

С. В. Гошовский, д-р техн. наук, профессор, директор
(Украинский государственный геологоразведочный институт),
ukrdgri@ukrdgri.gov.ua, <https://orcid.org/0000-0002-8312-6244>,

А. В. Зурьян, канд. техн. наук, заведующий отделом инновационных технологий
(Украинский государственный геологоразведочный институт),
alexey_zuryan@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-2391-1611>

ГАЗОГИДРАТЫ – ИСТОРИЯ ЧЕЛОВЕКА, ОТКРЫТИЯ, НАУКИ К 50-летию открытия свойства природных газов образовывать залежи в земной коре в твердом газогидратном состоянии

Выполнен анализ литературных источников об истории изучения газовых гидратов и научном открытии о возможности существования газогидратных залежей в природных условиях. Изложены факты, свидетельствующие, что в период с 1966 по 1969 гг. на кафедре разработки и эксплуатации газовых и газоконденсатных месторождений МИНХ и ГП им. И. М. Губкина проводились исследования условий образования гидратов в пористой среде. Первые эксперименты были поставлены доцентом кафедры, выходцем из Украины, Ю. Ф. Макогоном. Результаты убедительно показали возможность образования и стабильного существования газогидратов в недрах Земли и послужили научным обоснованием открытия природных газогидратных залежей. В 1969 году началась разработка Мессояхинского месторождения Сибири, где впервые удалось извлечь природный газ непосредственно из гидратов. В этом же 1969 году это открытие было официально признано и зарегистрировано.

Ключевые слова: Ю. Ф. Макогон, природный газ, гидраты, месторождения, открытие.

Минеральное топливо в земной коре сконцентрировано в виде скоплений углевода (различного угля и сланцев) и углеводородов (нефтяных и газовых залежей). В науке долгое время бытовало представление о том, что скопления углеводородов с молекулярной массой более 60 пребывают в земной коре в жидком состоянии, а более легкие – в газообразном [2].

Интерес к тому или другому процессу или явлению возникает чаще всего у исследователей случайно, а его углубленное познание идет в зависимости от актуальности и необходимости. Газогидраты не стали исключением.

Природные газогидраты существуют вечно, оказывая серьезное влияние

на формирование и сохранение вещества планеты, однако были обнаружены случайно [11].

На сегодняшний день газовые гидраты считаются одними из самых перспективных нетрадиционных источников углеводородного сырья и энергии в двадцать первом веке [3].

Какова же история их открытия, какие события ей предшествовали, а какие происходили уже в наше время. Об этом и другом мы расскажем в нашем материале.

Газовые гидраты впервые были получены в лабораторных условиях, но авторство их открытия точно не установлено [13]. По мнению Ю. А. Дядина с сотрудниками [4, 10], а также Ю. Ф. Макогона [9],

первым, кто в 1777–1778 гг. наблюдал газовый гидрат (гидрат сернистого газа), был Дж. Пристли. Однако, как отмечает Слоан [15], температура в опытах Дж. Пристли равнялась 17 °F (–8,3 °C), и нельзя однозначно утверждать, что наблюдавшаяся в этих опытах кристаллизация твердой фазы при охлаждении водного раствора сернистого газа была связана с образованием гидратов, а не льда. Поэтому историю газовых гидратов принято начинать с исследований Х. Дэви, достоверно установившего в 1810 г. [12], что раствор хлора (в то время хлор назывался окисью мурья) в воде кристаллизуется быстрее (т. е. при более высокой температуре), нежели чистая вода, а осушенный газообразный хлор не кристаллизуется даже при –40 °F (–40 °C). Так был открыт гидрат хлора, а М. Фарадей в 1823 г. определил его состав.

На протяжении следующего столетия ученые провели большую работу по каталогизации молекул различных веществ, которые могли формировать клатратные соединения; были экспериментально изучены условия, при которых каждое вещество находилось в устойчивом состоянии. Но поскольку о существовании гидратов в естественных условиях на тот момент еще не было известно, то этот предмет изучения оставался в большей степени в области академических интересов [11].

На рубеже XIX–XX веков были открыты гидраты различных веществ, в том числе метана, этана, пропана и других компонентов природного газа, а также установлена возможность существования двойных гидратов – структур, в состав которых входят молекулы двух веществ-гидратообразователей. В 1829 г. Левит обнаружил гидрат брома, в 1840 г. Вёлер – гидрат сероводорода, а к 1888 г. П. Виллар получил гидраты метана, этана, этилена, ацетилен и оксида азота [1].

Помимо этого, были предложены методы прямого и полужемпирического расчётного определения состава гидратов. В целом до первой половины двадцатого века основное направление исследований было сосредоточено на выявлении

веществ, которые могут образовывать гидраты, и определении термобарических условий их образования. Со временем процессы добычи, переработки и транспортировки природного газа стали осуществляться под высоким давлением и с большими скоростями потоков. В этих условиях на некоторых участках трубопроводов и технологического оборудования проявился эффект Джоуля-Томсона, в результате которого температура газовых потоков резко снижалась и, в случае присутствия в потоке водной фазы, образовывался газовый гидрат, который ухудшал эффективность работы технологического оборудования, закупоривал трубопроводы.

Таким образом, в середине 1930-х исследование гидрата вошло во вторую фазу, когда Е. Г. Хаммершмидт [14] показал, что именно газовые гидраты вызывают образование пробок в газопроводах при температурах выше 0 °C, приводящих к серьезным осложнениям и авариям в работе технологического оборудования. В 1934 г. Гаммершмидт (Hammershmidt) опубликовал результаты обследования газопроводов США, работа которых осложнялась формированием пробок в зимнее время. Предполагалось, что образуются ледяные пробки из конденсатной воды. Опираясь на лабораторные исследования, Гаммершмидт заявил, что твердые пробки состоят не из льда, а из гидрата транспортируемого газа. Интерес к газогидратам резко возрос [7].

Исследования Гаммершмидта положили начало изучению техногенного гидратообразования и методов его предупреждения в системах добычи и транспорта нефти и газа. Техногенное гидратообразование и сегодня продолжает оставаться одной из острейших проблем в газовой промышленности, на решение которой расходуются огромные силы и средства [5, 16].

Важным этапом в истории исследований газогидратов явилась работа акад. Никитина (1936), в которой он высказал идею о том, что газогидраты являются клатратными соединениями, в которых

молекулы газа заключены в отдельные ячейки, образованные молекулами воды за счет водородной связи.

Впоследствии небольшая группа ученых во главе с доктором Д. Слоаном в Колорадской Школе Горного Дела (Colorado School of Mines) исследовала физику различных клатратов, разработала первые прогнозирующие модели их формирования. Главным направлением этой работы было (и остается) развитие различных методов, предотвращающих формирование гидрата, а также поиск химических добавок, ингибирующих процесс гидратообразования [1]. Поэтому можно утверждать, что исследования газовых гидратов получили практическое применение, связанное с разработкой принципов предотвращения или контроля их образования, что в свою очередь потребовало глубокого изучения свойств газовых гидратов, их строения, термодинамических областей устойчивости и кинетики их образования и разложения.

Следующий этап развития исследований газовых гидратов приходится на 1940-е гг. и связан с открытием существования природных газогидратов, которые играли одну из ведущих ролей при формировании планет, атмосферы и гидросферы Земли, но были не известны [7].

Во-первых, с помощью рентгеноструктурного анализа были выявлены две клатратные структуры кристаллов: “I” и “II” (1949–1954 гг.), а спустя почти 45 лет – структура “H” (1994) [7]. К настоящему времени обнаружено более десяти структур газогидратов, существующих при различных давлениях и температурах. Большая часть новых структур выявлена группой ученых Института неорганической химии Сибирского отделения РАН.

Во-вторых, была высказана гипотеза о наличии залежей газовых гидратов в зоне вечной мерзлоты.

Первое предположение о существовании газогидратных залежей в районах вечной мерзлоты Канады в 1943 г. сделал Д. Катц, профессор Мичиганского университета, однако доказать их наличие

бурением скважин тогда не удалось. Повторно возможность существования газогидратных залежей в природных условиях была показана теоретическими работами И. Н. Стрижова (1946 г.), М. П. Мохнаткина (1947 г.), Н. В. Черского, а также экспериментальными исследованиями Ю. Ф. Макогона (1946–1945) [13].

Важность экспериментальных исследований заключалась в том, что реальность идеи существования газогидратных скоплений в охлажденных пластах в научных кругах вызывала сомнения. Требовались доказательства возможности образования гидратов в реальных пористых средах и формирования газогидратных залежей. Первые экспериментальные исследования условий образования гидратов природного газа в пористой среде выполнил Юрий Федорович Макогон, доцент кафедры разработки газовых месторождений Московского института нефтехимической и газовой промышленности (МИНХ и ГП) имени И. М. Губкина, которые опубликовал в журнале “Газовая промышленность”. Полученные результаты убедительно подтвердили возможность образования гидратов в пористых средах, в реальных кернах и явились обоснованием существования газогидратных залежей в недрах земли. Результаты экспериментальных исследований образования и разложения гидратов в реальных кернах были доложены Ю. Ф. Макогоном на научной конференции молодых нефтяников в Москве в апреле 1965 г. и отмечены первой премией [6].

Спустя четыре года, после комплексной международной экспертизы и заключения Президиума РАН, в соответствии с Положением об открытиях и изобретениях, Комитет по делам изобретений и открытий при Совете Министров СССР установил, что граждане СССР Ю. Ф. Макогон, Ф. А. Требин, А. А. Трофимук, Н. В. Черский и В. Г. Васильев сделали открытие, определяемое следующей формулой: “Экспериментально установлено ранее неизвестное свойство природных газов образовывать в земной коре при определенных термодинамических

условиях залежи в твердом газогидратном состоянии” (24 марта 1969 г.). Дипломы авторам вручены 4 марта 1971 г.

Одновременно 24 декабря 1969 г. в Заполярье была введена в промышленную разработку Мессояхская газогидратная залежь. Доклад автора о лабораторных и промышленных результатах на XI Международном газовом конгрессе в июне 1970 г. вызвал большой международный резонанс. Вскоре в ряде стран были созданы национальные программы исследований и освоения гидратных залежей.

Анализируя историю этого важного для всего мирового сообщества открытия, нельзя обойти стороной и личную историю жизни ученого-исследователя, благодаря которому стало возможным данное всемирно известное открытие.

Родился Макогон Юрий Федорович 15 мая 1930 г. в с. Веселое Великоалександровского района Херсонской области. В 1951 г. с отличием окончил Краснодарский нефтяной техникум и поступил на газонефтепромышленный факультет Московского нефтяного института им. И. М. Губкина (фото 1).

Научная карьера инженера-газовика Ю. Ф. Макогона началась на уникальном новооткрытом Шебелинском газоконденсатном месторождении в Украине, где в 1956 г. он начал работать оператором по добыче газа. В 1957 г. Юрия Федоровича назначили первым мастером на промысле, а впоследствии – заместителем главного инженера (фото 2).

Самой сложной проблемой, с которой столкнулся молодой специалист, было образование газогидратов в скважинах и промысловых газопроводах. Открытию существования природных газогидратов способствовали накопленный Юрием Федоровичем опыт борьбы с гидратами промышленными на Шебелинском газопромысле и их познание в лабораторных условиях при работе над первой диссертацией, а также анализ аномальных условий существования залежей углеводородов в криолитозоне после выявления аномальных толщ мерзлых пород в Восточной



Фото 1. Макогон Юрий Федорович. Краснодарский нефтяной техникум

Сибири. Обычно на стыке двух проблем и рождаются важные научные открытия. Результатом изучения данной проблемы стала кандидатская диссертация “Газогидраты, образования и их предупреждения при добыче и транспортировке газа” – первая значительная научная работа по проблеме гидратов природных газов, которую ученый защитил в 1963 г.

В это время Мархинская скважина, пробуренная в СССР на северо-западе Якутии на глубину 1850 м, вскрыла аномальную толщу мерзлых пород – около 1150 м, что более чем вдвое превышало ранее известные величины. Термоградиент в интервале мерзлых пород не превышал 0,5 °C/100 м, а в подмерзлотной части разреза был равен 1 °C/100м, что соответствовало условиям существования газогидратов. Требовались доказательства. Их поиск завершился открытием газогидратных залежей.

Данные события Юрий Федорович подробно описывает в своей работе [8]. В 1964 г. Ю. Ф. Макогона вместе с аспирантом кафедры разработки и эксплуатации газовых месторождений МИНХ и ГП им. И. М. Губкина Капланом Сафербиевичем Басниевым отправили в командировку из Москвы в далекую Якутию. Целью командировки было подписание договора о научно-техническом сотрудничестве между Якутским филиалом Сибирского отделения Академии наук СССР (ЯФ СО АН), Якутским территориальным геологическим управлением (ЯТГУ) и кафедрой по проблеме борьбы с гидратообразованием в газовых скважинах и газопроводах в условиях Якутии. Принимал молодых ученых лично председатель Президиума ЯФ СО АН, доктор технических наук, а в последующем член-корреспондент АН (1968) и

академик Академии наук СССР (1981) Николай Васильевич Черский. С Николаем Васильевичем Юрий Федорович Макогон был знаком по встрече в Москве, когда в 1962 г. на кафедре проходила предзащита кандидатской диссертации Юрия Федоровича. Н. В. Черский остался доволен работой молодого ученого. Предзащита прошла успешно. Опыт работы Ю. Ф. Макогона на крупнейшем по тем временам Шебелинском газоконденсатном месторождении в Украине оказался при беседе весьма кстати. Тогда же Н. В. Черский и пригласил Ю. Ф. Макогона приехать к нему в Иркутск. В то время там разворачивались большие работы по освоению газогидратных месторождений и специалисты со знанием проблем гидратообразования при транспортировке газа в суровых условиях Якутии были очень нужны.



Фото 2. Шебелинское газоконденсатное месторождение в Украине. Совещание по проблеме образования газогидратных пробок в газопроводе (18 февраля 1957 года)

После посещения Якутии в Москве были развернуты работы по тщательному исполнению подписанного договора. В работе принимали участие ведущие специалисты кафедр: Б. Б. Лапук и Э. А. Бондарев – специалисты по термодинамике и выдающиеся математики. Сам же Ю. Ф. Макогон возглавлял экспериментальные работы по изучению условий образования и разложения газогидратов в скважинах и газопроводах. Активно участвовали в экспериментах аспиранты К. С. Басниев, С. Н. Закиров, Б. Е. Сомов, а со стороны ЯТГУ – А. А. Бубнов и Д. П. Сидоров.

Предшествующая большая научная работа, подготовка кандидатской диссертации, полученный исследовательский материал и опыт, который Юрий Федорович приобрел на производстве, помогли родиться идее о существовании газогидратных залежей. Первая статья, в которой Ю. Ф. Макогон изложил идею о наличии газогидратных залежей в районах распространения многолетней мерзлоты, была отправлена автором в журнал “Газовая промышленность”. Однако редакция возвратила рукопись, заявив, что не может опубликовать недоказанное предположение, добавив при этом: “Пробурены сотни скважин в таких районах, а гидратных пластов никто не встретил”. Юрий Федорович настоял на публикации, и редакция поместила статью в рубрике “В порядке обсуждения” (Газовая промышленность. № 5. 1965 г.). Требовались доказательства идеи. Тогда Ю. Ф. Макогон создал установку для получения условий образования и стабильного существования гидратов в пористом пространстве реальных пород. Лабораторные исследования засвидетельствовали, что газогидратные залежи могут существовать. Результаты этих работ были опубликованы Ю. Ф. Макогоном в брошюре под редакцией К. С. Басниева (1966 г.).

В конце августа 1965 г., после получения звания доцента кафедры разработки газовых месторождений, Юрий Федорович уезжает работать в Индию. Там он

читает лекции по добыче газа в Высшей горной школе Индии. Интересный факт, что именно там, находясь вдали от Родины, он приходит к мысли, что необходимо подать заявку на открытие газогидратных месторождений. Как вспоминает сам Юрий Федорович, подтолкнула его к этому радиопрограмма о регистрации научных открытий, которую он услышал по радиостанции “Маяк” [8]. Возвратившись на родину и заручившись поддержкой своего учителя и коллеги Николая Васильевича Черского, Юрий Федорович начинает работу по формированию материалов для регистрации своего открытия. Все убедительные экспериментальные данные для этого уже были получены. Нужно было решить только формальные вопросы. Для этого по приезду в Москву Ю. Ф. Макогон вместе с Н. В. Черским отправляются в комитет по изобретениям и открытиям при Совете Министров СССР, где их принимает эксперт отдела научных открытий Юлия Павловна Конюшная. После изложения сути вопроса было принято решение: “Подавать немедленно”.

Однако самой идеи и даже публикации в качестве основы заявки для положительного решения было мало. Благодаря мудрому решению Н. В. Черского в число авторов были включены академик Андрей Алексеевич Трофимчук, начальник геологического управления Министерства газовой промышленности Виктор Николаевич Васильев, заведующий кафедрой разработки и эксплуатации газовых месторождений МИНХ и ГП им. И. М. Губкина профессор Фома Андреевич Требин. Авторский коллектив получился солидным: академик, член-корреспондент, два доктора наук и один кандидат наук. Заявка была подана и зарегистрирована 19 марта 1969 г., а дипломы авторам вручены 4 марта 1971 г. (фото 3) [8].

Несколько лет спустя молодые геологи Норильскгазпрома М. Сапир и А. Беньяминович доказали наличие газогидратной залежи на Мессояхинском месторождении.

С тех пор в мире были развёрнуты широкомасштабные исследования проблемы существования природных газогидратов [1].

В 1975 г. Юрий Федорович Макогон защитил докторскую диссертацию на тему: “Природные гидраты газа”. В 1985 г. стал профессором. С 1973 г. работал заведующим газогидратной лаборатории Всероссийского научно-исследовательского института природных газов и газовых технологий. В течение 1974–1987 гг. руководил газогидратной лабораторией Всесоюзного научно-исследовательского института природных газов (ВНИИгаз).

В 1984 г. министр газовой промышленности В. А. Динков утвердил первую национальную программу исследований и освоения гидратных залежей, но вскоре началась “перестройка”, ситуация резко изменилась. Программа исследований была прекращена, гидратная лаборатория ликвидирована. Исследования в Московском институте нефти и газа им. И. М. Губкина (МИНХ и ГП им. И. М. Губкина, переименованный в декабре 1985 г.) полностью были заморожены. Россия задыхалась от избытка запасов традиционного газа, гидратам не было уделено должного внимания. Однако хорошие идеи не умирают. Надвигал-

ся энергетический кризис, исследования были развернуты в лабораториях США, Японии, Канады, Индии, Кореи, Германии и др. Юрий Федорович Макогон, уже будучи пенсионером, в 1992 г. принял приглашение одного из крупнейших университетов США организовать современную лабораторию по изучению газогидратов. Лаборатория была создана при Техасском университете США и уже в 1994 г. Юрий Федорович возглавил ее работу (фото 4).

В связи с ростом интереса к газогидратам Ю. Ф. Макогон выступает с докладами на 27 международных конгрессах и конференциях, читает лекции в 45 ведущих университетах мира, является научным консультантом и участником многих международных программ по исследованию и освоению газогидратных залежей США, Японии, Индии.

К наследию ученого принадлежат также 27 патентов, восемь монографий (четыре из которых переведены и изданы в США и Канаде), более 270 научных статей.

Юрий Федорович – академик Российской академии естественных наук, член Международного общества инженеров-нефтяников (SPE), организатор и первый руководитель секции SPE в Рос-



Фото 3. Авторы открытия № 75. Слева направо: Н. В. Черский, А. А. Трофимчук, Ю. Ф. Макогон, Ф. А. Требин, В. Г. Васильев

сии. В 2002–2003 гг. его признавали выдающимся международным лектором SPE. В США он является региональным секретарем американского отделения РАЕН. С 2000 г. – руководитель технологической группы Международной комиссии по газогидратам “CODATA”, а с 2010 г. – иностранный член УНГА.

Ю. Ф. Макогон – лауреат Государственной премии имени акад. И. М. Губкина, почетный доктор Института неорганической химии Сибирского отделения РАН. Награжден серебряными медалями ВДНХ СССР, почетной серебряной медалью В. И. Вернадского, золотыми медалями А. Эйнштейна и П. Капицы, другими наградами. Кембриджский биографический центр (Великая Британия) признал ученого “Человеком года 1992–1993”.

В заключение надо отметить, что сегодня скопления газовых гидратов выявлены различными методами во многих районах мира. Особый интерес при этом вызывают аквальные залежи газа метана

в гидратном состоянии. Но промышленной технологии их разработки на сегодняшний день не существует. Есть только громкие политические заявления ряда стран, но не более. При этом известны только три метода разработки газогидратов, предложенные в свое время именно Ю. Ф. Макогом. Есть над чем работать изобретателям, исследователям и энтузиастам.

15 мая этого года (2019) Юрию Федоровичу исполняется 89 лет. Но он и сегодня готов помогать пытливым и энергичным исследователям со всего мира. Целое поколение молодых ученых выросло на его книгах и научных публикациях. Работы и научные исследования свойств газогидратов, которые проводил Юрий Федорович, стали основой для создания средств их поиска и разведки, подсчета запасов, разработки и создания технологий добычи. С уверенностью можно сказать, что только людей с активной жизненной позицией, пылким умом и жаждой жизни объединяет тема газогидратов.



Фото 4. Профессор Ю. Ф. Макогон с коллегами. Техасский национальный университет (США)



Фото 5. Юрий Федорович Макогон

КРАТКАЯ ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ ОТКРЫТИЯ

Макогон Юрий Федорович родился 15 мая 1930 г. в п. Веселое Херсонской области. Окончил Московский нефтяной институт имени И. М. Губкина в 1954 г., доктор технических наук, профессор. Работал на инженерных должностях на Шеллинском месторождении ГПО “Укр-газ”; с 1961 г. – в Государственной академии нефти и газа: научным сотрудником, ассистентом, доцентом кафедры разработки и эксплуатации газовых и газоконденсатных месторождений; 1974–1987 гг. – заведующий газогидратной лабораторией ВНИИгаз; 1987–1992 гг. – заведующий лабораторией нетрадиционных источников углеводородов Института проблем нефти и газа РАН и Госкомитета РФ по высшей школе; 1991–1997 гг. – директор Института углеводородов и окружающей среды РАЕН; с 1994 г. – заведующий газогидратной лабораторией Техасского университета (Gas Hydrate Laboratory, Department of Petroleum Engineering); член Американского общества инженеров-нефтяников; академик Нью-Йоркской академии

наук; председатель НТО инженеров-нефтяников; лауреат Премии им. академика И. М. Губкина [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Воробьев А. Е., Капитонова И. Л.* Основы добычи аквальных газовых гидратов. Учебное пособие. – М.: Российский университет дружбы народов, 2014. – 106 с.
2. Государственный реестр открытий СССР [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://ross-nauka.narod.ru/02/02-075.html>
3. *Гошовский С. В., Зурьян А. В.* Способы и технологии добычи газа метана из аквальных газогидратных формирований//Минеральные ресурсы Украины. – 2018. – № 3. – С. 124–127.
4. *Дядин Ю. А., Удачин К. А., Бондюк И. В.* Соединения включения: Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. ун-та, 1988. – 92 с.
5. *Истомин В. А., Квон В. Г.* Предупреждение и ликвидация газовых гидратов в системах добычи газа. – М.: ООО “ИРЦГазпром”, 2004. – 506 с.
6. *Макогон Ю. Ф.* Особенности эксплуатации месторождений природных газов в зоне вечной мерзлоты. – М.: ЦНТИ Мингазпрома, 1966. – С. 19–24.
7. *Макогон Ю. Ф.* Газогидраты. История изучения и перспективы освоения//Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2010. – № 22. – С. 5–21.
8. *Макогон Ю. Ф.* Об академике Н. В. Черском и истории одного открытия//Наука и техника в Якутии. – 2008. – № 2 (15). – С. 74–77.
9. *Макогон Ю. Ф.* Природные газогидраты: открытие и перспективы//Газовая промышленность. – 2001. – № 5. – С. 10–16.
10. *Родионова Т. В., Солдатов Д. В., Дядин Ю. А.* Газовые гидраты в экосистеме Земли//Химия в интересах устойчивого развития. – 1998. – Т. 6. – С. 51–74.
11. *Сухоносенко А. Л.* Термогидродинамическое моделирование процессов разработки газогидратных месторожде-

ний: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 25.00.17/Сухоносенко А. Л.; [Место защиты: Ин-т проблем нефти и газа РАН]. – Москва, 2013. – 28 с.

12. *Davy H.* On some of the combinations of oxymuriatic gas and oxygene, and on the chemical relations of these principles, to inflammable bodies//Phyl. Trans. Roy. Soc. (London). – 1811. – Vol. 101. – Part 1. – P. 1–36.

13. *Ermolaev A. S.* Hydrate Kinetics Study and Exhibition Display Preparation//European researcher. – 2011. – № 10 (13). – P. 1335–1342.

14. *Hammerschmidt E. G.* Formation of gas hydrates in natural gas transmission lines//Ind. Eng. Chem. – 1934. – Vol. 26. – P. 851–855.–

15. *Sloan E. D.* Clathrate hydrates of natural gases. 2-nd ed. – NY: Marcel Dekker, 1998. – 705 p.

16. *Sloan E. D.* Introductory overview: Hydrate knowledge development//American mineralogist. – 2004. – Vol. 89 (8–9). – P. 1155–1161.

REFERENCES

1. *Vorobjev A. E., Kapitonova I. L.* Basics of the extraction of aquatic gas hydrates. – Moskva: Rossijskij universitet druzhby narodov, 2014. – 106 p. (In Russian).

2. State Register of Discoveries of the USSR [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa <http://ross-nauka.narod.ru/02/02-075.html> (In Russian).

3. *Goshovskiy S. V., Zurian O. V.* Methods and technologies for the extraction of methane gas from aquatic gas hydrate formations//Mineralni resursy Ukrainy. – 2018. – № 3. – P. 124–127. (In Russian).

4. *Dyadin Yu. A., Udachin K. A., Bondaryuk I. V.* Connection connections. – Novosibirsk: Novosibirskij gosudarstvennyj universitet, 1988. – 92 p. (In Russian).

5. *Istomin V. A., Kvon V. G.* Prevention and elimination of gas hydrates in gas production systems. – Moskva: OOO “IRCGazprom”; 2004. – 506 p. (In Russian).

6. *Makogon Yu. F.* Features of the Exploitation of Natural Gas Mines in the Permafrost Zone. – Moskva: CNTI Mingazproma, 1966. – P. 19–24. (In Russian).

7. *Makogon Yu. F.* Gas hydrates. Study history and development prospects//Geologiya i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana. – 2010. – № 22. – P. 5–21. (In Russian).

8. *Makogon Yu. F.* About Academician N. V. Cherskij and the story of one discovery//Nauka i tehnika v Yakutii. – 2008. – № 2 (15). – P. 74–77. (In Russian).

9. *Makogon Yu. F.* Natural hydration: discovery and prospects//Gazovaya promyshlennost. – 2001. – № 5. – P. 10–16. (In Russian).

10. *Rodionova T. V., Soldatov D. V., Dyadin Yu. A.* Gas hydrates in the Earth's ecosystem//Himiya v interesah ustojchivogo razvitiya. – 1998. – Vol. 6. – P. 51–74. (In Russian).

11. *Suhonosenko A. L.* Thermohydrodynamic modeling of gas hydrate field development processes: avtoreferat dis. kandidata tehniceskikh nauk: 25.00.17/Suhonosenko A. L.; Mesto zashhity: In-t problem nefiti i gaza RAN. – Moskva, 2013. – 28 p. (In Russian).

12. *Davy H.* On some of the combinations of oxymuriatic gas and oxygene, and on the chemical relations of these principles, to inflammable bodies //Phyl. Trans. Roy. Soc. (London). 1811. – Vol. 101. – Part 1. – P. 1–36.

13. *Ermolaev A. S.* Hydrate Kinetics Study and Exhibition Display Preparation//European researcher. – № 10 (13). – 2011. – P. 1335–1342.

14. *Hammerschmidt E. G.* Formation of gas hydrates in natural gas transmission lines//Ind. Eng. Chem. – 1934. – Vol. 26. – P. 851–855.

15. *Sloan E. D.* Clathrate hydrates of natural gases. 2-nd ed. NY: Marcel Dekker, 1998. – 705 p.

16. *Sloan E. D.* Introductory overview: Hydrate knowledge development//American mineralogist. – 2004. – Vol. 89 (8–9). – P. 1155–1161.

С. В. Гошовський, д-р техн. наук, професор, директор (Український державний геолого-розвідувальний інститут), ukrdgrі@ukrdgrі.gov.ua, <https://orcid.org/0000-0002-8312-6244>,
О. В. Зур'ян, канд. техн. наук, завідувач відділу інноваційних технологій (Український державний геологорозвідувальний інститут), alexey_zuryan@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-2391-1611>

ГАЗОГІДРАТИ – ІСТОРІЯ ЛЮДИНИ, ВІДКРИТТЯ, НАУКИ

До 50-річчя відкриття властивості природних газів утворювати поклади в земній корі у твердому газогідратному стані

Проаналізовано літературні джерела щодо історії вивчення газових гідратів і наукового відкриття можливості утворення газогідратних покладів у природних умовах. Викладено факти, які засвідчують, що в період від 1966 до 1969 року на кафедрі розроблення та експлуатації газових і газоконденсатних родовищ МІНХ та ГП ім. І. М. Губкіна були запроваджені дослідження умов утворення гідратів у поруватому середовищі. Перші експерименти провів доцент кафедри, українець за походженням, Ю. Ф. Макогон. Результати переконливо підтвердили можливість утворення й стабільного існування газогідратів у надрах Землі та стали засадами наукового обґрунтування відкриття природних газогідратних покладів. У 1969 році почалося розроблення Мессояхського родовища в Сибіру, де вперше вдалося добути природний газ безпосередньо з гідратів. Цього ж 1969 року це відкриття було офіційно визнано й зареєстровано.

Ключові слова: Ю. Ф. Макогон, природний газ, гідрати, родовища, відкриття.

S. V. Goshovskyi, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director (Ukrainian State Geological Research Institute), ukrdgrі@ukrdgrі.gov.ua, <https://orcid.org/0000-0002-8312-6244>,

O. V. Zurian, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Innovative Technologies (Ukrainian State Geological Research Institute), alexey_zuryan@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-2391-1611>

GAS HYDRATES – HISTORY OF A MAN, DISCOVERY, SCIENCE

Devoted to 50th anniversary when the ability of natural gas to form deposits in the earth's crust in solid gas hydrate state was discovered

The literature sources dealing with the history of gas hydrate studies and discovery of possible existence of gas hydrate deposits in natural conditions were analyzed. They contain facts proving that within 1966 and 1969 the conditions for formation of hydrates in porous medium were researched at the Department of Gas and Gas Condensate Deposits Development and Exploitation of Gubkin Russian State University of Oil and Gas. The first experiments were set up by the Ukraine-born Yuriy Makogon, Department Assistant Professor. The results proved possibility of formation and stable existence of gas hydrates in earth's crust and became a scientific substantiation of natural gas hydrate deposits discovery. In 1969 the exploitation of Messoyakha deposits in Siberia started and it was the first time when the natural gas was derived directly from hydrates. The same year that invention was officially recognized and registered. Following the comprehensive international expert examination the State Committee on Inventions and Findings of the USSR Council of Ministers assumed that the citizens of the USSR Yuriy Makogon, Andrej A. Trofimuk, Nikolaj V. Cherskij and Viktor G. Vasilev made a discovery described as follows: "Experiments proved previously unknown ability of natural gas to form deposits in the earth's crust in solid gas hydrate state under definite thermodynamic conditions (Request dated March 19, 1969)". The authors were presented with diplomas on March 4, 1971.

From then onwards the issue of natural gas hydrates existence was widely researched all around the world.

In 1985 Yuriy Makogon became a Professor. Since 1973 he was a head of the gas hydrate laboratory in the All-Russian Scientific Research Institute of Natural Gases and Gas Technologies. Within 1974–1987 he was a head of the gas hydrate laboratory in Oil and Gas Research Institute RAS. In 1992 he was invited by one of the largest universities of the USA to arrange modern laboratory for gas hydrate study. The laboratory was created in the Texas University, USA and in 1995 Yuriy Makogon became its head.

As far as interest in gas hydrates increases Yuriy Makogon reports at 27 international congresses and conferences, gives lectures in 45 world leading universities, functions as an academic adviser and participates in different international programs on research and exploitation of gas hydrate deposits in USA, Japan and India.

The heritage of the scientist includes 27 patents, eight monographs (four of them were translated and published in the USA and Canada) and more than 270 scientific articles.

Keywords: *Yu. Makogon, natural gas, hydrates, deposits, discovery.*