchnyy Mir Publ., 2010. 232 p. (In Russ.). URL: http://www.cawater-info.net/review/pdf/russia_wm3.pdf (accessed: 07.02.2022). (In Russ.).

6. Pakudina V.N., Egorova I.V. *Informatsionnyy byulleten o sostoyanii nedr territorii Severo-Zapadnogo federalnogo okruga v 2019 godu* [Newsletter on the state of the subsurface of the North-Western Federal District territory in 2019]. Izhevsk, Print Publ., 2020, issue 21, 300 p. (In Russ.).

7. *Ispolzovaniye dannykh monitoringa vodnykh obyektov* [The use of water body monitoring data]. URL: <http://rudocs.exdat.com/docs/index-438023.html?page=9> (accessed: 12.02.2022). (In Russ.).

8. Mironova A.V., Molskiy E.V., Rumynin V.G. [Transboundary problems associated with groundwater exploitation near the Russian-Estonian state boundary: case study of the Lomonosovskiy-Voronkovskiy aquifer]. *Vodnyye resursy – Water Resources*, 2006, no. 4, pp. 423–432. (In Russ.).

9. Nikanorova A.D., Egorov S.A. [Development of principles and legal rules regulating the use of transboundary water resources by states]. *Vodnyye resursy – Water Resources*, 2019, vol. 46, no. 1, pp. 114–120. (In Russ.). DOI: 10.31857/S0321-0596461114-120.

10. Erzova V.A., Rumynin V.G., Sudarikov S.M., et al. [Influence of North-West nuclear complex facilities on groundwater contamination (Leningrad Region)]. *Izvestiya Tomskogo polytekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov – Bulletin of the Tomsk State University. Geo assets Engineering*, 2021, vol. 332, no. 9, pp. 30–42. (In Russ.). DOI: 10.18799/24131830/2021/9/3351.

11. *Postanovleniye Pravitelstva Kaliningradskoy oblasti ot 12.07.2006 N 510 (red. ot 18.08.2006) "O Kontseptsii oblastnoy tselevoy Programmy ekologicheskogo ozdorovleniya territorii Kaliningradskoy oblasti na 2006–2010 gody* [Resolution of the Government of the Kaliningrad Region of 12.07.2006 No. 510 (ed. of 18.08.2006) "On the Concept of the regional target-oriented Program for environmental recovery of the territory of the Kaliningrad Region for 2006-2010"]. URL: <https://zakon-region2.ru/4/198782>. (In Russ.).

12. *Sotrudnichestvo po transgranichnym vodam: Tendentsii v novykh nezavisimykh gosudarstvakh* [Transboundary water cooperation: trends in the newly independent states]. URL: https://unece.org/DAM/env/water/publications/documents/waterseries4_r.pdf. (accessed: 12.02.2022). (In Russ.).

13. *Skhema kompleksnogo ispolzovaniya i okhrany vodnykh obyektov basseyna reki Neman i rek basseyna Baltiyskogo morya (Rossiyskaya chast Kaliningradskoy*

oblasti) [Scheme of integrated use and protection of water bodies of the Neman River Basin and rivers of the Baltic Sea Basin (Russian part in the Kaliningrad Region)]. URL: http://www.nord-west-water.ru/upload/information_system_18/1/2/4/item_12405/property_value_5074.pdf (accessed: 01.02.2022). (In Russ.).

14. *Transgranichnoye vodnoye sotrudnichestvo v novykh nezavisimykh gosudarstvakh* [Transboundary water cooperation in the newly independent States]. URL: http://www.cawater-info.net/bk/water_law/pdf/transbwatcoopnis_r.pdf (accessed: 01.02.2022). (In Russ.).

15. *Upravleniye i razvitiye vodnykh resursov v Kaliningradskoy oblasti, Rossiya, v tselyakh ukrepleniya ekonomicheskogo rosta i ekologicheskoi ustoychivogo razvitiya s primerami iz praktiki Litvy, Polshi i Shvetsii, Stokgolm, iyun 2011* [Management and development of water resources in the Kaliningrad Region, Russia, with the aim of strengthening economic growth and environmentally sustainable development with examples from the practice of Lithuania, Poland and Sweden, Stockholm, June 2011]. URL: https://siwi.org/wp-content/uploads/2015/09/Paper_Kaliningrad_RUS_Final.pdf (accessed: 21.02.2022). (In Russ.).

16. Ustyugov D.L., Mironchuk D.P. [Short-term pumping tests as an identification method of aquifer-surface interaction]. *Zapiski gornogo instituta – Journal of Mining Institute*, 2015, vol. 212, pp. 84–88. (In Russ.).

17. Martirosyan A.V., Martirosyan K.V., Mir-Amal A.M., Chernyshev A.B. Assessment of a Hydrogeological Object's Distributed Control System Stability. *Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)*, 2022. P. 768–771. DOI: 10.1109/EIConRus54750.2022.9755601.

18. Golovina E.I.; Grebneva A.V. Some Aspects of Groundwater Resources Management in Transboundary Areas. *Journal of Ecological Engineering*, 2021, no. 22, pp. 106–118. DOI: 10.12911/22998993/134037.

19. Lange I.Y., Lebedeva Y.A., Kotiukov P.V. A Study of Water Permeability of Coal Ash and Slag to Assess the Possibility of Their Use as Road Pavement Layers. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 2020, vol. 13, no. 2, pp. 374–378.

20. Litvinenko V.S. Digital Economy as a Factor in the Technological Development of the Mineral Sector. *Natural Resources Research*, 2019, no. 28, p. 1–21. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11053-019-09568-4>.

21. Martirosyan A.V., Ilyushin Y.V., Afanasieva O.V. Development of a Spatially Distributed Mathematical Model of the Field to Reduce the Aquifer's Pollution Risks. *Water*, MDPI, 2022, no. 14 (2), pp. 151.

22. Smirnova N.V., Cherepovitsyn A.E., Ilinova A.A. Application of Norwegian and Russian legislative basis during collaborative development of transboundary hydrocarbon fields. *European Research Studies Journal*, 2018, vol. 2, no. 21, pp. 434–441.

23. Rumynin V.G., Nikulenkov A.M., Rozov K.B., et al. The status and trends in radioactive contamination



of groundwater at a LLW-ILW storage facility site near Sosnovy Bor (Leningrad region, Russia). *Journal of Environmental Radioactivity*, 2021, vol. 237, pp. 106707. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2021.106707.

24. Stratigraphy. Subdivisions of sedimentary strata of the earth's crust for the central part of the European territory of Russia. URL: <http://www.bibliotekar.ru/2-7-32-geologiya-podmoskoviya/3.htm> (accessed: 01.04.2022 г.).

25. UNECE Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes. Helsinki, 1992. URL: <https://treaties.un.org/>

[doc/Treaties/1992/03/19920317%2005-46%20AM/Ch_XXVII_05p.pdf](https://treaties.un.org/doc/Treaties/1992/03/19920317%2005-46%20AM/Ch_XXVII_05p.pdf).

26. UNECE Water Convention. Implementation guide. New York, Geneva, 2013. 132 p. URL: https://unece.org/fileadmin/DAM/env/water/publications/WAT_Guide_to_implementing_Convention/ECE_Water_Guide_Rus_WEB.pdf (accessed: 11.04.2022 г.).

27. UN Convention «On the Law of the Non-Navigational Uses of International Watercourses». New York, 1997. URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/watercrs.shtml.

© Е. И. Головина, А. В. Гребнева, 2022



Наши авторы

- ГОЛОВАНОВ Семен Евгеньевич**, Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева (ИГМ) СО РАН? инженер; Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия, студент. *E-mail: golovanovse@igm.nsc.ru*
- ГОЛОВИНА Екатерина Ильинична**, Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия, доцент, к. э. н. *E-mail: golova2107@mail.ru*
- ГРЕБНЕВА Анастасия Викторовна**, Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия, доцент, к. г.-м. н. *E-mail: grebnusha@inbox.ru*
- ЗАЙЦЕВА Юлия Львовна**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, зав. лабораторией, к. г.-м. н. *E-mail: zaitsevayul@rusgeology.ru*
- ЗУБКОВ Михаил Юрьевич**, ООО «Западно Сибирский геологический центр», Тюмень, Россия, директор, к. г.-м. н. *E-mail: ZubkovMYu@mail.ru*
- МАКАРОВ Владимир Николаевич**, Институт мерзлотоведения (ИМЗ) СО РАН, Якутск, Россия, гл. науч. сотр., д. г.-м. н. *E-mail: vnmakarov@mpi.ysn.ru*
- МАЛИКОВ Дмитрий Геннадьевич**, Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева (ИГМ) СО РАН, Новосибирск, Россия, ст. науч. сотр., к. г.-м. н. *E-mail: dgmalikov@igm.nsc.ru*
- МЕЛЬНИК Игорь Анатольевич**, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (НИ ТПУ), Томск, Россия, проф., д. г.-м. н. *E-mail: melnik@tpu.ru*
- МИТРОФАНОВ Георгий Михайлович**, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука (ИНГГ) СО РАН, вед. науч. сотр.; Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), Новосибирск, Россия, проф., д. ф.-м. н. *E-mail: georgymitrofanov@rambler.ru*
- ПОДОБИНА Вера Михайловна**, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия, проф., д.г.-м.н. *E-mail: podobina@ggf.tsu.ru*
- САПЬЯНИК Виктор Васильевич**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, зав. лабораторией, к. г.-м. н. *E-mail: sapjanikvv@rusgeology.ru*
- ШАЦ Марк Михайлович**, Институт мерзлотоведения (ИМЗ) СО РАН, Якутск, Россия, вед. науч. сотр., к. геогр. н. *E-mail: mmshatz@mail.ru*
- ШКОДЗИНСКИЙ Владимир Степанович**, Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск, Россия, вед. науч. сотр., д. г.-м. н. *E-mail: shkodzinskiy@diamond.ysn.ru*
- ЭЛЬ-МЕСЕЛХИ Ахмед**, Новосибирский государственный университет (НГУ), Новосибирск, Россия, аспирант; Национальный исследовательский центр, департамент геофизики, Каир, Египет, степень мастера. *E-mail: ahmed.meselhy.geo@gmail.com*



Our authors

EL-MESELHY Ahmed, Novosibirsk State University (NSU), Novosibirsk, Russia, graduate student; National Research Centre, Department of Geophysical Sciences, Cairo, Egypt. *E-mail: ahmed.meselhy.geo@gmail.com*

GOLOVANOV Semen, Novosibirsk State University (NSU), V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy (IGM) SB RAS, Novosibirsk, Russia. *E-mail: golovanovse@igm.nsc.ru*

GOLOVINA Ekaterina, PhD, Saint Petersburg Mining University SPMU, Saint Petersburg, Russia. *E-mail: golova2107@mail.ru*

GREBNEVA Anastasiya, PhD, Saint Petersburg Mining University, SPMU, Saint Petersburg, Russia. *E-mail: grebnusha@inbox.ru*

MAKAROV Vladimir, DSc, Permafrost Institute (MPI) SB RAS, Yakutsk, Russia. *E-mail: vnmakarov@mpi.ysn.ru*

MALIKOV Dmitry, PhD, V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy (IGM) SB RAS, Novosibirsk, Russia. *E-mail: dgmalikov@igm.nsc.ru*

MELNIK Igor, DSc, National Research Tomsk Polytechnic University (NR TPU), Tomsk, Russia. *E-mail: melnik@tpu.ru*

MITROFANOV Georgiy, A.A.Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics (IPGG) SB RAS, Novosibirsk State Technical University (NSTU), Novosibirsk, Russia, DSc; prof. *E-mail: georgymitrofanov@rambler.ru*

PODOBINA Vera, DSc, National Research Tomsk State University (NR TSU), Tomsk, Russia. *E-mail: podobina@ggf.tsu.ru*

SAPYANIK Victor, PhD, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: sapjanikvv@rusgeology.ru*

SHATS Mark, PhD, Permafrost Institute (MPI) SB RAS, Yakutsk, Russia. *E-mail: mmshatz@mail.ru*

SHKODZINSKIY Vladimir, DSc, Diamond and Precious Metal Geology Institute (DPMGI), SB RAS, Yakutsk, Russia. *E-mail: shkodzinskiy@diamond.ysn.ru*

ZAYTSEVA Yuliya, PhD, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: zaitsevayul@rusgeology.ru*

ZUBKOV Mikhail, PhD, West Siberian Geological Center, Tyumen, Russia. *E-mail: ZubkovMYu@mail.ru*



АЛФАВИТНЫЙ СПИСОК СТАТЕЙ ЗА 2022 Г.

Региональная геология, стратиграфия, тектоника

- Н. И. Ветрова, Е. В. Ветров, Е. Ф. Летникова.* Хемостратиграфия карбонатных отложений кинтерепской свиты Северо-Западного Салаира: первые данные № 2
- В. Г. Князев, А. С. Алифиров.* *Cadoquenedtoceras* – новый макроконховый верхнекелловейский род семейства *Cardioceratidae* (Ammonoidea) № 2
- Д. Г. Маликов, С. Е. Голованов.* Млекопитающие позднего неоплейстоцена Предалтайской равнины по материалам разреза Новосуртаевка № 4
- И. А. Мельник.* Статистическая интенсивность процессов преобразования открытых геологических систем на основе геофизических данных № 4
- Г. Г. Русанов, О. Б. Кузьмина, М. В. Михаревич.* Результаты ревизии основных обнажений кошагачской свиты (верхний олигоцен – нижний – средний миоцен) в Самахинско-Джзатурском понижении на юго-востоке Горного Алтая № 1
- В. М. Подобина.* Новые сведения по биостратиграфии и фораминиферам туронского яруса Западной Сибири № 3
- В. М. Подобина.* Новые сведения по биостратиграфии тавдинского горизонта (рюпельский ярус) Западной Сибири (по данным изучения фораминифер) № 4

Нефтегазовая геология

- А. К. Битнер, Д. О. Гафуров, О. М. Гафуров, Н. В. Мышевский, Е. В. Теменёва, А. О. Гафуров, А. В. Самков.* Перспективы нефтегазоносности Чулаканской площади в Красноярском крае по геохимическим данным № 1
- С. И. Гольшев, П. Н. Соболев, Н. Л. Падалко, С. И. Дыхан, П. Ф. Яворов, М. И. Праздничных, Е. В. Черников.* Изотопно-геохимические исследования потенциально нефтегазопроизводящих отложений рифея юго-востока Сибирской платформы № 1
- В. П. Девятов.* Эволюция терригенного седиментогенеза (СЗ–К) Лено-Хатангского междуречья (север Сибирской платформы) № 3
- Ю. Л. Зайцева, В. В. Сапьяник.* Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности Кузнецкого самостоятельного нефтегазоносного района № 4
- М. Ю. Зубков.* Роль тектоно-гидротермальных процессов в формировании залежей газа на севере Западной Сибири № 4
- Д. С. Мельник.* Новые находки биодеградированных нафтидов в породах хатыспытской свиты венда Оленекского поднятия № 2
- Ф. А. Мигурский.* Геодинамика каледонской Байкало-Патомской складчатой области и ее влияние на нефтегазоносность Предпатомского перикратонного прогиба № 3
- Е. А. Предтеченская, О. Н. Злобина.* Об усовершенствовании схемы катагенеза ниже-среднеюрских отложений Уренгойского нефтегазоносного района на основе минеральных и структурных индикаторов № 2
- Ю. И. Прейс, Г. А. Леонова, А. Е. Мальцев.* Стратиграфия и динамика аккумуляции торфа и углерода на рьях Барабинской лесостепи в голоцене (Западная Сибирь) № 1
- П. Н. Соболев, С. В. Дыхан.* Нефтегазоматеринские породы и проблема нефтегазоносности Алдано-Майской впадины (юго-восток Сибирской платформы) № 3

Геофизика, геофизическое приборостроение

- Р. В. Груздев, Д. Ю. Константинов, В. В. Ромашко.* Опыт-методические работы по измерению значений силы тяжести и ее вертикального градиента № 1
- Е. Н. Махнач, А. В. Мамаева.* Прогноз скрытого оруденения в пределах северного склона Алданской антеклизы по данным электроразведки и гравимагнитных полей № 3
- А. П. Оболкин, В. С. Ситников, М. И. Слепцова, Р. Ф. Севостьянова.* Изучение возможного проявления в сейсмическом волновом поле Южно-Ануйской сутуры в основании Тастахского прогиба северо-востока Якутии № 1
- А. П. Сысоев, А. А. Шамордин.* Расчет априорных статических поправок в МОВ с учетом положения заряда относительно подошвы зоны малых скоростей № 2
- А. П. Федянин.* Способ вычисления аномалий силы тяжести относительно квазигеоида № 1
- М. И. Эпов, В. Н. Глинских, М. Н. Никитенко, К. В. Сухорукова, А. М. Петров, Д. И. Горносталев, И. В. Михайлов.* Межскважинное импульсное электромагнитное просвечивание баженовской свиты из нижнемеловых и верхнеюрских коллекторов № 1

Минерагения, рудные и нерудные месторождения

- Г. И. Дьяченко, Г. Е. Асеев.* Роль древнего карста в формировании месторождения урана (Горная Шория) № 3
- П. П. Сафронов, Н. В. Моисеенко.* Серебряная минерализация Хорогочинского коренного источника (Становая гранит-зеленокаменная область, Верхнее Приамурье) № 1
- В. М. Соловьев, А. С. Сальников, В. С. Селезнев, Т. В. Кашубина, Н. А. Галёва.* К изучению связи размещения рудных узлов минерагенических провинций Приамурья с особенностями глубинного строения верхней коры на Восточно-Становом фрагменте опорного геолого-геофизического профиля 8-ДВ № 3



- В. Д. Страховенко, Е. А. Овдина, Г. И. Малов.* Особенности распределения урана в компонентах озерных систем, расположенных в степном ландшафте юга Сибири (Кулундинская и Тажеранская степь) № 2
- В. Л. Хомичев.* Становление гранитоидных (габбро-гранитных) плутонов и связанного с ними оруденения . № 2
- М. М. Шац, В. Н. Макаров.* Геоэкологические условия в районе Депутатского оловорудного месторождения (Северо-Восточная Якутия) № 4
- В. С. Шкодзинский.* Происхождение автономных россыпей алмазов № 4

Гидрогеология, геоэкология и мониторинг геологической среды

- Б. И. Туляганов.* Основные задачи и требования к геоэкологически безопасному захоронению попутных вод в глубокие горизонты № 1
- А. А. Шевченко, О. В. Скробот.* Опыт использования геотермальной энергии приповерхностного массива древних гранитоидов для целей теплоснабжения (юг Западной Сибири) № 2
- А. Эль-Меселхи, Г. М. Митрофанов.* Исследование водоносных горизонтов на примере области Эль-Овейнат, Египет № 4

Литология, петрография, минералогия, геохимия

- А. И. Гусев.* Петро-геохимия субвулканических и экструзивных образований Кедрово-Коргончиковского района Горного Алтая № 3
- Б. В. Дампилова, С. Г. Дорошкевич.* Подвижные формы элементов в техноземах хвостохранилища Нерчинского полиметаллического комбината № 2
- А. Е. Мальцев, В. А. Бычинский, С. К. Кривоногов, Г. А. Леонова, Л. В. Мирошниченко, А. С. Шавекин, С. Ф. Нечепуренко.* Геохимия раннего диагенеза лимногляциальных отложений на примере озер Норило-Пясинской водной системы (Российская Арктика) № 3
- А. В. Чугуевский, М. С. Мельгунов, И. В. Макарова.* Миграция техногенных радионуклидов (^{137}Cs , ^{152}Eu , ^{60}Co) в донных отложениях р. Енисей (ближняя зона влияния Красноярского ГХК) № 2

Экономика и управление

- Е. И. Головина, А. В. Гребнева.* Особенности управления ресурсами подземных вод на трансграничных территориях (на примере Калининградской области) № 4

Гипотезы и дискуссионные материалы

- П. П. Нагевич, Е. В. Сергеева, Г. И. Карпизина.* Эталонная сетка разломов Земли и ее отражение в направлении и конфигурации русел рек № 3



ALPHABETICAL LIST OF ARTICLES IN 2022

Regional Geology, Stratigraphy, Tectonics

- V. G. Knyazev, A. S. Alifirov.* *Cadoquenedstoceras* – the new macroconch Upper Callovian genus of the Cardiocerataidae (Ammonoidea) family № 2
- D. G. Malikov, S. E. Golovanov.* Mammals of the late Pleistocene of the Pre-Altai Plain based on the materials of the Novosurtaevka Section № 4
- I. A. Melnik.* Statistical intensity of transformation processes of open geological systems based on geophysical data № 4
- V. M. Podobina.* New data on biostratigraphy and foraminifera of the Turonian stage of West Siberia № 1
- V. M. Podobina.* New data on biostratigraphy of the Tavda Horizon (Ryupelian Stage) in Western Siberia (based on the results of the study of foraminifera) № 4
- G. G. Rusanov, O. B. Kuzmina, M. V. Mikharevich.* Revision results for the main outcrops of the Koshagachskaya Formation (Upper Oligocene – Lower –Middle Miocene) in the Samakha-Dzhazator Depression in the south-east of Gorny Altai № 1
- N. I. Vetrova, E. V. Vetrov, E. F. Letnikova.* Chemostratigraphy of the carbonate deposits of the Kinterep Formation in Northwestern Salair: first data № 2

Petroleum Geology

- A. K. Bitner, D. O. Gafurov, O. M. Gafurov, N. V. Myshevsky, E. V. Temenyova, A. O. Gafurov, A. V. Samkov.* Hydrocarbon prospects of the Chulakanskaya area in the Kranoyarsk Territory according to geochemical data № 1
- V. P. Devyatov.* Evolution of terrigenous sedimentogenesis (C₃–K) of the Lena-Khatanga interfluvium (north of the Siberian platform) № 3
- S. I. Golyshev, P. N. Sobolev, N. L. Padalko, S. I. Dykhan, P. F. Yavorov, M. I. Prazdnichnykh, E. V. Chernikov.* Isotopic and geochemical survey of potentially oil-and-gas source deposits of the Riphean in the South-East of the Siberian Platform № 1
- D. S. Melnik.* New findings of biodegraded naphthides in rocks of the Vendian Khatyspyt Formation of the Olenek Uplift № 2
- F. A. Migurskiy.* Geodynamics of the Caledonian Baikal-Patom folded region and its influence on the petroleum potential of the Pre-Patom pericratonic trough № 3
- E. A. Predtechenskaya, O. N. Zlobina.* On the improvement of the catagenesis scheme of the Lower – Middle Jurassic deposits of the Urengoy petroleum region and adjacent territories based on mineral and structural indicators № 2
- Yu. I. Preys, G. A. Leonova, A. E. Maltsev.* Stratigraphy and dynamics of peat and carbon accumulation on the rams of the Baraba forest-steppe in the Holocene (West Siberia) № 1
- P. N. Sobolev, S. V. Dykhan.* Oil-and-gas source rocks and the problem of petroleum potential of the Aldan-Maya Depression (south-east of the Siberian Platform) № 3
- Yu. L. Zaytseva, V. V. Sapyanik.* Geological structure and petroleum potential prospects of the Kuznetsk independent petroleum region № 4
- M. Yu. Zubkov.* Role of tectonic and hydrothermal processes in the formation of gas pools in the north of Western Siberia № 4

Geophysics, Geophysical Industry

- M. I. Epov, V. N. Glinskikh, M. N. Nikitenko, K. V. Sukhorukova, A. M. Petrov, D. I. Gornostalev, I. V. Mikhaylov.* Cross-well pulsed electromagnetic exploration of the Bazhenov Formation from Lower Cretaceous and Upper Jurassic reservoirs № 1
- R. V. Gruzdev, D. Yu. Konstantinov, V. V. Romashko.* Experimental and methodological work on measuring the values of gravity and its vertical gradient № 1
- A. P. Fedyanin.* Method for calculating gravity anomalies relative to a quasigeoid № 1
- E. N. Makhnach, A. V. Mamaeva.* The forecast of hidden ore mineralization within the northern slope of the Aldan Anticline according to the data of electric exploration and gravimagnetic fields № 3 39
- A. P. Obolkin, V. S. Sintnikov, M. I. Sleptsova, R. F. Sevostyanova.* Study of possible manifestation of the South Anyuy Suture in the seismic wave field at the base of the Tastakh Trough in the Northeastern Yakutia № 1
- A. P. Sysoev, A. A. Shamordin.* Calculations of datum statics in reflection method with consideration to the position of the charge relative to the base of low velocity layer № 2

Minerogenesis, ore and non-metallic mineral resources

- G. I. Dyachenko, G. E. Aseev.* The role of ancient karst in the formation of uranium deposit (Gornaya Shoriya) № 3
- V. L. Khomichev.* Genesis of granitoid (gabbro-granite) plutons and associated mineralization № 2
- P. P. Safronov, N. V. Moiseenko.* Silver mineralization of the Khorogochi mother lode (Stanovaya granite-greenstone area, Upper Amur region) № 1
- V. M. Solovyev, A. S. Salnikov, V. S. Seleznev, T. V. Kashubina, N. A. Galyova.* To study the distribution of ore clusters of the Amur river region minerogenic provinces with the deep structure features of the upper crust on the East-Stanovoy fragment of the reference geological and geophysical profile 8-DV № 3
- M. M. Shats, V. N. Makarov.* Geoecological conditions in the area of the Deputatskoye tin ore deposit (North-Eastern Yakutia) № 4
- V. S. Shkodzinsky.* Origin of autonomous diamond placers № 4



V. D. Strakhovenko, E. A. Ovdina, G. I. Malov. Features of the uranium distribution in the components of lake systems located in the steppe landscape of South Siberia (Kulunda and Tazherany steppe)№ 2

Hydrogeology, Geoecology and Monitoring of the Geological Environment

A. El-Meselhy, G. M. Mitrofanov. Study of aquifer layers: an example of El-Oweinat Region, Egypt№ 4

B. I. Tulyaganov. Main tasks and requirements to geoecological safe disposal of associated waters to deep horizons№ 1

A. A. Shevchenko, O. V. Skrobot. Experience of using geothermal energy of the near-surface massif of ancient granitoids for heat supply purposes (south of West Siberia)№ 2

Lithology, Petrography, Mineralogy, Geochemistry

B. V. Dampilova, S. G. Doroshkevich. Mobile fraction of elements in technosols of tailings storage facility of the Nerchinsk polymetallic complex№ 2

A. V. Chuguevsky, M. S. Melgunov, I. V. Makarova. Migration of artificial radionuclides (^{137}Cs , ^{152}Eu , ^{60}Co) in the bottom sediments of the Yenisey River (near zone of influence of the Krasnoyarsk MCP)№ 2

A. I. Gusev. Petro-geochemistry of subvolcanic and extrusive formations of the Kedrovo-Korgonchikovsky district of the Gorny Altai№ 3

A. E. Maltsev, V. A. Bychinsky, S. K. Krivonogov, G. A. Leonova, L. V. Miroshnichenko, A. S. Shavekin, S. F. Nechepurenko. Geochemistry of the early diagenesis of limnoglacial deposits on the example of lakes of the Norilo-Pyasinskaya water system (Russian Arctic)№ 3

Economics and Management of subsoil Resources Use

E. I. Golovina, A. V. Grebneva. Features of groundwater resources management in the transboundary territories (on the example of the Kaliningrad Region)№ 4

Controversial Issues and Hypotheses

P. P. Nagevich, E. V. Sergeeva, G. I. Karpizina. Reference grid of Earth faults and its reflection in the direction and configuration of riverbeds№ 3



АВТОРЫ ЖУРНАЛА ЗА 2022 Г.

Алифиров А. С.	№ 2	Михайлов И. В.	№ 1
Асеев Г. Е.	№ 3	Михаревич М. В.	№ 1
Битнер А. К.	№ 1	Моисеенко Н. В.	№ 1
Бычинский В. А.	№ 3	Мышевский Н. В.	№ 1
Ветров Е. В.	№ 2	Нагевич П. П.	№ 3
Ветрова Н. И.	№ 2	Нечепуренко С. Ф.	№ 3
Галёва Н. А.	№ 3	Никитенко М. Н.	№ 1
Гафуров А. О.	№ 1	Оболкин А. П.	№ 1
Гафуров Д. О.	№ 1	Овдина Е. А.	№ 2
Гафуров О. М.	№ 1	Падалко Н. Л.	№ 1
Глинских В. Н.	№ 1	Петров А. М.	№ 1
Голованов С. Е.	№ 4	Подобина В. М.	№ 1, 4
Головина Е. И.	№ 4	Праздничных М. И.	№ 1
Гольшев С. И.	№ 1	Предтеченская Е. А.	№ 2
Горносталев Д. И.	№ 1	Прейс Ю. И.	№ 1
Гребнева А. В.	№ 4	Ромашко В. В.	№ 1
Груздев Р. В.	№ 1	Русанов Г. Г.	№ 1
Гусев А. И.	№ 3	Сальников А. С.	№ 3
Дампилова Б. В.	№ 2	Самков А. В.	№ 1
Девятов В. П.	№ 3	Сапьяник В. В.	№ 4
Дорошкевич С. Г.	№ 2	Сафронов П. П.	№ 1
Дыхан С. В.	№ 1, 3	Севостьянова Р. Ф.	№ 1
Дьяченко Г. И.	№ 3	Селезнев В. С.	№ 3
Зайцева Ю. Л.	№ 4	Сергеева Е. В.	№ 3
Злобина О. Н.	№ 2	Ситников В. С.	№ 1
Зубков М. Ю.	№ 4	Скробот О. В.	№ 2
Карпизина Г. И.	№ 3	Слепцова М. И.	№ 1
Кашубина Т. В.	№ 3	Соболев П. Н.	№ 1, 3
Князев В. Г.	№ 2	Соловьев В. М.	№ 3
Константинов Д. Ю.	№ 1	Страховенко В. Д.	№ 2
Кривоногов С. К.	№ 3	Сухорукова К. В.	№ 1
Кузьмина О. Б.	№ 1	Сысоев А. П.	№ 2
Леонова Г. А.	№ 1, 3	Теменёва Е. В.	№ 1
Летникова Е. Ф.	№ 2	Туляганов Б. И.	№ 1
Макаров В. Н.	№ 4	Федянин А. П.	№ 1
Макарова И. В.	№ 2	Хомичев В. Л.	№ 2
Маликов Д. Г.	№ 4	Черников Е. В.	№ 1
Малов Г. И.	№ 2	Чугуевский А. В.	№ 2
Мальцев А. Е.	№ 1, 3	Шавекин А. С.	№ 3
Мамаева А. В.	№ 3	Шамордин А. А.	№ 2
Махнач Е. Н.	№ 3	Шац М. М.	№ 4
Мельгунов М. С.	№ 2	Шевченко А. А.	№ 2
Мельник Д. С.	№ 2	Шкодзинский В. С.	№ 4
Мельник И. А.	№ 4	Эль-Меселхи А.	№ 4
Мигурский Ф. А.	№ 3	Эпов М. И.	№ 1
Мирошниченко Л. В.	№ 3	Яворов П. Ф.	№ 1
Митрофанов Г. М.	№ 4		



THE AUTHORS OF JOURNAL IN 2022

Alifirov A. S.	№ 2	Mitrofanov G. M.	№ 4
Aseev G. E.	№ 3	Mikhaylov I. V.	№ 1
Bitner A. K.	№ 1	Mikharevich M. V.	№ 1
Bychinsky V. A.	№ 3	Moiseenko N. V.	№ 1
Chernikov E. V.	№ 1	Myshevsky N. V.	№ 1
Chuguevsky A. V.	№ 2	Nagevich P. P.	№ 3
Dampilova B. V.	№ 2	Nechepurenko S. F.	№ 3
Devyatov V. P.	№ 3	Nikitenko M. N.	№ 1
Doroshkevich S. G.	№ 2	Obolkin A. P.	№ 1
Dykhan S. I.	№ 1, 3	Ovdina E. A.	№ 2
Dyachenko G. I.	№ 3	Padalko N. L.	№ 1
El-Meselhy A.	№ 4	Petrov A. M.	№ 1
Epov M. I.	№ 1	Podobina V. M.	№ 1, 4
Fedyanin A. P.	№ 1	Prazdnichnykh M. I.	№ 1
Galyova N. A.	№ 3	Predtechenskaya E. A.	№ 2
Gafurov A. O.	№ 1	Preys Yu. I.	№ 1
Gafurov D. O.	№ 1	Romashko V. V.	№ 1
Gafurov O. M.	№ 1	Rusanov G. G.	№ 1
Glinkikh V. N.	№ 1	Salnikov A. S.	№ 3
Golovanov S. E.	№ 4	Samkov A. V.	№ 1
Golovina E. I.	№ 4	Sapyanik V. V.	№ 4
Golyshev S. I.	№ 1	Safronov P. P.	№ 1
Gornostalev D. I.	№ 1	Sevostyanova R. F.	№ 1
Grebneva A. V.	№ 4	Seleznev V. S.	№ 3
Gruzdev R. V.	№ 1	Sergeeva E. V.	№ 3
Gusev A. I.	№ 3	Shavekin A. S.	№ 3
Karpizina G. I.	№ 3	Shamordin A. A.	№ 2
Kashubina T. V.	№ 3	Shats M. M.	№ 4
Knyazev V. G.	№ 2	Shevchenko A. A.	№ 2
Khomichev V. L.	№ 2	Shkodzinsky V. S.	№ 4
Konstantinov D. Yu.	№ 1	Sintnikov V. S.	№ 1
Krivosnogov S. K.	№ 3	Skrobot O. V.	№ 2
Kuzmina O. B.	№ 1	Sleptsova M. I.	№ 1
Leonova G. A.	№ 1, 3	Sobolev P. N.	№ 1, 3
Letnikova E. F.	№ 2	Solovyev V. M.	№ 3
Makarov V. N.	№ 4	Strakhovenko V. D.	№ 2
Makarova I. V.	№ 2	Sukhorukova K. V.	№ 1
Malikov D. G.	№ 4	Sysoev A. P.	№ 2
Malov G. I.	№ 2	Temenyova E. V.	№ 1
Maltsev A. E.	№ 1, 3	Tulyaganov B. I.	№ 1
Mamaeva A. V.	№ 3	Vetrov E. V.	№ 2
Makhnach E. N.	№ 3	Vetrova N. I.	№ 2
Melgunov M. S.	№ 2	Zaytseva Yu. L.	№ 4
Melnik D. S.	№ 2	Zlobina O. N.	№ 2
Melnik I. A.	№ 4	Zubkov M. Yu.	№ 4
Migurskiy F. A.	№ 3	Yavorov P. F.	№ 1
Miroshnichenko L. V.	№ 3		

Подписано в печать 15.12.22. Дата выхода в свет 30.12.22. Отпускная цена 1653 р.
Формат 60×84/8. Бумага офсетная 80 г/м². Печать цифровая.
Тираж 100 экз. Гарнитура Calibri. Объем 11,78 усл. 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