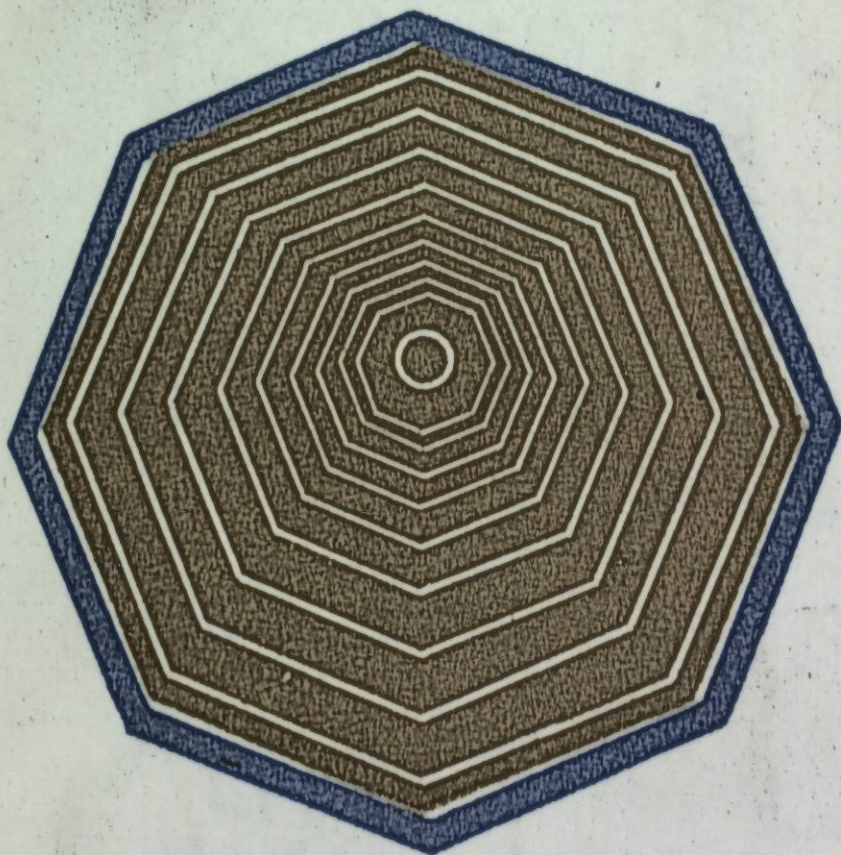


17-161

124

**ГЕОМИКРОБИОЛОГИЯ
ПОИСКА И РАЗРАБОТКИ
НЕФТЯНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ**



ГЕОМИКРОБИОЛОГИЯ
ПОИСКА И РАЗРАБОТКИ
НЕФТЯНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ

СВЕРДЛОВСК

П-161 П 96528
Ин-т экологии растений и животных.
Труды. Вып. 124.
Свердловск, 1979. 1-00

П 96528

А. А. ОБОРИН, В. К. КОРОЛЕВ,
М. В. БЕРДИЧЕВСКАЯ, Г. В. ПОСТОНОГОВА

СОВРЕМЕННЫЕ ЗАДАЧИ НЕФТЯНОЙ МИКРОБИОЛОГИИ

Впервые термин «нефтяная микробиология» введен в научную литературу американским микробиологом и биохимиком Эрнстом Бирштехером в 1954 г. [1]. Им впервые определены и сформулированы основные задачи и пути развития этой новой отрасли микробиологии, отличающейся спецификой предмета исследований, а именно — микроорганизмов, экологически связанных с нефтяными углеводородами как в природных процессах, так и в искусственных, лабораторных и промышленных условиях.

В настоящее время нефтяная микробиология как за рубежом, так и в Советском Союзе — быстроразвивающаяся отрасль науки, решающая важнейшие вопросы, связанные с синтезом белковых продуктов, охраной окружающей среды, с поисками и разработкой нефтяных месторождений.

Наибольшие успехи и развитие достигнуты в вопросах синтеза белка, — получение биомассы в результате ассимиляции микроорганизмами нефтяных углеводородов парафинового ряда. Нефть и природный газ — самые дешевые виды минерального сырья для этих целей и важнейшие потенциальные источники пищевых продуктов. Поэтому вопросам промышленного синтеза белковых продуктов за счет усвоения углеводородов нефти некоторыми видами углеводородокисляющих бактерий и дрожжей уделяется сейчас большое внимание.

Первым в Советском Союзе производство кормового белка из нефти начал Уфимский завод белково-витаминных концентратов. Опыт уральских нефтяников и микробиологов использован при проектировании и строительстве ряда других крупных биокombинатов по производству кормовых белков на основе утилизации нефтяных углеводородов парафинового ряда дрожжами из рода *Candida*, которые войдут в строй действующих в текущей пятилетке. Это обеспечит значительный рост кормового белка для нужд сельского хозяйства, послужит делу укрепления

УДК 576.8

Геомикробиология поиска и разработки нефтяных месторождений. Сб. статей. Свердловск, 1979 (УНЦ АН СССР).

В сборнике представлены материалы по изучению микрофлоры почв, грунтов, поверхностных и подземных вод в связи с поисками и разработкой нефтяных и газовых месторождений.

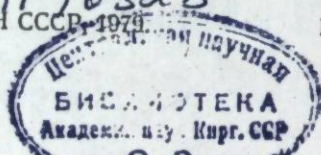
Приведены данные о геохимической деятельности микроорганизмов, характеристика процессов бактериальной сульфатредукции и оценка роли углеводородокисляющих микроорганизмов в природных процессах биodeградации нефти, метана и его гомологов. Рассмотрены перспективные направления нефтяной микробиологии — газобактериальная съемка по снежному покрову, новые иммунологические методы индикации углеводородокисляющих бактерий и оценки роли дисгенетических факторов нефтяных загрязнений на бактериальных тест-системах. Изложены результаты применения газобактериальных методов поисков в различных регионах Советского Союза.

Материалы сборника представляют интерес для специалистов в области геологической, водной и почвенной микробиологии, геохимии углеводородов, нефтепоисковой геохимии, нефтепромышленной геологии и охраны окружающей среды.

Ответственные редакторы
В. Н. Большаков, В. П. Коробов

© УНЦ АН СССР, 1979

Г 21007—929
055(02)7 15—1979.



4) выделением бактериями поверхностно активных веществ (детергентов), вызывающих уменьшение величины поверхностного натяжения в породах; 5) механическим вытеснением пленок нефти, обволакивающих зерна породы, микроорганизмами, имеющими родство с твердыми поверхностями.

Полевые опыты проводились в США, ГДР, Венгрии, Польше. В Советском Союзе опыт закачки накопительной культуры с мелассой в нефтеносный пласт осуществлен в 1958 г. на одном из месторождений Поволжья. Однако, ввиду недоучета экологических условий взаимоотношения природного биоценоза и введенной в пласт культуры, а также ряда геологических особенностей расположения разведочных скважин, в результате этих опытов были получены малоэффективные результаты. Существенным недостатком при проведении опытов явилось отсутствие измерительной аппаратуры для контроля за интенсивностью и направленностью процессов развития микроорганизмов в пластовых условиях.

Современный уровень изученности микроорганизмов, способных ассимилировать углеводороды и другие органические соединения нефти в лабораторных и природных условиях, для которых углерод и сера — основные энергетические и структурные элементы, а также литотрофных микроорганизмов, поддерживающих свою жизнедеятельность за счет частичного усвоения водорастворенных солей подземных вод — карбонатов, сульфатов, неорганических субстратов вмещающих пород — коллекторов, или попутного растворения последних продуктами метаболизма [1, 4, 5], позволяет утверждать теоретическую возможность осуществления технологического процесса интенсификации нефтедобычи и повышения коэффициента нефтеотдачи пласта за счет жизнедеятельности микрофлоры в пластовых условиях. Однако недостаточная изученность видового состава микрофлоры пластовых вод разнообразных природных микробных биоценозов, процессов изменения их видового состава при изменении природного равновесия, связанных с добычей нефти, закачкой вод и так далее, а также многоступенчатость биохимических процессов разложения углеводородов нефти разными группами микроорганизмов, осложняющаяся разнообразием химического состава нефти и природных вод, и другие обстоятельства и процессы обуславливают необычайную сложность осуществления устойчивого процесса в желаемом направлении. Это усугубляется еще отсутствием современных технических средств и методик непрерывного наблюдения и регулирования характера взаимодействия в пластовых условиях многофакторной системы субстрат — микробный биоценоз — окружающая среда — продукты метаболизма, работающей в замкнутом цикле и характеризующейся значительной неустойчивостью и изменчивостью каждого члена. Естественно, что моделирование такой системы — не менее сложная задача.

Очевидно, именно этими обстоятельствами во многом можно объяснить неудачи и малую эффективность выполненных и ведущихся в настоящее время экспериментальных работ на природных объектах. Эмпирический путь решения проблемы методом «проб и ошибок» без выяснения сущности и закономерностей происходящих при этом процессов едва ли позволит успешно ее решить. Только основываясь на всестороннем знании видового состава, морфолого-физиологических особенностей отдельных групп бактерий природных биоценозов и их взаимоотношений с вводимыми в пласт культурами в различных экологических условиях обитания, сущности и направленности биохимических процессов, характера продуктов метаболизма и так далее, очевидно, возможно будет разрабатывать свой подход, свою методику и комплекс технолого-микробиологических решений для конкретных гидрохимических, литолого-фациальных, структурно-геологических и геохимических условий нефтяных месторождений. Без учета всех факторов эту проблему решить нельзя. Это очевидно уже сейчас. Так, известно, что пластовые условия часто при наличии сульфат-иона в воде являются своеобразной экологической нишей для сульфатвосстанавливающих бактерий. Активизация их деятельности при эксплуатации месторождений вызывает интенсивную генерацию сероводорода и ведет к возникновению агрессивной среды, коррозии металлоконструкций на нефтепромыслах, повышению сернистости нефти, возникновению токсических продуктов и другим нежелательным последствиям. Разработка экономически эффективных методов подавления сульфатредукции остается нерешенной проблемой нефтепромысловой геологии. Недоучет этого фактора явился причиной неудач при закачке некоторых культур с мелассой в нефтяной пласт. Не исключена вероятность наличия экологических ниш и для других групп бактерий.

Для успешного решения рассматриваемой проблемы, по нашему мнению, необходима организация фундаментальных комплексных исследований природных микробных биоценозов пластовых вод нефтяных месторождений, их экологии, биохимического механизма процессов в пластовых условиях, направленной селекции полезных штаммов, адаптированных к этим условиям и др. Специфичность объекта исследований — преимущественно это анаэробы, автотрофные хемосинтетики, характеризующиеся своеобразием биохимических процессов массо- и энергообмена, широтой диапазона экологических условий существования (термо-, баро-, галофилы) — вызывает необходимость разработки в ряде случаев специфических методов исследований, специальной аппаратуры для дистанционного наблюдения за жизнедеятельностью в природных условиях, для отбора герметизированных стерильных глубинных проб и т. д. Все эти и многие другие возникающие вопросы требуют сосредоточения усилий в специализированных организациях высоко-

4) выделением бактериями поверхностно активных веществ (детергентов), вызывающих уменьшение величины поверхностного натяжения в породах; 5) механическим вытеснением пленок нефти, обволакивающих зерна породы, микроорганизмами, имеющими родство с твердыми поверхностями.

Полевые опыты проводились в США, ГДР, Венгрии, Польше. В Советском Союзе опыт закачки накопительной культуры с мелассой в нефтеносный пласт осуществлен в 1958 г. на одном из месторождений Поволжья. Однако, ввиду недоучета экологических условий взаимоотношения природного биоценоза и введенной в пласт культуры, а также ряда геологических особенностей расположения разведочных скважин, в результате этих опытов были получены малоэффективные результаты. Существенным недостатком при проведении опытов явилось отсутствие измерительной аппаратуры для контроля за интенсивностью и направленностью процессов развития микроорганизмов в пластовых условиях.

Современный уровень изученности микроорганизмов, способных ассимилировать углеводороды и другие органические соединения нефти в лабораторных и природных условиях, для которых углерод и сера — основные энергетические и структурные элементы, а также литотрофных микроорганизмов, поддерживающих свою жизнедеятельность за счет частичного усвоения водорастворенных солей подземных вод — карбонатов, сульфатов, неорганических субстратов вмещающих пород — коллекторов, или попутного растворения последних продуктами метаболизма [1, 4, 5], позволяет утверждать теоретическую возможность осуществления технологического процесса интенсификации нефтедобычи и повышения коэффициента нефтеотдачи пласта за счет жизнедеятельности микрофлоры в пластовых условиях. Однако недостаточная изученность видового состава микрофлоры пластовых вод разнообразных природных микробных биоценозов, процессов изменения их видового состава при изменении природного равновесия, связанных с добычей нефти, закачкой вод и так далее, а также многоступенчатость биохимических процессов разложения углеводородов нефти разными группами микроорганизмов, осложняющаяся разнообразием химического состава нефти и природных вод, и другие обстоятельства и процессы обуславливают необычайную сложность осуществления устойчивого процесса в желаемом направлении. Это усугубляется еще отсутствием современных технических средств и методик непрерывного наблюдения и регулирования характера взаимодействия в пластовых условиях многофакторной системы субстрат — микробный биоценоз — окружающая среда — продукты метаболизма, работающей в замкнутом цикле и характеризующейся значительной неустойчивостью и изменчивостью каждого члена. Естественно, что моделирование такой системы — не менее сложная задача.

Очевидно, именно этими обстоятельствами во многом можно объяснить неудачи и малую эффективность выполненных и ведущихся в настоящее время экспериментальных работ на природных объектах. Эмпирический путь решения проблемы методом «проб и ошибок» без выяснения сущности и закономерностей происходящих при этом процессов едва ли позволит успешно ее решить. Только основываясь на всестороннем знании видового состава, морфолого-физиологических особенностей отдельных групп бактерий природных биоценозов и их взаимоотношений с вводимыми в пласт культурами в различных экологических условиях обитания, сущности и направленности биохимических процессов, характера продуктов метаболизма и так далее, очевидно, возможно будет разрабатывать свой подход, свою методику и комплекс технолого-микробиологических решений для конкретных гидрохимических, литолого-фациальных, структурно-геологических и геохимических условий нефтяных месторождений. Без учета всех факторов эту проблему решить нельзя. Это очевидно уже сейчас. Так, известно, что пластовые условия часто при наличии сульфат-иона в воде являются своеобразной экологической нишей для сульфатвосстанавливающих бактерий. Активизация их деятельности при эксплуатации месторождений вызывает интенсивную генерацию сероводорода и ведет к возникновению агрессивной среды, коррозии металлоконструкций на нефтепромыслах, повышению сернистости нефти, возникновению токсических продуктов и другим нежелательным последствиям. Разработка экономически эффективных методов подавления сульфатредукции остается нерешенной проблемой нефтепромысловой геологии. Недоучет этого фактора явился причиной неудач при закачке некоторых культур с мелассой в нефтяной пласт. Не исключена вероятность наличия экологических ниш и для других групп бактерий.

Для успешного решения рассматриваемой проблемы, по нашему мнению, необходима организация фундаментальных комплексных исследований природных микробных биоценозов пластовых вод нефтяных месторождений, их экологии, биохимического механизма процессов в пластовых условиях, направленной селекции полезных штаммов, адаптированных к этим условиям и др. Специфичность объекта исследований — преимущественно это анаэробы, автотрофные хемосинтетики, характеризующиеся своеобразием биохимических процессов массо- и энергообмена, широтой диапазона экологических условий существования (термо-, баро-, галофилы) — вызывает необходимость разработки в ряде случаев специфических методов исследований, специальной аппаратуры для дистанционного наблюдения за жизнедеятельностью в природных условиях, для отбора герметизированных стерильных глубинных проб и т. д. Все эти и многие другие возникающие вопросы требуют сосредоточения усилий в специализированных организациях высоко-

квалифицированных специалистов: геологов, микробиологов, биохимиков, технологов; координации планов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ специализированным Научным советом по проблеме в системе Академии наук СССР.

Познание сущности биохимического механизма расщепления углеводов нафтено-ароматического ряда и расшифровка генетического кода, управляющего процессами расщепления нефтяных углеводов на уровне достижений современной молекулярной биологии, возможно, позволят в будущем разработать теоретические основы принципиально новых технологических процессов «мягкого» крекинга нефти.

В перспективе микробиологический метод в комплексе с другими можно будет применять и для разработки битуминозных сланцев бесшахтным способом, запасы углеводов в которых велики¹, а также для решения многих других вопросов разработки нефтяных месторождений. Например, как отмечалось, большой практический интерес представляет проблема предотвращения различных побочных отрицательных процессов и явлений, связанных с жизнедеятельностью бактерий, возникающих при разработке нефтяных месторождений. Активизация жизнедеятельности некоторых видов сульфатредуцирующих бактерий в связи с закачкой воды в пласт для поддержания пластового давления и интенсификации добычи нефти приводит к образованию сероводорода, что вызывает ухудшение качества нефти и газа, активную коррозию оборудования, снижает фильтрационные способности коллекторов и проницаемость пластов вследствие отложения вторичного кальцита и сульфидов железа.

Решение проблемы состоит в разработке наиболее эффективных средств подавления жизнедеятельности бактерий. Пока наиболее эффективными ингибирующими реагентами признаны различные органические вещества, среди которых наибольшей эффективностью обладают фенилртутный лактат, формальдегид и др. [6]. Широкое использование их в промышленных масштабах сдерживается по экономическим причинам. Разработка вопросов данной проблемы ведется в Институте микробиологии АН СССР и в ряде других отраслевых институтов Ленинграда, Баку, Уфы, Перми, Куйбышева, Ухты.

Сложность решения данной проблемы, как и проблемы интенсификации нефтеотдачи, состоит в слабой изученности природных микробных биоценозов, их экологии, видового состава и т. д. Знание этих вопросов позволило бы подойти к решению проблемы не только путем поисков ингибиторов, но и путем разработки комплекса биологических, биохимических и биофизических факторов для подавления жизнеспособности не-

желательных форм бактерий. Очевидно, для каждого нефтегазового комплекса будет характерен и специфичный микробный биоценоз, отличающийся особенностями экологических связей, видового состава и т. д. Поэтому методика воздействия на пласт не может быть единой для всех условий и регионов.

Важная проблема нефтяной микробиологии — охрана окружающей среды. Весомый вклад в решение этой сложной экологической проблемы должна внести и нефтяная микробиология. Круг ее вопросов широк: от установления количественной роли микроорганизмов в природных циклах круговорота углеводов в биосфере до разработки практических высокоэффективных мер по ликвидации загрязнения почв, водоемов и атмосферы сырой нефтью и нефтепродуктами.

Промышленные стоки нефтеперерабатывающих предприятий и нефтепромыслов — один из основных источников загрязнения среды. Существующие способы очистки сточных вод от нефтяных углеводов, в том числе и биологический, еще недостаточно эффективны. Большие трудности представляет очистка от различных органических соединений (фенолов, жирных кислот) и углеводов нефти ароматического ряда. Наблюдения показывают, что химических соединений, совершенно не разлагающихся под воздействием тех или иных видов микроорганизмов, не существует. Известно более 200 форм микроорганизмов, ассимилирующих фенолы и их производные, ацетон, бензин, асфальт, дизельные топлива, смазки и другие нефтепродукты. В Японии фенольные сточные воды используются для выращивания кормовых дрожжей, в Западной Германии полиэтиленовые водопроводные трубы были разрушены почвенными микробами. Статистически доказано, что более 60% испорченных нефтепродуктов приходит в негодность при хранении в результате биохимических процессов и жизнедеятельности микроорганизмов. Однако сырая нефть и тяжелые ароматические углеводороды — не очень благоприятная пища для известных групп микроорганизмов. Следовательно, первоочередная задача нефтяной микробиологии — отыскание и селекция активных штаммов, окисляющих сырую нефть и тяжелые углеводороды ароматического и нафтенового ряда, которые возможно будет использовать для биологической очистки почвы, сточных и поверхностных вод от нефтяных загрязнений. Существенным преимуществом микробиологического способа очистки от нефтяных загрязнений по сравнению с физико-химическими методами является его экологическая безупречность.

Большой теоретический интерес представляет экологический аспект в изучении микроорганизмов, участвующих в природных процессах окисления и синтеза углеводов, количественная оценка этих процессов в природе с целью установления потенциальных возможностей самоочистки биосферы, научно обоснованных критериев опасных концентраций этих, часто канцеро-

¹ Запасы битумов в нижнепермских отложениях только в пределах «старых» нефтедобывающих районов «Второго Баку» — Татарии, Башкирии, Куйбышевской области — составляют более 20 млрд. т.

генных, веществ, возникающих в процессе техногенеза. «Надо вскрыть законы, которым подчиняется развитие биосферы, настойчиво разрабатывать систему ведения хозяйства, которая позволяла бы сочетать интересы развивающейся промышленности с интересами сохранения оптимальной природной среды» [7, с. 3]. Лишь только после создания общей теории биогеоценозов наступит «время переходить от пассивной «охраны природы» к созданию оптимальной природной среды — биогеоценозов, способных к саморегулированию в мире, измененном и изменяемом человеком» [8, с. 11].

Для создания «хорошей» теории необходимо накопление большого фактического материала по характеристике многообразных факторов биогеоценозов. Необходима организация систематических комплексных экологических наблюдений, включающих изучение микробных биоценозов и продуктов метаболизма в природных условиях на базе существующих биостанций и создание сети опорных биостанций для каждой ландшафтно-климатической зоны Уральского региона — от арктической до степной. Уральский меридиан с продолжением в Казахстане и Средней Азии может в этом отношении служить эталоном для характеристики всех географических зон Советского Союза.

Специфическую отрасль нефтяной микробиологии составляет нефтепоисковая микробиология, основанная в Советском Союзе Г. А. Могилевским. Им установлена возможность использования ряда видов углеводородокисляющих бактерий в качестве индикаторного признака при поисках залежей нефти и газа [9]. Опыт применения водной и грунтовой газобиохимической съемки в ряде нефтегазоносных регионов Советского Союза, в том числе и в Пермском Предуралье, показал широкие возможности использования его на этапе рекогносцировочных нефтепоисковых исследований [10]. В настоящее время под руководством ВНИИЯГГа такие работы проводятся во многих районах Советского Союза.

Безусловно, что они в комплексе с другими прямыми геохимическими и геофизическими методами позволят повысить геолого-экономическую эффективность нефтепоисковых работ. Ближайшей задачей нефтепоисковых геомикробиологических исследований, помимо отработки рационального комплекса для ландшафтно-геохимических условий в конкретных районах, является усовершенствование методики и аппаратуры для комплексных газобиохимических исследований с отбором герметизированных проб керн и флюидов в процессе бурения, создание передвижных лабораторий для ведения биогеохимических исследований в полевых условиях, разработка новых методических приемов для экспрессных определений индикаторных форм углеводородокисляющих микроорганизмов и комплексных методов математической обработки данных с использованием ЭВМ. Но-

вые возможности открываются перед нефтепоисковыми геомикробиологами в связи с установлением информативности газобиохимической съемки по снежному покрову [11].

Таким образом, новая отрасль геологической микробиологии, возникшая на грани двух наук — микробиологии и геологии нефти, дала толчок к формированию принципиально новой отрасли производства для решения самой злободневной проблемы — проблемы синтеза белка из непищевых продуктов. А в качестве очередной поставлена задача обеспечить сырьем на ближайшую перспективу ведущие отрасли промышленности — энергетику, транспорт и химию — путем разработки новых методов наиболее рационального использования природных ресурсов нефти как за счет повышения коэффициента нефтеотдачи пластов при разработке месторождений, так и за счет полной утилизации отходов нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Э. Бирштехер. Нефтяная микробиология. М., Гостоптехиздат, 1957.
2. Материалы XXV съезда КПСС. М., Политиздат, 1976.
3. J. Karaskiewicz. Zastosowanie metod microbiologicznych w intensyfikacji eksploatacji Karpackien złóż ropy naftowej-Wydawnictwa "Slack". Katowice, 1974.
4. С. И. Кузнецов, М. В. Иванов, Н. Н. Ляликова. Введение в геологическую микробиологию. М., Изд-во АН СССР, 1962.
5. Г. А. Заварзин. Литотрофные микроорганизмы. М., «Наука», 1972.
6. Е. П. Розанова, С. И. Кузнецов. Микрофлора нефтяных месторождений. М., «Наука», 1974.
7. С. С. Шварц. Правда, 1975, 28 октября, с. 3.
8. С. С. Шварц. Знание — сила, 1976, № 9, с. 11.
9. Г. А. Могилевский. Способ разведки нефтяных и газовых месторождений. Бюлл. изобретений, 1939, 6.
10. Г. А. Могилевский, Е. В. Стадник, А. Г. Габриэлян и др. Докл. по геохимическим и химико-физическим вопросам разведки и добычи нефти и газа, т. 1. Геохимия. Будапешт, ОГИЛ, 1973, с. 120.
11. Г. А. Могилевский, Ф. А. Алексеев, К. П. Токарев и др. Бюлл. изобретений, 1970, 15, 8.

Е. П. РОЗАНОВА

**ИНТЕНСИВНОСТЬ СУЛЬФАТРЕДУКЦИИ
В ЗАВОДНЯЕМЫХ КАРБОНАТНЫХ
НЕФТЯНЫХ КОЛЛЕКТОРАХ**

Исследованиями советских и зарубежных ученых установлено, что искусственное заводнение нефтяных пластов поверхностными водами приводит к развитию в них биогенных процессов сульфатредукции и образованию H_2S [1]. Эти процессы распространяются в нефтяных коллекторах разного типа — терригенных [2, 3] и карбонатных [4, 5] — при заводнении их внутрь контура нефтеносности и при длительном нагнетании вод из-за контура.

В связи с выяснением механизма развития сульфатредукции в заводняемых пластах было предпринято выявление очагов возникновения процесса и основных факторов заводнения, регулирующих скорость его распространения.

В. А. Кузнецова и А. Д. Ли [6] показали, что развитие сульфатвосстанавливающих бактерий начинается в призабойных зонах внутриконтурных нагнетательных скважин терригенных коллекторов. Эта же закономерность прослеживается для карбонатных коллекторов [5, 7, 8]. Наши исследования позволили предположить, что зонами образования H_2S при законтурном заводнении карбонатных коллекторов являются участки внутри контура нефтеносности, приближенные к зонам нагнетания [9].

Скорость возникновения сульфатредукции в первичном очаге зависит от количества нагнетаемой воды, поглощенной коллекторскими породами [6]. При исследовании терригенных коллекторов было выяснено, что заводнение способствует привнесению сульфатвосстанавливающих и других бактерий в нефтяные пласты, обогащению пластовых вод сульфатами, забывлению пластовых рассолов, характеризующихся бактериостатическим действием, и тем самым благоприятствует сульфатредукции. Эти факторы активизируют образование сероводорода и в карбонатных коллекторах [3, 8, 10—12].

Нами обнаружено, что температурные пределы развития сульфатвосстанавливающих бактерий обеспечивают их широкое рас-

пространение в осадочной толще. Чистые культуры этих бактерий развивались в широком диапазоне температур — от 2 до 85°C [13, 14].

Факторами, регулирующими скорость развития сульфатредукции, могут быть также количество биогенных элементов, окислительно-восстановительная обстановка, количество доступного субстрата.

Проведенное нами сравнительное изучение терригенных и карбонатных коллекторов Пермской области показало, что возникновение анаэробной обстановки в заводняемых пластах — один из важных факторов, обуславливающих быстроту распространения процессов сульфатредукции. Было установлено, что исходный H_2S , растворенный в рассолах карбонатных коллекторов, способствует созданию анаэробной обстановки и быстрому распространению вторичной биогенной сульфатредукции в зонах, прилегающих к зонам нагнетания [5, 7].

Изучение гидрохимического состава вод, извлеченных из заводняемых карбонатных коллекторов Пермской области, позволило выяснить, что количество биогенных элементов практически не лимитировало развитие в пластах сульфатредукции [9].

В настоящей работе рассматривается влияние на сульфатредукцию одного из основных регулирующих факторов — наличия доступного растворенного субстрата. Основой для расчета количества субстрата послужили данные по интенсивности сульфатредукции в изолированных пробах пластовых вод.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом для изучения служили воды, поступающие из карбонатных нефтяных коллекторов верейского горизонта и башкирского яруса каменноугольных отложений Полазненского месторождения Пермской области. С 1955 г. осуществляется законтурное заводнение месторождения слабоминерализованными подземными водами. Характеристика коллекторов дана в одной из наших работ [9]. В ней же можно найти сведения за 1972 г. о гидрохимическом составе, содержании биогенных элементов и сульфат-восстанавливающих бактерий в водах, извлеченных эксплуатационными скважинами. В настоящей статье представлены материалы исследования воды из тех же скважин за 1971 г. Отметим, что количество H_2S , сульфатвосстанавливающих бактерий и общая минерализация в пробах вод, извлекаемых одними и теми же скважинами, несколько колеблется по годам.

Общую минерализацию и ионный состав определяли по А. А. Резникову с соавторами [15], H_2S — йодометрическим титрованием. Определение интенсивности сульфатредукции проводили путем измерения радиоактивности сульфидной серы, образовавшейся из меченого по сере сульфата, по методу, описан-

Таблица 1

Состав воды из заводняемых карбонатных коллекторов
Полазненского месторождения

№ скв.	Минерализация, г/л	Насыщенность рас- сола, отн. %	[SO ₄ ²⁻ , мг/л	H ₂ S, мг/л		Колич. суль- фатовосста- навливающих бактерий в 1 мл
				суммар- ный	доля со- временного	
Закачиваемая вода						
Артезианская	0,37	0	108	0	0	10 ¹
Вода из пласта промежуточной солености						
380	1,87	—	1175	0,7*	0,7	10 ³
64	18,49	7,0	1207	9,5	8,9	10 ³
25	31,52	11,7	638	49,9	44,1	10 ⁴
74	55,11	21,4	1857	90,0	70,8	10 ⁴
68	72,23	25,8	972	67,2	49,9	10 ³
Пластовый рассол						
38	265,96	100	521	168,2	0	0

* Весь H₂S, вновь образованный (исходный H₂S, приходящийся на долю рассола, окислен).

ному В. И. Романенко и С. И. Кузнецовым [16]. В воду, помещенную в склянки объемом 100 мл, на месте отбора добавляли 0,5 г молочнокислого натрия и 1 мл раствора Na₂³⁵SO₄. Пробы инкубировали при комнатной температуре 1 и 30 суток и затем H₂S фиксировали раствором уксуснокислого кадмия. Состав сред Постгейта «В» для выявления сульфатвосстанавливающих бактерий и минеральной среды с нефтью для углеводородокисляющих аэробов приведен В. И. Романенко и С. И. Кузнецовым [16]. При выращивании сульфатвосстанавливающих бактерий в среды добавляли пластовый раствор.

Долю вторичного биогенного H₂S в составе общего количества сероводорода рассчитывали, вычитая исходный H₂S, приходящийся на долю рассола в составе смеси. Процентное содержание рассола в водах промежуточной солености находили по методу Г. Ф. Мехтиева с соавторами [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Пластовые воды изученных коллекторов представлены хлоркальциевыми рассолами, обогащенными исходным сероводородом. Минерализация рассола, извлеченного скв. 38, составляла 265,96 г/л. Рассол содержал 521 мг/л SO₄²⁻ и 168,2 мг/л H₂S; сульфатвосстанавливающие и другие бактерии не обнаружены. Прирост H₂S в пробах рассола с меченым по сере сульфатом не наблюдался (табл. 1). Ранее проведенные исследования показали, что исходный сероводород коллекторов такого типа

может иметь биогенное происхождение, но образовываться позже.

Закачиваемая вода содержала 0,37 г/л солей, среди них 108 мг/л SO₄²⁻ (см. табл. 1). По данным анализов 1971 г., в 1 мл этой воды присутствовали десятки сульфатвосстанавливающих бактерий, 132·10³ гетеротрофов, развивающихся на мясо-пептонном агаре (МПА), и три десятка бактерий, развивающихся на минеральной среде в парах нефти. Попадая в пласт вместе с закачиваемой водой, эти микроорганизмы образуют биоценоз, способный разрушать нефть с выходом H₂S.

С целью выявления современных биогенных процессов сульфатредукции в зонах пластов, испытывающих влияние заводнения, мы анализировали пробы, представляющие смеси закачиваемой воды и пластового рассола.

Минерализация смешанных вод, извлеченных эксплуатационными скв. 64, 25, 74, 68 Полазненского месторождения, колебалась от 18,49 до 72,23 г/л. Воды были обогащены сульфатами от 638 до 1857 мг/л и сероводородом от 9,5 до 95 мг/л. Содержание H₂S возрастало по мере увеличения солености вод. Указанные смеси не содержали углеводородокисляющей и гетеротрофной микрофлоры. Количество сульфатвосстанавливающих бактерий, выявляемое на средах с 2% солей рассола, как правило, в этих водах не было велико: десятки — сотни клеток в 1 мл. Лишь в одной пробе из скв. 25 оно повышалось до 10⁶ в 1 мл (см. табл. 1).

Особый интерес представляло обследование первичных очагов возникновения сульфатредукции в коллекторах. Мы не имели возможности подобрать скважины Полазненского месторождения, расположенные в зонах развития аэробных углеводородокисляющих бактерий, поэтому воспользовались пробками воды из башкирского яруса аналогичного коллектора Ярино-Каменнолоожского месторождения¹, извлеченными внутриконтурной нагнетательной скв. 380. Вода имела минерализацию 1,87 г/л, содержала 1175 мг/л сульфатов и небольшое количество (0,7 мг/л) H₂S. Микрофлора воды из скв. 380 была представлена тысячами сульфатвосстанавливающих бактерий в 1 мл, 17·10³ углеводородокисляющих и 1,2·10³ гетеротрофов.

Расчеты (см. табл. 1) показывают, что значительная часть H₂S, растворенной в разбавленных водах карбонатных коллекторов Полазненского месторождения, является вторичной, вновь образованной. Аналогичные расчеты были проведены нами в 1972 г. [9]. Необходимо было получить данные, подтверждающие их.

Сравнительно небольшие количества сульфатвосстанавливающих бактерий, обнаруживающихся в разбавленных водах,

¹ Описание Ярино-Каменнолоожского месторождения дано нами ранее [4].

Таблица 2

Интенсивность сульфатредукции в пробах вод заводняемых карбонатных коллекторов Полазненского месторождения

№ скв.	Минерализация вод, г/л	Прирост H_2S в пробах с $Na_2^{16}SO_4$, мг/л		Кол-во пирувата за 30 суток, мг/л
		без лактата	с лактатом	
380	1,87	0,082*	0,369	25,468
		2,468	398,980	
		0,148	1,627	
64	18,49	Не опр.	249,304	1,628**
		0,130	0,212	
		0,312	221,265	
25	31,52	0,238	Не опр.	3,216
		4,575	275,340	
		0,146	0,113	
74	55,11	0,292	149,316	47,212
		0	0	
		0	0	
68	72,23	0	0	3,012
		0	0	
		0	0	
38	265,96	0	0	0
		0	0	
		0	0	

* В числителе — прирост за 1 сутки, в знаменателе — за 30.
 ** Данные за 1 сутки.

не коррелировали с содержанием современного биогенного H_2S и безоговорочно не могли служить доказательством активного развития современной сульфатредукции. Вывод о современном биогенном образовании H_2S нашел подтверждение в данных опытов по приросту H_2S в изолированных пробах разбавленных вод.

В условиях проведенных опытов прирост H_2S за одни сутки отражал активность сульфатовосстанавливающих бактерий в пробах, вызванную их количеством и жизнеспособностью, а также связанную с начальным окислительно-восстановительным потенциалом среды. Кроме того, в этих вариантах опытов, как и во всех других, сохранялась вероятность влияния общей минерализации вод. Сульфаты, как следует из табл. 2, присутствовали в избытке и не являлись лимитирующим фактором так же, как и биогенные элементы N и P [9].

В опытах по приросту H_2S за 30 суток исходные количества сульфатовосстанавливающих бактерий в пробах не могли влиять на конечный результат, так как время для размножения бактерий было неограниченным.

За 30 суток во всех пробах достигался благоприятный окислительно-восстановительный потенциал. Таким образом, в варианте по приросту H_2S за 30 суток без добавления лактата сульфатредукция регулировалась двумя факторами: количеством эндогенного субстрата и минерализацией. Результаты, полученные в этом варианте опытов, позволяли выявить потенциальные

возможности образования H_2S в изолированных пробах за счет использования микроорганизмами эндогенного субстрата (по-видимому, в пласте микробиологические процессы развиваются медленнее, чем в изолированных пробах, из-за неравномерности микроразноличия распределения бактериального населения).

Прирост H_2S за 30 суток в склянках с лактатом свидетельствовал о максимальных возможностях накопления сероводорода при неограниченном количестве субстрата. Следовательно, в этом варианте опытов минерализация выступала в качестве основного фактора, регулирующего процесс.

Данные табл. 2 показывают, что прирост H_2S во всех четырех вариантах опытов имеет общую тенденцию к снижению по мере повышения минерализации. Исключение составляет повышенный прирост H_2S в пробах из скв. 74, призабойная зона которой перед этим подвергалась соляно-кислотной обработке. Вода из этой скважины характеризуется повышенным содержанием SO_4^{2-} и H_2S (см. табл. 1).

Величина прироста H_2S за первые сутки, характеризующая активность сульфатовосстанавливающих бактерий, в пробах вод без лактата из скв. 64, 25 и 68 составляла близкие значения: 0,15—0,2 мг/л. В воде из нагнетательной скв. 380 интенсивность образования H_2S была примерно в два раза ниже, чем в других пробах. Объяснение этому факту можно найти при рассмотрении окислительно-восстановительных условий: исходная величина H_2S в воде этой пробы, равная 17,2, не была благоприятна для сульфатредукции. Снижение потенциала достигалось через некоторый период времени, в течение которого сульфатредукция не развивалась.

Аналогичное объяснение применимо к суточному приросту в пробе с лактатом. Как видно из табл. 2, лактат несколько активизирует жизнедеятельность сульфатовосстанавливающих бактерий за первые сутки. Максимальное значение интенсивности прироста H_2S в пробе с лактатом из скв. 64 (1,627 мг/л), по-видимому, объясняется оптимальным для бактерий солевым составом вод.

За 30 суток прирост H_2S в пробах без лактата увеличивался по сравнению с приростом за одни сутки от 0,3 до 4,5 мг/л. Повышенной интенсивностью сульфатредукции, помимо воды, извлеченной скв. 74, характеризовалась вода из внутриконтурной нагнетательной скв. 380. Прирост H_2S составил в этой пробе 2,468 мг/л.

Добавление лактата в пробы вод интенсифицировало прирост H_2S за 30 суток в тысячи раз. Этот факт подтверждает сделанный нами ранее вывод об отсутствии лимитирующего влияния источников N и P на распространение сульфатредукции в изученных пластовых водах.

Обращает на себя внимание закономерное снижение прироста H_2S по мере увеличения минерализации воды в пробах

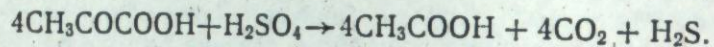
с лактатом за 30 суток (за исключением данных по скв. 74). Как было сказано, единственной причиной, обуславливающей такое явление в данном варианте опытов, может служить солевой состав вод.

Сравнение данных по интенсивности прироста H_2S за 30 суток в двух вариантах опыта позволяет прийти к выводу, что основной фактор, лимитирующий сульфатредукцию в пластовых водах, — недостаток субстрата для сульфатвосстанавливающих бактерий.

Касаясь вопроса о природе субстрата, использующегося в процессе сульфатредукции в нефтяном пласте, надо указать, что сульфатовосстанавливающие бактерии не могут развиваться за счет окисления углеводородов нефти. Субстратом для них могут служить окисленные соединения типа оксикислот и спиртов.

Данные по приросту H_2S в склянках без лактата за 30 суток, выявляющие потенциальные возможности сульфатредукции в пробе, были использованы для количественных расчетов растворенного в водах окисленного органического субстрата. В качестве усредненного субстрата был выбран пируват. Это соединение образуется как промежуточный продукт при расщеплении ароматических субстратов углеводородокисляющими бактериями [18].

Использование пирувата сульфатвосстанавливающими бактериями протекает по реакции



Таким образом, одна молекула H_2S возникает при использовании четырех молекул пирувата. Воспользовавшись этим расчетом, получаем величины содержания гипотетического «пирувата» в пластовой воде 1,6—47,2 мг/л (см. табл. 2). В воде скв. 380 и 74 обнаруживаются наибольшие ресурсы субстрата. Повышенный запас субстрата в пробе из скв. 74, по-видимому, связан с обогащением воды окисленным органическим веществом в результате соляно-кислотной обработки призабойной зоны. Аналогичная зона скв. 380 является первичным очагом генерации окисленного субстрата.

Приведенные материалы дают лишь ориентировочные указания на присутствие значительных количеств окисленного органического вещества в пластовых водах заводняемых коллекторов. Доказательства возникновения его в процессе заводнения были получены в результате анализов, данные которых будут приведены в последующих публикациях. Изложенные материалы позволяют сделать следующее заключение.

Подтверждается развитие процессов сульфатредукции в карбонатных коллекторах, обогащенных исходным сероводородом, подвергающихся длительному законтурному заводнению. На участках пластов, испытывающих влияние заводнения, обра-

зуется вторичный биогенный сероводород. Основной фактор, регулирующий скорость развития сульфатредукции в заводняемых пластах, — скорость образования доступного сульфатвосстанавливающим бактериям окисленного органического субстрата. Показателем наличия этих веществ и распространения сульфатредукции в нефтяных пластах служат данные по приросту H_2S в изолированных пробах вод.

В результате проведенных исследований заводняемые пласты карбонатных коллекторов можно представить как проточные системы со сменяющимися зонами — от аэробной к анаэробной, заселенные соответствующими сообществами микроорганизмов.

В зонах пластов, где растворенный кислород нагнетаемых вод имеет доступ к углеводородам, аэробные микроорганизмы вырабатывают окисленное органическое вещество. При внутриконтурном заводнении участками генерации окисленного субстрата являются призабойные зоны внутриконтурных нагнетательных скважин, в частности скв. 380, а в случае законтурного заводнения — приконтурные участки пластов.

При продвижении воды от зон нагнетания окисленный субстрат попадает в анаэробные зоны, обогащенные исходным сероводородом рассола, где начинается потребление этого субстрата в процессе сульфатредукции. В анаэробных зонах пластов с минерализацией, не превышающей 100—150 г/л, накапливающийся H_2S суммируется из образующегося на месте и мигрирующего с продвигающейся водой из подлежащих анаэробных зон. В Полазненском месторождении анаэробными зонами генерации H_2S служат участки призабойных зон скв. 64, 75, 74, 68. В зонах с минерализацией вод выше 100 г/л современный биогенный сероводород может быть полностью миграционным [4].

Таким образом, полученные данные согласуются с гипотезой В. А. Кузнецовой и В. М. Горленко [19, 20], объясняющей образование H_2S в заводняемом пласте в результате использования окисленного вещества, формирующегося в процессе окисления углеводородов растворенным в нагнетаемых водах кислородом. Скорость распространения сульфатредукции в изученных коллекторах должна регулироваться быстротой возникновения и миграции этого окисленного органического вещества.

Расчеты скорости распространения микробиологических процессов в заводняемых коллекторах затруднены, так как гидрохимические параметры пластов, представляющих проточные системы, меняются во времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. П. Розанова, С. И. Кузнецов. Микрофлора нефтяных месторождений. М., «Наука», 1974.
2. В. А. Кузнецова, А. Д. Ли. Микробиология, 1964, 33, 2, 314.
3. Е. П. Розанова, А. Талыблы, Е. В. Лебедева. Геохимическая деятельность микроорганизмов в озерах и месторождениях полезных ископаемых. М., «Наука», 1973, с. 65.

4. Е. П. Розанова, В. Н. Быков, А. Л. Балдина, Т. А. Косого-рова. Микробиология, 1973, 42, 2, 347.
5. Е. П. Розанова, В. Н. Быков, А. Л. Балдина. Труды Перм-НИПИнефть, 1975, 12, 234.
6. А. Д. Ли, В. А. Кузнецов. Нефтепромышленное дело, 1963, 9, 9.
7. Е. П. Розанова, А. Л. Балдина, В. Н. Быков, Т. А. Косого-рова. Микробиология, 1972, 41, 2, 362.
8. Е. П. Розанова, А. П. Балдина, В. Н. Быков, Т. А. Косого-рова. Микробиология, 1971, 40, 4, 718.
9. Е. П. Розанова, В. Н. Быков, А. Л. Балдина, Т. А. Косого-рова. Микробиология, 1976, 45, 2, 365.
10. В. А. Кузнецова, А. Д. Ли, Н. Н. Тифорова. Микробиология, 1963, 32, 3, 683.
11. В. А. Кузнецова, Е. С. Панцхава. Микробиология, 1962, 31, 1, 129.
12. В. А. Кузнецова. Микробиология, 1964, 33, 5, 1003.
13. Е. П. Розанова, А. И. Худякова. Микробиология, 1974, 43, 5, 1069.
14. Е. П. Розанова, Т. Н. Назина. Микробиология, 1976, 45, 1, 5.
15. А. А. Резников, Е. П. Муликовская, Ю. Ю. Соколов. Методы анализа природных вод. М., «Недра», 1970.
16. В. И. Романенко, С. И. Кузнецов. Экология микроорганизмов пресных водоемов. М., «Наука», 1974.
17. Г. Ф. Мехтиев, А. Р. Ахундов, Е. А. Ворошилов. Влияние искусственного заводнения на гидрохимию нефтяного пласта. Баку, «Маариф», 1969.
18. Е. П. Розанова. Успехи микробиологии, 1967, 4, 61.
19. В. А. Кузнецова, В. М. Горленко. Микробиология, 1965, 34, 2, 329.
20. В. М. Горленко, В. А. Кузнецова. Прикладная биохимия и микробиология, 1966, 2, 264.

Г. А. МОГИЛЕВСКИЙ, Е. В. СТАДНИК, А. А. ОБОРИН,
В. М. БОГДАНОВА, З. П. ТЕЛЕГИНА, М. С. ТОН

ГАЗОБАКТЕРИАЛЬНАЯ СЪЕМКА ПО СНЕЖНОМУ ПОКРОВУ — НОВЫЙ ВИД ПОИСКОВЫХ РАБОТ НА НЕФТЬ И ГАЗ

Газобактериальный комплекс методов поисков нефти и газа, впервые возникший в Советском Союзе в тридцатые годы [1, 2], в своем развитии претерпел значительную эволюцию. Первоначальным объектом исследований служили подпочвенные отложения и керны коренных отложений, в которых изучались углеводородные газы и бактерии, окисляющие метан, пропан и бутан [3—6]. Эти виды поисковых работ, широко применявшиеся в течение многих лет, сохраняют свое значение и в настоящее время, главным образом при проведении полудетальных съемок.

В середине сороковых годов были предложены методы изучения растворенных газов и бактериального населения подземных вод, дренируемых родниками, скважинами и глубокими колодцами, в качестве рекогносцировочных поисков нефти и газа [7].

В последующие годы газобактериальные съемки по водисточникам приобрели сравнительно широкое развитие в нашей стране, благодаря их невысокой стоимости и возможности обследования в короткие сроки обширных, еще неизученных территорий, перспективных на нефть и газ.

В конце шестидесятых годов газобактериальные поиски нефти и газа начали применять в шельфовой зоне морей по придонным водам и грунтам [8, 9].

Наконец, в те же годы возникла газобактериальная съемка по снежному покрову и мерзлому грунту, предложенная Г. А. Могилевским совместно с группой сотрудников ВНИИЯГГ (Ф. А. Алексеев, К. П. Токарев, М. С. Тон, Б. С. Черкинская, Н. В. Поршнева) в целях ее применения в районах средней полосы нашей страны и труднодоступных территорий Севера [10].

Газобактериальное изучение снежного покрова, как показавшее себя при проведении исследований [11], целесообразно сочетать с определением газовых компонентов и микрофлоры приземного воздуха.

Содержание УВ-газов в снежном покрове

Территория	Содержание УВ-газа, см ³		
	на 1 км ² снега	в 1 м снега	в 1 м снега на 1 км ²
Щелковское ПГХ	$3,3 \times 10^{-8}$	$3,3 \times 10^{-4}$	165
Шебелинское месторождение	$6,7 \times 10^{-8}$	$6,7 \times 10^{-4}$	335

Таким образом, газобактериальные методы поисков нефти и газа охватили все наиболее важные природные среды литосферы, гидросферы и атмосферы. Информативность и технические возможности каждого из упомянутых видов съемки находятся на различной стадии развития, однако уже теперь в достаточной мере определены принципиальные преимущества и недостатки каждого из них.

В чем практическое и теоретическое значение газобактериальной съемки по снежному покрову и мерзлому грунту?

Еще в начальный период развития газовой, а в дальнейшем бактериальной съемки предпринимались попытки определить количество газов, мигрирующих из газонефтяных залежей к дневной поверхности. Для этой цели применялись колпаки большого диаметра, снабженные отводной трубкой для отбора проб воздуха, которые задавливались в грунт [12]; глубокие шурфы, которые герметизировались с поверхности и опробовались после предварительной отстойки несколько раз в течение суток [2]; колпаки с трубкой, заполненной силикагелем, через которую прокачивался почвенный воздух [13]; наборы бактериальных культур, за развитием которых под влиянием мигрирующих углеводородов (УВ) велись наблюдения в специально оборудованных шурфах [14]. Все перечисленные способы дебитной съемки, однако не позволили определить теоретически обоснованные масштабы миграционного потока углеводородов над залежами нефти и газа.

Заслуживает внимания попытка В. А. Соколова дать ориентировочную цифру объема газа, проходящего через 1 км² дневной поверхности на площади одного из типичных нефтегазовых месторождений [12]. Дальнейшие исследования, как это будет показано ниже, указывают на необходимость существенного уточнения данных В. А. Соколова.

Газовая съемка по снежному покрову открывает новую возможность определять более обоснованно дебит мигрирующих газов над залежами нефти и газа по сравнению с ранее известными способами. При устойчивом снежном покрове, который обладает значительными сорбционными свойствами, большая часть мигрирующих углеводородов будет задерживаться в толще снега. Для определения их количества были использованы результаты газобиохимической съемки по снежному покрову, проведенные на площади Щелковского подземного газохранилища (ПГХ) под Москвой и Шебелинского газоконденсатного месторождения. За исходные данные принимали средние содержания УВ-газов, приходящихся на единицу объема снега (в данном случае на 1000 см³ или 1 л). Для пересчета количества газа на указанный объем снега средняя мощность снежного покрова была принята 0,5 м (характерная величина для таких площадей). Определяли количество УВ-газа, скапливающегося в снежном покрове на 1 км² при мощности 0,5 м (табл. 1).

В период существования в снежном покрове происходит накопление определенных объемов УВ-газов. Так, на территории Щелковского ПГХ на площади 1 км² аккумулируется в снежном покрове около 165 л УВ-газов, а на площади Шебелинского месторождения 335 л, т. е. почти в два раза больше. Приведенные ориентировочные цифры подтверждают мнение о значительных масштабах миграции УВ из залежей к дневной поверхности и возможности использования снежного покрова в зимний период как среды для проведения газобиохимических съемок.

Другое важное теоретическое положение, которое вытекает из результатов газовой съемки по снежному покрову, — обнаружение бактерий, окисляющих газообразные и жидкие углеводороды, в снежном покрове в зоне газовых аномалий.

Бактерии, окисляющие углеводороды с высокой интенсивностью развития, впервые были обнаружены в снежном покрове на площади Щелковского ПГХ (52 пробы), Шебелинского месторождения (59 проб) и Куюмбинно-Тохомской площади (48 проб, Красноярский край) — рис. 1.

На представленном графике обращает внимание резкое преобладание бактерий, окисляющих жидкие гомологи метана — пентан и гексан, независимо от районов съемки. Результаты исследований, выполненных микробиологами ВНИИЯГГа, показали, что эта группа микроорганизмов наиболее приспособлена к существованию в условиях низких температур.

При изучении вопроса о возможности развития углеводород-окисляющих бактерий в условиях минусовых температур опыты проведены с двумя штаммами гексаноокисляющих бактерий Т-4-100 и Т-14-80, которые были использованы в первых опытах 1976 г. Полученные результаты свидетельствуют о наличии роста бактерий вследствие окисления гексана при температуре ниже 0°.

Опыты проводили также в зимний период, когда средняя температура воздуха составляла —11°С, хотя в отдельные дни она опускалась до (—17) — (—27°). Штаммы упомянутых выше гексаноокисляющих бактерий смешивали в равных количествах и из смеси приготовили суспензию на минеральной среде, кото-

Динамика роста гексаноокисляющих бактерий при отрицательных температурах

Штаммы гексаноокисляющих бактерий	Продолжительность анализа, сутки	Интенсивность роста		Удельная скорость роста $V_{\text{ср}}$
		ед. опт. плотности	мг/л углерода биомассы	
Т-4-100	44	0,015	13,2	—
Т-14-80	7	0,022	21,6	0,0029
	27	0,040	22,8	0,00017
	14	0,040	21,6	0

Примечание. Под средней удельной скоростью роста ($V_{\text{ср}}$) подразумевается часовая прирост, пересчитанный на единицу растущей биомассы [15].



Рис. 1. График средней интенсивности развития углеводородокисляющей микрофлоры в снежном покрове на Шелковском газохранилище (а), Шебелинском газоконденсатном месторождении (б) и Куюмбинно-Тохомской площади (в).

1 — общая биогенность; 2 — бактерии, окисляющие пентан+гексан; 3 — бактерии, окисляющие метан+пропан.

рую помещали в сосуды из нержавеющей стали. Гексан в качестве единственного источника углерода вносили в количестве 0,01% от объема минеральной среды. В этом опыте о развитии бактерий судили по увеличению оптической плотности и углерода биомассы, которые замеряли после размораживания на 7, 14 и 27-е сутки.

Результаты, приведенные в табл. 2, и кривые, изображенные на рис. 2, указывают на наличие роста гексаноокисляющих бактерий при температуре ниже 0°, хотя цифровые данные свидетельствуют о достаточно слабом росте в условиях опыта.

Опыты по изучению выживаемости углеводородокисляющих бактерий при отрицательных температурах были поставлены с двумя штаммами бактерий, окисляющих метан (8 и 41), с двумя штаммами бактерий, окисляющих пропан (11-б и 152-17), и с двумя штаммами гексаноокисляющих бактерий (Т-14-80 и Т-41-100). Метаноокисляющие бактерии (штамм 8) были выделены из отложений нижнемелового возраста, отобранных с глубины свыше 2000 м в районе Азово-Кубанской впадины.

Результаты подсчета количества жизнеспособных клеток после выдерживания бактериальных культур в течение разных сроков при температурах ниже 0°C представлены на рис. 1. В связи с тем, что не наблюдалось существенной разницы в числе живых клеток у двух разных штаммов, использующих метан, пропан или гексан, на рис. 1 приводятся средние данные для обоих штаммов каждой из упомянутых групп бактерий.

В северных районах с постоянно низкой температурой развиваются не только психрофильные формы, но и мезофилы [16]. Известно также, что психрофилы сравнительно быстро могут адаптироваться и превращаться в мезофилов и наоборот [17]. Таким образом, литературные данные, относящиеся к другим видам бактерий [16], согласуются с результатами проведенных нами экспериментов с углеводородокисляющими микроорганизмами.

Один из нерешенных вопросов газобактериальной съемки по

снежному покрову — пути проникновения углеводородокисляющих бактерий в толщу снега. Возможно, что часть микроорганизмов из приземного слоя воздуха вместе с осадками попадает в снег и при благоприятных в нем условиях — поступления снизу углеводородных газов — остается жизнеспособным.

Другой вполне реальный путь — проникновение микроорганизмов в толщу снега при движении паров или почвенного воздуха через мерзлый грунт. Отбор проб снега с двух глубин, проводившийся на всех обследованных площадях, показывает, что в зоне газовых аномалий наибольшее количество случаев обнаружения углеводородных газов и окисляющих их микроорганизмов падает на пробы, отобранные из нижнего слоя [11]. На площади Шелковского подземного газохранилища бактериальная аномалия по снежному покрову приурочена к тому участку структуры, где метан и тяжелые углеводороды обнаружены в большей концентрации в нижнем слое снежного покрова по сравнению с верхним. Таким образом, подтверждается предположение, что второй путь проникновения бактерий в снежный покров существует в местах активного массопереноса.

Практическое значение газобактериальной съемки по снежному покрову подтверждается приуроченностью выявленных аномалий к продуктивным структурам, центральным участкам подземных газохранилищ и перспективным площадям.

Всего, начиная с декабря 1975 г. по март 1977 г., газобактериальные съемки по снежному покрову были выполнены силами сотрудников ВНИИЯГГ совместно с представителями других организаций на девяти различных объектах в объеме 488 точек с отбором 1270 проб.

В итоге проведенных исследований были получены следующие результаты.

1. В Ухтинском районе выявлены обширные зоны распространения углеводородных газов и бактерий, окисляющих метан

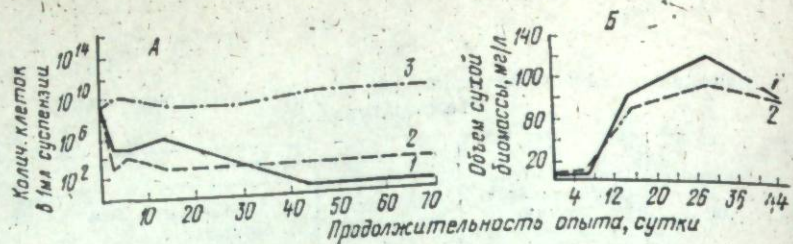


Рис. 2. Жизнедеятельность углеводородокисляющих бактерий при отрицательных температурах (-10°C).

А — выживаемость углеводородокисляющих бактерий: 1 — метанооксиляющих, 2 — пропанооксиляющих, 3 — гексанооксиляющих; Б — развитие гексанооксиляющих бактерий: 1 — штамм Т-4-100, 2 — штамм Т-14-80.

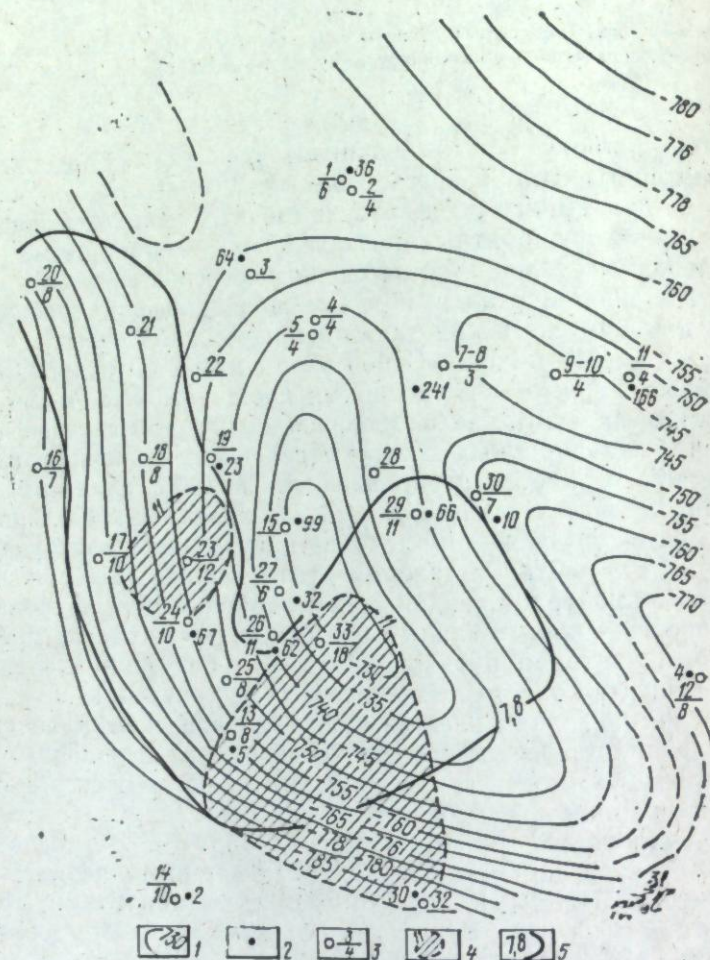


Рис. 3. Схематическая карта результатов газобактериальной съемки по снежному покрову на территории Щелковского ПГХ (по равнозначным градациям).

1 — изогипсы по кровле верхней песчаной пачки; 2 — скважины; 3 — точки отбора проб снега; в числителе — номер пункта, в знаменателе — значение усредненного показателя; 4, 5 — аномалийные зоны для нижнего (4) и верхнего (5) слоев снежного покрова.

и его гомологи на промысловых площадях Вой-Вож, Западный Тэбук, Нямедь. Газобактериальные аномалии оказались приуроченными к центральным участкам упомянутых площадей. В отдельных случаях сказывалась общая загазованность территории.

2. В районе Иркутского амфитеатра обследована площадь Атовского нефтяного месторождения. Зоны с аномальным содержанием углеводородов и бактерий, окисляющих метан, и его гомологи оказались расположенными в пределах контура нефтеносности месторождения.

3. Рекогносцировочные исследования на Сылвенском месторождении Камского Приуралья показали наличие углеводородных газов и углеводородокисляющей микрофлоры в середине зимнего сезона в контуре нефтеносности и распывание полученного эффекта в конце марта, в начале таяния снежного покрова.

4. На промысловой площадке Шебелинского газоконденсатного месторождения съемка по снегу выявила очаги распространения блуждающих газов на периферийных участках. Наибольшая по размерам газобактериальная аномалия обнаружена в центральной сводовой части структуры.

5. На Щелковском ПГХ значительное газобактериальное изучение снежного покрова было проведено зимой 1976 г. Установлено местоположение основных очагов распространения блуждающих газов и общие границы распространения газобактериальной аномалии по снегу, совпадающие в общих чертах с аналогичной аномалией, выявленной в 1973 г. по данным изучения подземных вод. В 1977 г. на площади Щелковского ПГХ была проведена повторная съемка по снежному покрову при более широком охвате окружающей территории. Полученные нами данные подтверждают результаты 1976 г. (рис. 3).

6. На Касимовской площади Рязанской области, подготовленной под закачку газа, газобактериальная съемка по снегу проведена с целью определения фоновых показателей по углеводородным газам и бактериям, окисляющим их. Аномальные участки по газам и микрофлоре не обнаружены.

7. В Удмуртии, на Кырыкмасском нефтяном месторождении, газобактериальная съемка по снежному покрову проводилась в пределах площади, ранее обследованной путем опробования скважин шнекового бурения. Результаты опробования снежного покрова по углеводородным газам подтвердили аномалию с 80%-ным совпадением аномалийных точек. Микробиологические исследования дали отрицательные результаты, очевидно, ввиду того, что посев производился только на средах с газообразными углеводородами.

8. В Красноярском крае съемка по снежному покрову проводилась на территории Куюмбинской фактории. Получены аномальные значения по газовым и бактериальным показателям вблизи Куюмбинского газоконденсатного месторождения и на

площади Усть-Камовского месторождения, открытого в период проведения съемки.

Анализ результатов газобиохимической съемки, выполненной на Куюмбинско-Тохомской площади, позволяет сделать следующие заключения. Участок северо-восточного окончания Шимковского купола, где выявлена аномалия по углеводородокисляющим бактериям, заслуживает внимания для проведения более детальных геохимических работ по водосточникам и скважинам неглубокого бурения. В районах южного окончания Верхнебугаринского купола и северного течения Подкаменной Тунгуски, где получены аномалии по углеводородокисляющей микрофлоре, необходимо провести дополнительную съемку по снежному покрову по более плотной сети с целью подтверждения полученных аномалий. Аномалии, выделенные по бактериям, являются более контрастными в сравнении с газовыми показателями.

Выводы

1. Доказана возможность выявления геохимических (газобактериальных) аномалий в различных геологических условиях путем отбора и анализа проб снега на газовый и бактериальный анализы.

2. Установлена целесообразность применения метода на площадях ПГХ в зимнее время для выявления и локализации очагов распространения блуждающих газов и мест их утечек.

3. Подтверждена желательность применения метода с газонефтепоисковой целью в труднодоступных районах Сибири и Приуралья.

4. Намечены методические теоретические вопросы, требующие дальнейшего изучения и постановки режимных наблюдений (механизм формирования газовых и бактериальных аномалий в снежном покрове, характер жизнедеятельности углеводородокисляющих бактерий при отрицательных температурах и др.).

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Соколов. Бюллетень нефтяного геологоразведочного института. № 1. М., 1933, с. 14.
2. Г. А. Могилевский. Разведка недр, 1938, 4—5, 18.
3. В. А. Соколов. Газовая съемка. М., ОНТИ, 1936.
4. Г. А. Могилевский. Разведка недр, 1940, 12, 32.
5. Г. А. Могилевский. Микробиологический метод поисков газовых и нефтяных месторождений. М., 1953 (ЦИМТнефть).
6. Э. Бирштехер. Нефтяная микробиология. М., Гостоптехиздат, 1957.
7. Г. А. Могилевский. Опыт применения водной газобиохимической съемки при поисках нефтяных и газовых залежей. М., Гостоптехиздат, 1953.
8. Г. А. Могилевский, В. В. Кругляков, В. М. Богданова, Г. Г. Сапунова. Труды ВНИИЯГГ, вып. 22. М., ОНТИ ВНИИЯГГ, 1975, с. 174.

9. И. К. Норенкова, Р. М. Свечина, С. Д. Талиев. Там же, с. 180.

10. Г. А. Могилевский, Ф. А. Алексеев, К. П. Токарев, М. С. Тон, Б. С. Черкинская, Н. В. Поршнева. Авт. свид. № 269514. Бюлл. изобретений, 1970, 15, 8.

11. Е. В. Стадник, Г. А. Могилевский, В. М. Богданова, З. П. Телегина, Г. А. Юрин, М. С. Тон, А. А. Оборин, Л. В. Лапчинская, Г. И. Либерман, Л. А. Седых. Изв. высш. учебн. завед. Геология и разведка, 1978, 3, 81.

12. В. А. Соколов. Прямые геохимические методы поисков нефти. М., Гостоптехиздат, 1947.

13. Н. М. Туркельтауб, Л. Ю. Абрамович. Вытеснительная методика дегазации. Труды ВНИГНИ, вып. 7. М., Гостоптехиздат, 1956, с. 240.

14. С. И. Кузнецов, В. А. Кузнецова, З. С. Смирнова. Изв. ГУГФ, № 3. М., Гостоптехиздат, 1947, с. 26.

15. Н. Д. Иерусалимский. Основы физиологии микробов. М., Изд-во АН СССР, 1963.

16. С. П. Лех. Адаптация микроорганизмов к низким температурам. М., «Наука», 1976.

17. О. И. Артамонова, Н. А. Красильников. Труды Советской Антарктической экспедиции, т. 60. Л., Гидрометиздат, 1972, с. 302.

А. А. ОБОРНИ, И. Б. ИВШИНА, М. В. БЕРДИЧЕВСКАЯ

**О ПРИРОДНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРАХ,
ВЛИЯЮЩИХ НА ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ
УГЛЕВОДОРОДОКИСЛЯЮЩЕЙ МИКРОФЛОРЫ**

В связи с поставленной на X пятилетку задачей дальнейшей разработки прямых геохимических методов поисков нефтяных месторождений и совершенствования методики интерпретации результатов газобioхимических исследований большое значение имеет изучение влияния экологических факторов на жизнедеятельность углеводородокисляющей микрофлоры.

В настоящей работе приводятся литературные и собственные данные по изучению эколого-физиологических особенностей микроорганизмов, ассимилирующих углеводороды нефти.

Изучение закономерностей распределения в подпочвенных горизонтах газоокисляющих бактерий послужило основой для разработки метода микробиологической разведки нефтяных и газовых месторождений, предложенного в 1937 г. Г. А. Могилевским.

Микроорганизмы, для которых единственный источник энергии и углеродного питания — природные газообразные углеводороды, относятся главным образом к родам *Mycobacterium*, *Nocardia*, *Pseudomonas* [1—3]. Широта распределения в естественных ареалах и видовой состав углеводородокисляющих бактерий существенно различаются в зависимости от экологических особенностей местообитания.

К наиболее существенным факторам, влияющим на жизнедеятельность углеводородокисляющей микрофлоры, следует отнести: состав углеводородных газов, мигрирующих от нефтяной залежи к дневной поверхности; литологический состав пород; температуру среды; рН и окислительно-восстановительный потенциал среды; изменение концентрации химических элементов в воде; радиоактивность вод и пород.

Изучение влияния экологических условий местообитания микрофлоры повышает надежность и достоверность выводов при интерпретации данных газобioхимических исследований.

Изучение бактерий, ассимилирующих углеводороды и выделенных из подземных вод и подпочвенных отложений нефтеносных площадей Украины и Белоруссии [4], Ставропольского края и Предуралья [5], показало, что геолого-биохимическая обстановка и, в частности состав углеводородных газов, сказывается на видовой принадлежности микроорганизмов. Преобладающее содержание одного из компонентов углеводородного газа определяет характер биоценоза.

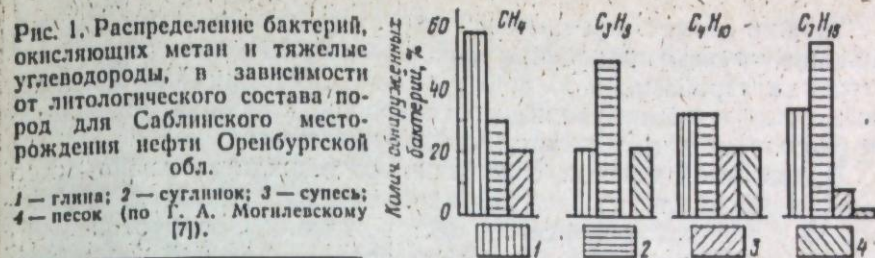
Режимные наблюдения, проведенные в 1975 г. на опорных водопунктах в районе Уфимского плато, позволили выяснить природу сезонных колебаний интенсивности развития углеводородокисляющих микроорганизмов и концентраций водорастворенных углеводородных газов в водах зоны активного водообмена. Всего в качестве режимных было отобрано одиннадцать родников гидрокарбонатно-кальцевого типа с общей минерализацией 0,6—1,5 г/л на площади около 2500 км². Режимные наблюдения за изменением химического состава вод родников показали относительную стабильность гидрохимических показателей с июля по август и, как правило, резкое повышение общей минерализации, концентрации кальция, нитратов и органических соединений в сентябре. Бактерии, окисляющие метан, этан, пропан, бутан, были обнаружены в водах всех режимных родников. Газовый анализ показал наличие метана, метилена, этана, этилена, пропана, бутана различной частоты встречаемости. Основные газы определялись в водах родников периодически. По усредненным данным отмечается резкое снижение концентраций этана и этилена в осенний период года. Параллельно, но в меньшей степени, наблюдается снижение содержания пропана в воде. Данные табл. 1 свидетельствуют о наличии связи процессов накопления диффузионных газовых компонентов в составе водорастворенных газов с интенсивностью процессов их бактериального окисления в зоне активного водообмена. Снижение концентраций газов и возрастание интенсивности развития углеводородокисляющей микрофлоры в летний период, возможно, объясняется повышением температуры воздуха. Метан является постоянной составляющей водорастворенных газов, причем максимальные концентрации его фиксируются в весенний период.

В осенний период снова наблюдается быстрое накопление метана в воде, которое можно объяснить только как результат снижения жизнедеятельности метаноокисляющих бактерий. Для этана и пропана отмечается почти прямая пропорциональная зависимость между концентрациями их в воде и интенсивностью бактериальных процессов окисления. Следовательно, при проведении газобioхимических исследований в различных ландшафтно-климатических условиях необходим комплексный учет газовых и бактериальных показателей.

Взаимозависимость, существующая между газовой фазой и

Сравнительные результаты газовых и микробиологических исследований, проведенных на 11 режимных источниках

Месяц	Состав газа, л · 10 ⁻⁴ см ³ /л						Интенсивность развития бактерий, ед. опт. плотности			
	Метан	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	C ₆ H ₁₄	Метан-окисляющие	Пропан-окисляющие	Этан-окисляющие	Бутан-окисляющие
Март	95,50	0,96	0,31	0,88	0,36	1,50	0,059	0,043	—	—
Июнь	22,79	1,42	0,18	1,06	0,69	0,58	0,034	0,050	0,058	0,040
Июль	26,25	0,00	0,33	0,18	0,06	0,00	0,062	0,059	0,036	0,033
Сентябрь	44,36	0,04	0,11	0,19	0,09	0,09	0,008	0,018	0,016	0,006



бактериальным населением вод и пород, изучена недостаточно полно, однако нет сомнений в том, что такая зависимость определяет многие особенности газобактериальных аномалий. Углеродородная микрофлора, обнаруживаемая в зоне аэрации над залежами нефти и газа, прослеживается также в более глубоких слоях разреза. Для разных нефтегазоносных провинций предельная глубина обнаружения бактерий, ассимилирующих углеводороды, различна. Для районов Волго-Уральской области она лежит в пределах 400—800 м. Интересные результаты были получены при исследовании водоносных горизонтов, вскрытых скв. № 9 Нытвенской площади [6]. Скважину исследовали до глубины 1000 м. С увеличением глубины горизонтов интенсивность развития метан-, пропан- и бутанокисляющей микрофлоры изменяется.

В водах верхней осадочной толщи преимущественно встречаются бактерии, которые окисляют пропан и бутан. Наибольшая интенсивность их развития отмечается на глубине 100 м, тогда как интенсивность развития метанокисляющей микрофлоры возрастает от 100 до 250 м. Начиная с 500 м интенсивность развития всех групп бактерий падает. Та же закономерность в распространении бактерий по разрезу наблюдается и при изучении кернов выбуренной породы [7]. В табл. 2 показаны начальные и конечные глубины обнаружения микрофлоры по разрезу обследованных скважин различных районов СССР. В большинстве случаев бактерии, окисляющие парообразные углеводороды и метан, прослеживаются на большую глубину по сравнению с бактериями, потребляющими пропан.

Данную закономерность можно объяснить изменением соотношения содержания кислорода и углеводородов с глубиной. Опыты по выяснению оптимального состава смеси для метан- и пропанокисляющих бактерий [8] показывают, что в тех условиях, когда в составе газовой среды соотношение между углеводородами (метан + тяжелые углеводороды) и кислородом равно 1/5 и меньше, происходит преимущественное развитие бактерий, окисляющих пропан.

В газовой атмосфере, обедненной кислородом, при соотношении 1/2 и более происходит преимущественное развитие бактерий, которые окисляют метан (табл. 3).

Таблица 2

Глубина обнаружения бактерий (м), окисляющих углеводороды, в различных газонефтяных провинциях (по Г. А. Могилевскому [7])

Площадь, район	Интервал обследования, м	Начальная глубина обнаружения бактерий, окисляющих			Конечная глубина обнаружения бактерий, окисляющих		
		метан	пропан	гептан	метан	пропан	гептан
Восточная Сибирь	50—220	118	80	55	175	170	185
Оренбургская обл.	0—945	2	2	2	80	2	334
Куйбышевская обл.	0—325	5	158	155	325	158	155
Саратовская обл.	0—335	1	0	—	235	235	—
Волгоградская обл.	0—408	5	13	50	365	316	390
Краснодарский край	0—500	2	2	115	500	400	233
Ставропольский край, площади:							
Александровская	80—973	430	80	80	921	937	955
Прасковейская	103—901	744	744	103	744	744	901
Кучерлинская	360—440	400	375	360	400	400	375
Калмыцкая АССР	15—712	15	145	215	679	418	722
Крымская обл.	0—1200	5	5	5	251	261	1200

Таблица 3

Результаты газового анализа углеводородов при развитии бактерий в атмосфере смесей метана и пропана (по Г. А. Могилевскому, 1962)

Соотношение углеводородов (смесь метана и пропана) и воздуха	Потребление углеводородов, см ³ · 10 ⁻⁴			Интенсивность развития бактерий, усл. ед.
	Метан	Пропан	Сумма	
1:14	0,5	6,2	6,7	180
1:5	7,4	8,9	16,3	200
1:2	7,7	5,7	13,4	216
1:1	14,2	2,7	16,9	260

Отношение выделенных микроорганизмов к рН (по В. М. Богдановой [11])

Микроорганизм	Значения рН								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Pseudomonas radiobacter</i>	—	—	++	++	++	+++	+++	++	—
<i>Proactinomyces albus lactici</i> , штамм 2М	—	—	++	+++	+++	+++	+++	++	—
<i>Pseudobacterium</i> , штамм 2n	—	—	+	+	+	++	++	+	+
<i>Pseudobacterium</i> , штамм 3n	—	—	++	++	++	++	++	++	++
<i>Myc. flavum</i> v. <i>metanicum</i>	—	—	++	++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Myc. flavum</i> , штамм 4n	—	+	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Myc. flavum</i> , штамм 5n	—	+	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Myc. flavum</i> , штамм 6n	—	+	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Myc. flavum</i> , штамм 7n	—	+	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Myc. flavum</i> , штамм 8n	—	+	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++

Примечание. (—) — отсутствие роста, (+) — слабый рост, (++) — умеренный, (++++) — интенсивный.

Можно сделать предположение, что микроорганизмы, составляющие группу пропанооксиляющих бактерий, являются более строгими аэробами, в то время как микроорганизмы, окисляющие метан и парообразные углеводороды, способны развиваться в условиях затрудненного доступа кислорода.

В известной степени сказанное подтверждается данными о сопоставлении литологического состава подпочвенных отложений на Саблинском нефтяном месторождении Оренбургской области с содержанием в них углеводородокисляющей микрофлоры [7]. Бактерии, окисляющие метан и парообразные углеводороды, чаще встречаются в глинах и суглинках, которые, как известно, характеризуются низким коэффициентом аэрации. Пропан- и бутанооксиляющие бактерии примерно в равных количествах встречаются и в глинистых, и в песчаных разностях (рис. 1).

Один из факторов, ограничивающих активность бактерий, ассимилирующих углеводороды, — температура. Благоприятное действие на развитие углеводородокисляющей микрофлоры оказывают температуры, не превышающие некоторого определенного оптимума, свойственного данному виду, штамму. Для огромного большинства микроорганизмов, составляющих группу мезофилов, это будут умеренные температуры (20—40°C). Как увеличение, так и уменьшение температуры ведет к снижению интенсивности развития. Наблюдения, проводившиеся в течение июня—сентября 1975 г. [5], позволили установить, что наиболее интенсивное развитие углеводородокисляющей микрофлоры в поверхностных водах зоны активного водообмена отмечается в августе, когда среднемесячная температура находится в пределах оптимальной величины для мезофилов. Оптимальные температуры термофильных бактерий колеблются в пределах 45—60°C. Существует ряд указаний о нахождении живых бактерий при более высоких температурах.

Определенное влияние на рост и развитие углеводородокисляющих бактерий оказывает химический состав грунтовых вод. Было установлено [9], что наибольшая интенсивность развития метан-, этан- и пропанооксиляющих бактерий характерна для сульфатно-натриевого типа вод. По мере уменьшения концентрации сульфат-ионов наблюдается общее снижение интенсивности развития бактерий.

На состав микрофлоры некоторое влияние оказывают окислительно-восстановительный потенциал грунтовых вод и концентрация водородных ионов. Однако имеются данные [10, 11], свидетельствующие о способности бактерий, окисляющих углеводороды, регулировать значения Eh—рН среды. В. М. Богданова обратила внимание на то, что в большинстве случаев естественная среда обитания метан- и пропанооксиляющих бактерий имеет нейтральную или слабощелочную реакцию (рН 7,0—7,4). Ею была сделана попытка выяснить влияние рН питательной

среды на рост этих микроорганизмов [11]. Различные начальные рН среды получались при добавлении к ней перед посевом стерильной кислоты, щелочи или соды. Как выяснилось, почти все испытанные штаммы хорошо растут при начальных значениях рН от 4 до 10 (табл. 4). Однако в конце опыта рН среды сдвигается к нейтральной, что указывает на способность данных видов изменять рН среды в сторону ее оптимального значения.

Интерпретируя данные микробиологических исследований при поисках нефти и газа, необходимо учитывать влияние радиоактивности пород и вод на активность и видовой состав биоценозов. Полевые исследования, проводимые в Оренбургской области [12], показали, что наблюдается некоторая корреляционная зависимость между интенсивностью развития углеводородной микрофлоры и содержанием солей урана в подземных водах. Эту зависимость удалось установить в результате двухлетних наблюдений за содержанием микрофлоры и радиоактивных элементов в подземных водах Петрохерсонского вала Оренбургской области. В тех водах, где от одного года к другому наблюдалось увеличение концентрации урана, содержание микрофлоры уменьшалось, и, наоборот, там, где содержание урана уменьшалось, наблюдалась наиболее высокая интен-

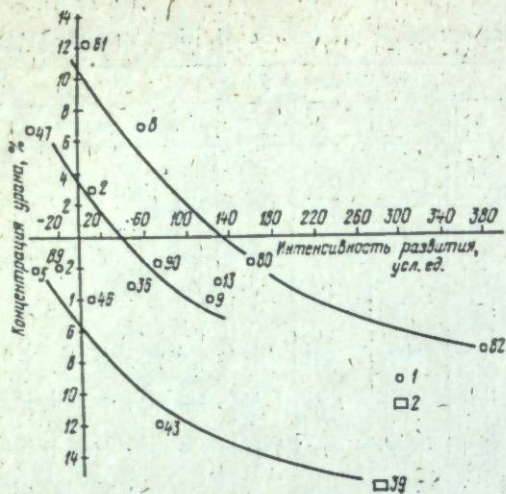


Рис. 2. График зависимости (по Г. А. Могилевскому [12]) интенсивности развития углеводородной микрофлоры подземных вод от концентрации урана (Оренбургская обл.).
1 — источник; 2 — колодезь.

сивность развития углеводородокисляющих бактерий (рис. 2).

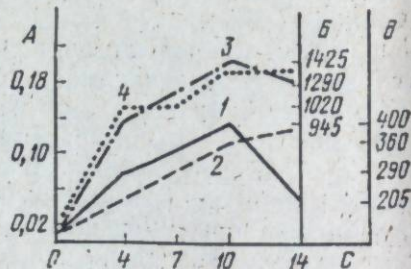
Были также поставлены специальные лабораторные эксперименты по выяснению влияния радиоактивных излучений на жизнедеятельность углеводородокисляющих бактерий.

Исследовали накопительные культуры, выделенные в атмосфере пропана и метана. В качестве источников облучения использовали эталон Ra № 5 активностью 100 мкк⁶⁰ Со и соль UO₂(NO₃)·6H₂O (уранилнитрат). В процессе опытов наблюдалась непрякая инактивация жизнедеятельности клеток гамма-лучами. Концентрация урана, 10⁻⁴ г/мл, одинаково угнетает деятельность метан- и пропаноокисляющих бактерий. При концентрации урана 10⁻⁶ и 10⁻⁸ г/мл возникает эффект стимуляции, причем у метаноокисляющих бактерий он значительно слабее, чем у пропаноокисляющих. Наибольший эффект стимуляции получается при концентрации урана 10⁻⁶ г/мл.

Минимальная доза радионейтрального препарата, при которой испытывалось влияние гамма-лучей, составляла (0,8—1,0) · 10³ р/ч. Под воздействием этой дозы и у метан-, и у пропаноокисляющих бактерий проявляется эффект стимуляции и так же, как в первом случае, у метаноокисляющих бактерий он выражен незначительно, а у пропаноокисляющих — более отчетливо. Однако эффект стимуляции носит временный характер; после десяти суток инкубации он обычно затухает (рис. 3).

Рис. 3. Количество бактерий (ед. опт. плотности) в 1 см³ среды, облученных дозой 0,8 · 10⁻³ р/ч (по Г. А. Могилевскому [12]).

1 — пропаноокисляющие бактерии; 2 — контрольная пропаноокисляющая культура; 3 — метаноокисляющие бактерии; 4 — контрольная метаноокисляющая культура; А — показания фотоэлектроколориметра; Б — количество метаноокисляющих бактерий в 1 см³ среды, л · 10⁶; В — количество пропаноокисляющих бактерий в 1 см³ среды, л · 10⁶; С — время облучения, сутки.



Мощность дозы третьего источника гамма-излучений — кобальта, составляла 10, 100, 1000 р/сутки. Посевы чистых культур из рода *Mycobacterium*, выделенных в атмосфере метана и пропана, подвергались облучению при температуре 20—23°C. Учет интенсивности развития культур в параллельных посевах производился через 4, 7, 10 и 14 суток с помощью фотоэлектроколориметра. Опыт показал, что чем выше доза гамма-облучения, тем сильнее эффект угнетения (рис. 4). Гамма-излучение мощностью 100 и 1000 р/сутки угнетает деление клеток в процессе самого облучения. Однако это влияние значительно слабее, чем эффект угнетения у пропаноокисляющих бактерий. Облучение дозой 10 р/сутки оказывает стимулирующее действие. В контрольной культуре количество клеток увеличилось в 4,7 раза, а при облучении — за то же время в 6,6 раза.

В завершении эксперимента была испробована доза весьма высокой мощности в 100 000 р при кратковременной экспозиции (14 мин 24 сек). Она оказалась губительной для обоих видов углеводородокисляющих бактерий.

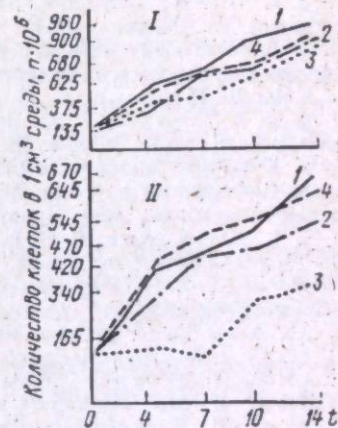
Можно сделать вывод о том, что пропан- и метаноокисляющие бактерии обладают разной чувствительностью к гамма-излучению: пропаноокисляющие — более чувствительны, у них ярче выражены эффекты стимуляции и угнетения; метаноокисляющие — менее чувствительны и более устойчивы к действию гамма-излучений, за исключением доз высокой мощности.

Таким образом, микроорганизмы приспосабливаются к различным условиям существования. Основную роль при этом играют положительные обратные связи между микроорганизмом и средой. Любой вид микроорганизма состоит из качественно неоднородных особей, отличающихся морфофизиологическими особенностями зависимости от температуры, давления, влажности, Eh и pH среды и других факторов, что дает возможность выделить различные штаммы. Степень приспособленности штаммов к окружающим условиям существования определяет их биохимические функции и уровень активности в данной среде обитания.

Природной экологической нишей для углеводородокисляющей микрофлоры служат слои земной коры, которые характеризуются наличием углеводов в составе подземных

Рис. 4. Действие различных доз гамма-излучения на метаноокисляющие (I) и пропаноокисляющие (II) бактерии (по Г. А. Могилевскому [12]).

Дозы, р/сутки: 1 — 10, 2 — 100, 3 — 1000, 4 — контрольная культура.



вод и пород. Внимание исследователей в основном было сосредоточено на изучении приповерхностной (до уровня грунтовых вод) зоны. Это объясняется тем, что изучение влияния экологических факторов проводилось в связи с разработкой микробиологического метода разведки нефтяных и газовых месторождений.

Не менее интересно, по мнению авторов, изучение экологии углеводородокисляющей микрофлоры больших глубин, где имеют место такие условия существования, как анаэробноз, повышенные соленость, давление и температура. Существование жизнеспособной микрофлоры в пластовых условиях подтверждается работами многих авторов [2, 3, 13, 14]. С. И. Кузнецов [15] подчеркивает, что достоверные результаты о геологической деятельности микроорганизмов могут быть получены лишь при проведении комплекса исследований по изучению 1) количественного и качественного составов данной группы микроорганизмов; 2) химического состава вод с учетом наличия ингредиентов, видоизменение которых предполагается в результате деятельности микроорганизмов; 3) экологических условий (H_2 , O_2 , H_2S , биогены и т. д.); 4) геологии и гидрогеологии месторождения, где протекает изучаемый процесс; 5) физиологии данной группы микроорганизмов и влияния на их рост и жизнедеятельность естественных факторов местообитания; 6) интенсивности развития микроорганизмов методом меченых атомов; 7) соотношения стабильных изотопов в исходных и конечных продуктах. Следует указать также на необходимость разработки новых более совершенных методик изучения микроорганизмов непосредственно в среде их обитания и выяснения влияния природных экологических факторов на видовой состав и активность биоценозов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. Р. Малашенко, В. А. Романовская, В. И. Лялько. Изв. АН СССР, сер. биол., 1975, 5, 682.
2. Э. Бирштейнер. Нефтяная микробиология. М., Гостоптехиздат, 1957.
3. Е. П. Розанова, С. И. Кузнецов. Микрофлора нефтяных месторождений. М., «Наука», 1974.
4. В. М. Богданова, Г. А. Могилевский, З. П. Телегина. Микробиологическая промышленность. Реф. сб., № 1(121). М., 1975, с. 27.
5. И. Б. Ившина, Г. И. Владимирцев. Статья в наст. сб., с. 51.
6. А. А. Оборин и др. Экология и популяционная генетика микроорганизмов. Свердловск, 1975, с. 68 (УНЦ АН СССР).
7. Г. А. Могилевский. Труды ВНИИЯГГ, 1968, 4, 157.
8. Г. А. Могилевский. Доклады VII Международной конференции по нефтепромысловому делу. Будапешт, 1962, с. 14.
9. А. А. Оборин, И. Б. Ившина. Механизмы регуляции развития микробной популяции. Свердловск, 1976, с. 96 (УНЦ АН СССР).
10. Л. Е. Крамаренко. Гидрогеология и инженерная геология. М., «Наука», 1972, с. 38.
11. В. М. Богданова. Микробиология, 1966, 35, 2, 234.
12. Г. А. Могилевский и др. Труды ВНИИЯГГ, 1970, 8, 211.
13. Л. Д. Штурм. Труды Ин-та микробиологии АН СССР, 1961, 9, 23.
14. J. Heuer, W. Schwartz. Z. allg. Microbiol., 1970, 10, 8, 545.
15. С. И. Кузнецов. Труды Ин-та микробиологии АН СССР, 1961, 9, 5.

Г. К. МИХАЙЛОВ, А. Л. БАЛДИНА, Т. А. КОСОГОРОВА

К ЭКОЛОГИИ УГЛЕВОДОРОДОКИСЛЯЮЩЕЙ МИКРОФЛОРЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД КОЛВО-ВИШЕРСКОГО КРАЯ

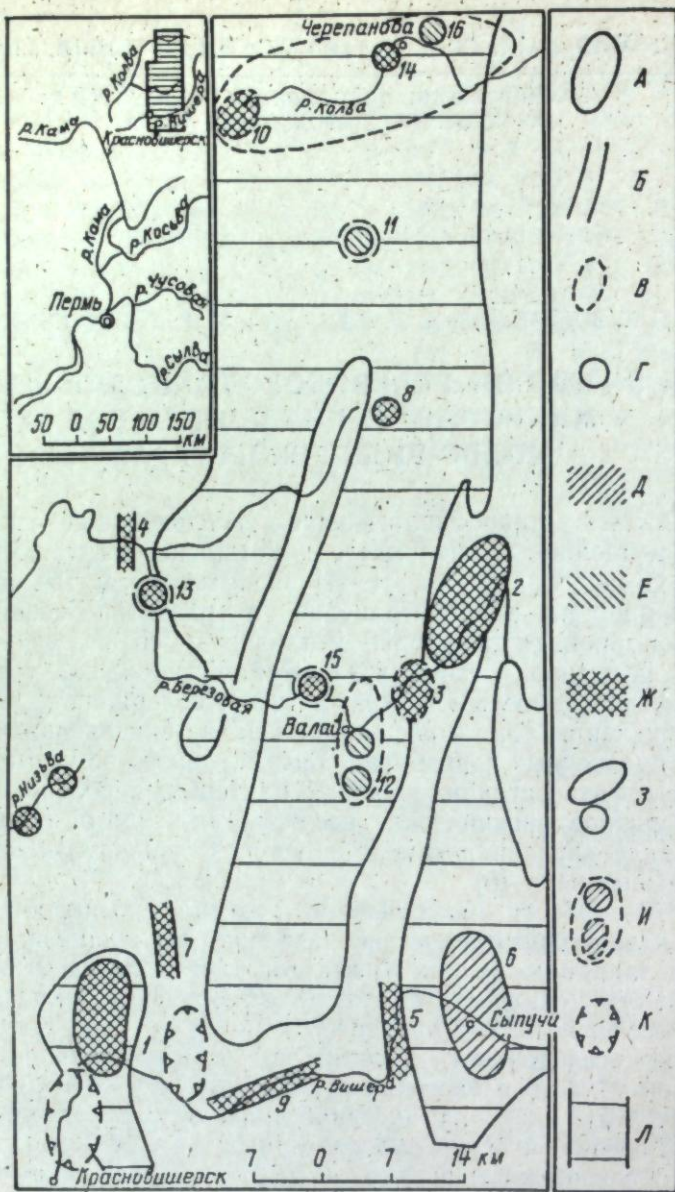
Результаты микробиологических исследований подземных вод, занимающие важное место в комплексе нефтегазопоскоковых геохимических работ [1—4], используются для изучения закономерностей распространения и развития специфичной углеводородной микрофлоры, утилизирующей различные компоненты нефтяных и газовых залежей. Установлено, что подток к земной поверхности глубинных газов, содержащих углеводороды, обуславливает интенсивное развитие окисляющих их бактерий в водоносных горизонтах зоны активного водообмена. Наличие сульфатовосстанавливающих бактерий, использующих водорастворенное органическое вещество нефтяного происхождения, в ряде случаев рассматривают как показатель нефтеносности земных недр [5].

В 1973—1974 гг. нами выполнен комплекс микробиологических и гидрогеохимических исследований во внешней складчатой зоне западного склона Урала для оценки перспектив нефтегазонасности локальных поднятий, выявленных геологосъемочными и геофизическими работами.

Район исследований находится в северо-восточной части Пермской области в бассейне рек Колвы, Березовой и Вишеры (см. рисунок), где зона активной циркуляции подземных вод сложена средне- и верхнепалеозойскими отложениями. Известняки нижнепермского, верхне- и среднекаменноугольного отделов здесь широко распространены, они часто слагают антиклинальные складки.

В широких синклиналиальных зонах развиты преимущественно терригенные породы урминской свиты, относящиеся к артинскому ярусу (P_{1a}) [6]. Они обеспечивают гидрогеологическую закрытость нефтегазоносных недр.

Продуктивные нефтегазоносные комплексы палеозойских пород, выделенные в платформенной части Пермского Прикамья, прослежены и в Колво-Вишерском крае. Здесь они часто нахо-



Микробиологические аномалии в бассейнах рек Вишеры, Березовой, Колвы.

А — площадные аномалии; Б — линейные; В — очажковые; Г — точечные; Д — преобладание метанооксиляющих бактерий; Е — преобладание пропанооксиляющих бактерий; Ж — широкое развитие метан- и пропанооксиляющих бактерий; З — микробиологические аномалии, не содержащие сульфатовосстанавливающих бактерий; И — микробиологические аномалии с интенсивным развитием сульфатовосстанавливающих бактерий; К — отрицательные аномалии; Л — районы распространения артинских терригенных отложений (урманская свита). Микробиологические аномалии: 1 — Романыхинская, 2 — Бужуйская, 3 — Еранская, 4 — Березовская, 5 — Мало-Шугорская, 6 — Сыпучинская, 7 — Верхнеговороухинская, 8 — Немидская, 9 — Вишерогорская, 10 — Туланская, 11 — Шанежная, 12 — Жерновская, 13 — Коржаская, 14 — Сурынская, 15 — Валайская, 16 — Черепановская.

дятся в условиях весьма затрудненного водообмена с земной поверхностью. Поэтому многие районы внешней зоны западноуральской складчатости, несмотря на сравнительно малую изученность, относятся к перспективным на обнаружение промышленных залежей нефти и газа [7, 8].

Основные объекты микробиологических нефтегазопонисковых исследований — естественные выходы подземных вод на земную поверхность. Они неравномерно распределены в дренирующих долинах. Их дебит, тип, протяженность и направление тесно связаны с разломно-блоковой тектоникой региона и со строением локальных тектонических поднятий. Н. Д. Буданов [9] отметил, что в изученных районах Колво-Вишерского края существенная гидрогеологическая роль принадлежит древним тектоническим разломам, обновленным интенсивными движениями новейшего времени.

Главные условия обитания микроорганизмов, характер микробиологических аномалий в приповерхностной гидросфере определены гидрогеологической обстановкой (состав водоносных пород, тип подземных вод, интенсивность водообмена, величина и концентрация подземного стока, взаимодействие различных водоносных горизонтов и т. д.), окислительно-восстановительными и температурными условиями, составом подземных вод (минерализация, содержания ионов, органических веществ и др.) и водорастворенных газов. Среди последних особая роль принадлежит глубинным углеводородным компонентам.

В общем экологические условия развития метанооксиляющих (МОБ) и пропанооксиляющих (ПОБ) бактерий в терригенных и карбонатных водоносных комплексах Колво-Вишерского края, охарактеризованные в табл. 1, не отличаются существенной изменчивостью. Необходимо отметить несколько повышенную окисляемость и сульфатность подземных вод, циркулирующих в артинских терригенных отложениях, а также более высокое содержание в них свободной углекислоты (см. табл. 1).

Наличие и интенсивность развития углеводородоксиляющих бактерий (УОБ) определялись методом «флакон-инъекций», разработанным во ВНИИЯГГ [10], с трехкратной повторностью и последующим термостатированием в течение двух недель. Посев осуществлялся в день отбора пробы. Интенсивность развития углеводородоксиляющих бактерий оценивалась на фотокolorиметре по помутнению среды в единицах оптической плотности. В характеризуемом районе нами определялись только МОБ и ПОБ.

Развитие микроорганизмов, индикаторных на нефть и газ, в районах распространения терригенных и карбонатных пород характеризуется в табл. 1.

Группа сульфатовосстанавливающих бактерий (СВБ) определяется в соответствии с методическим руководством, разработанным в Институте микробиологии АН СССР [11].

Таблица 1

Экологические условия развития УОБ в водоносных комплексах

Компонент (характеристика)	Водоносный комплекс			
	кунгурский терригенный	артинский терригенный	нижнепермско-верхне- средне-камен- ноугольный карбонатный	башкирско- наюрско- визейский карбонатный
Колич. обследованных водопунктов	11	74	66	26
Минерализация, мг/л	142,0—312,0*	77,6—467,5	171,7—1256,0	212,0—402,1
Окисляемость O ₂ , мг/л	215,0 0,2—2,1	267,6 0,2—4,6	261,7 0—3,36	282,7 0,3—1,7
Сульфаты, мг/л	1,1 6,2—58,1	1,2 3,9—109,5	1,0 2,5—123,5	1,0 5,0—17,0
Железо двухвалентное, мг/л	18,0 0—1,92	19,0 0—83,34	12,7 0—1,76	10,2 0—13,31
Железо трехвалентное, мг/л	0,40 0—1,20	0,65 0—1,43	0,29 0—0,96	2,75 0—2,08
Аммоний, мг/л	0,24 0—0,43	0,27 0—1,56	0,19 0—1,88	0,50 0—0,28
Нитраты, мг/л	0,08 0,37—50,00	0,07 0—24,40	0,09 0—27,90	0,05 0,35—15,40
Нитриты, мг/л	12,80 0—0,10	3,35 0—2,40	2,81 0—0,12	2,11 0—0,05
Сероводород, мг/л	0,010 —	0,070 0,18—2,18	0,010 0—1,03	0,005 —
Температура, °С	— 4,0—10,5 6,8	1,06 2,0—10,0 4,5	0,51 1,0—12,0 4,1	— 2,0—8,0 4,3
Водорастворенный газ, об. % × 10 ⁻⁴	2,70—691,60	1,35—3600,00	1,30—522,40	1,75—98,55
метан	14,0 0—1,95	13,6 0—28,90	13,8 0—11,70	18,4 0—2,96
этан	0,22 0—1,43	0,35 0—7,76	0,21 0—41,04	0,07 0—0,56
пропан	0,22 0—1,22	0,24 0—24,00	0,14 0—164,17	0,05 0—0,50
бутан	0,03 0—1,79	0,22 0—27,35	0,19 0—249,30	0,06 0—1,16
пентан	0,18 0—0,3	0,16 0—30,5	0,14 0—ед. 144,6	0,03 Не обн.
гексан	0,02 0,76	0,03 0—84	Не опр.	0—109
Метаноокисляющие бакте- рии, ед. опт. пл.	18	12	—	17
Пропаноокисляющие бак- терии, ед. опт. пл.	0,90	0—136,00	—	0—198
Общая биогенность, ед. опт. пл.	21	31	—	35
СВБ (колич. проб с по- ложительными зна- чениями)	0—103 35 43	0—209 41	— —	0—306 49 17

* В числителе — пределы, в знаменателе — средние величины.

Регионный микробиологический фон и интенсивность бактериальных аномалий в подземных водах определены по статистическим характеристикам распределения «содержаний» индикаторных микроорганизмов. Модальные значения рассматриваются в качестве регионального фона. К аномальным величинам отнесены «содержания», превышающие среднее значение.

Местоположение и виды установленных микробиологических аномалий показаны на рисунке.

Площадные микробиологические аномалии представляют наибольший практический интерес в нефтегазопромысловом отношении. В исследованном районе они установлены на локальных тектонических поднятиях, сформированных на участке пересечения глубинных разломов с другими крупными дизъюнктивными нарушениями. Площадные аномалии встречаются чаще на территории распространения нижнепермских терригенных отложений в связи с их более равномерной обводненностью по сравнению с карбонатными толщами.

Резкая концентрация подземного стока в карбонатных породах часто приводит к обеднению бактериальных показателей и препятствует формированию микробиологических аномалий, особенно в период активной инфильтрации талых вод.

Наибольший практический интерес в исследованном районе представляют три крупные площадные аномалии: Романихинская, Сыпучинская, Бужуйская (см. рисунок).

Романихинская аномалия выделена на территории Талицко-Говорливской мульды в пределах одноименного тектонического поднятия. Мощность артинских терригенных отложений здесь достигает 500—600 м. Аномалия отчетливо выделяется и по пропан- и по метаноокисляющим бактериям при повышенной водообильности пород, особенно в сводовой части структуры.

Подземные воды на Романихинском поднятии местами содержат нефтеносные кислоты и отличаются повышенным содержанием водорастворенных углеводородных газов, особенно в приосевой зоне. Здесь благоприятно сочетаются геологические, гидрогеологические, биогеохимические и другие показатели нефтегазонасыщенности недр. Эта структура отнесена к весьма перспективным на обнаружение залежей углеводородов.

Сыпучинская микробиологическая аномалия установлена на локальном тектоническом поднятии, имеющем отчетливый приразломный характер. В отличие от Романихинской аномалии на ее площади менее развиты ПОБ.

Эта аномалия отчетливо выделяется по интенсивному развитию МОБ, так как подземные воды на ее площади значительно обогащены метаном. Среднее содержание его здесь в семь раз выше регионального фона. Повышенное содержание метана подавляет развитие микрофлоры, окисляющей более тяжелые углеводороды. Слабое развитие ПОБ на Сыпучинском уча-

стке может быть вызвано отсутствием или малым содержанием тяжелых углеводов в водорастворенном газе.

Судя по отсутствию метанообразующих бактерий, поверхностное метанообразование на Сыпучинском участке ограничено. По-видимому, большая часть водорастворенного метана имеет глубинное происхождение. О подтоке глубинных флюидов в зону активного водообмена может свидетельствовать и наличие сероводорода, обнаруженного в подземных водах (до 0,4 мг/л) приосевой части структуры. По микробиологическим данным и комплексу других показателей территория Сыпучинской аномалии характеризуется высокими перспективами обнаружения залежей углеводородов.

Бужуйская аномалия, расположенная в зоне регионального Велгурского надвига, приурочена к водообильным закарстованным известнякам. На ее территории установлена повышенная концентрация подземного стока, характерная для зон разгрузки карстовых вод на приразломных участках. Подземные воды здесь обогащены пропаном и другими тяжелыми углеводородными газами, содержание которых в 2,5 раза выше фона. Аномалия характеризуется повсеместным распространением ПОБ. Низкое содержание метана в водорастворенном газе (табл. 2) обусловило локальное развитие МОБ.

Линейные микробиологические аномалии установлены в зонах «живых» тектонических разломов. Они зафиксированы в крупных речных долинах, сложенных карбонатными породами. Активизация карстовых процессов и концентрация подземного стока обусловили повышенную проницаемость пород в нешироких, сильно трещиноватых зонах.

В изученных районах широко распространены подземные воды, содержащие сероводород — продукт жизнедеятельности сульфатвосстанавливающих бактерий (СВБ). Исследования показали, что развитие СВБ в значительной степени определяется геологическими условиями и факторами. Установлено, что они более распространены в районах, сложенных терригенными отложениями, чем в районах карбонатного карста (см. табл. 1). Большая часть выходов сероводородных вод установлена в сводовой части и на крутых крыльях тектонических поднятий, а также на участках пересечения речных долин крупными разломами. Как правило, сероводородные воды выходят в приустьевой части поймы с превышением над меженным уровнем реки до 0,3—0,5 м. В редких случаях превышение сероводородных родников над дренажной линией достигает нескольких метров. В единичных случаях превышение таких родников составляет 25—30 м и более (Поганые родники на левом берегу р. Березовой ниже р. Бужуй).

СВБ — анаэробы. Однако Р. Квет [12, 13] отмечает, что благоприятные условия для развития СВБ существуют в переходной зоне гидросферы, где контактируют подземные воды с

Таблица 2

Наличие индикаторных микроорганизмов в различных типах и группах аномалий Колво-Вишерского края

Группа аномалий	Наличие индикаторных микроорганизмов			Аномалии и участки
	метаокисляющих	пропанооксиляющих	сульфатвосстанавливающих	
Тип I				
1	++	++	—	Романихинская, Бужуйская, Еранская, Березовская Мало-Шугорская Сыпучинская, Верхнеговорохинская Немыдский, Вишерогорская и др.
2	+	++	—	
3	++	+	—	
4	+	+	—	
Тип II				
5	++	++	+	Тулпанская Шанежный, Жерновский и др. Коркацкий Сурьинская Валайская, Черепановская
6	—	+	+	
7	+	—	+	
8	+	+	++	
9	—	+	++	9

Примечание. (—) — фоновые и меньшие содержания, (+) — очаговое распространение, (++) — повсеместное распространение.

положительным и отрицательным окислительно-восстановительным потенциалами. Здесь аэробные углеводородокисляющие бактерии перерабатывают водорастворенное органическое вещество, непригодное для непосредственного использования СВБ, в доступные для них соединения. Е. П. Розанова [14, 15] считает, что и в анаэробной обстановке возможен двухступенчатый процесс микробиологической сульфатредукции.

Несомненно, что локализация сульфатредукционных процессов в центральной части тектонических поднятий на участках проводящих глубинных разломов обусловлена подтоком органических соединений из продуктивных нефтегазоносных комплексов с застойным режимом подземных вод. Это доказывается наличием в родниковых сероводородных водах нефтяных и жирных кислот и других органических веществ на Романихинском, Валайском и других поднятиях, а также на северном погружении Немыдской антиклинали в долине р. Тулпан.

Таким образом, в районах отсутствия антропогенного загрязнения наличие СВБ и сероводорода в подземных водах сле-

дует рассматривать в качестве важного нефтепоискового показателя. В связи с этим необходимо отметить широкое, почти повсеместное, развитие СВБ в подземных водах, выходящих в долине р. Колвы на участке пос. Сусай — пос. Тулпан.

Микробиологические аномалии, формирующиеся в зоне активного водообмена, вероятно, отражают стадии разрушения глубинных залежей углеводородов. На начальной стадии, когда мигрируют преимущественно легкие газы, на участках с повышенной проницаемостью пород формируются аномалии с метан- и пропанооксилирующими бактериями. Надо полагать, что сульфатредукция вблизи земной поверхности активизируется при поступлении водорастворенного органического вещества нефтяного происхождения в гидродинамическую зону затруженного водообмена.

Типы и группы микробиологических аномалий, выявленные на изученной территории, приведены в табл. 2. Они в значительной степени обусловлены составом и стадией разрушений залежей углеводородов. Тип аномалий зависит от наличия СВБ, группа — от интенсивности развития углеводородокисляющих микроорганизмов.

В подземных водах Колво-Вишерского края углеводородокисляющие микроорганизмы и СВБ часто встречаются совместно. Наличие сероводорода в количестве до 1 мг/л не препятствует развитию МОБ и ПОБ. Высокое содержание сероводорода замедляет или подавляет развитие этих микроорганизмов [12].

Комплексное биогеохимическое изучение подземных вод показало, что подток глубинных газов и водорастворенных веществ к земной поверхности — главный экологический фактор формирования выявленных микробиологических аномалий. В большинстве случаев они расположены на участках и в зонах с относительно повышенной проницаемостью пород. Аналогичные результаты получены и в других нефтегазоносных регионах [1—3], в том числе и в Пермском Прикамье [16]. Площадки микробиологических аномалий относящиеся к 1, 2, 3, 5 группам (см. рисунок и табл. 2), следует рассматривать как перспективные в нефтегазоносном отношении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. А. Могилевский. Труды ВНИИЯГТ, т. 4, М., «Недра», 1968.
2. J. Kozłowski, Bedeutung der mikrobiologischen Anomalien bei der Auffindung der Erdöl und Erdgas vorkommen. Abhandlung der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Jg., 1965, 2, 44.
3. J. Kozłowski, Badania nad zastosowaniem metod mikrobiologicznych w rozpoznawaniu złóż ropy naftowej i gazu ziemnego. Wybranictwo Geologiczne, 1970, 7, 41.
4. Основы теории геологических методов поиска нефти и газа. М., ОНТИ ВНИИЯГТ, 1967, с. 5.

5. Г. А. Могилевский. Микробиологическая промышленность, 1(121). М., Изд-во Главмикробиопрома, 1975, с. 3.

6. Н. Г. Чочиа. Геологическое строение Колво-Вишерского края. Труды ВНИГРИ, 91. Л., 1955, с. 157.

7. С. А. Винниковский, Б. В. Красильников, В. С. Кротов, И. В. Чернышев. Труды Пермского политехнического ин-та, 147. Пермь, 1974, с. 35.

8. Л. В. Шаронов. Труды ВНИГРИ, 73. Пермь, 1971, с. 240.

9. Н. Д. Будапов. Труды Ин-та геологии и геохимии Урал. фил. АН СССР, 84. Свердловск, 1970, с. 34.

10. В. М. Богданова, Г. А. Могилевский, З. П. Телегина. Микробиологическая промышленность, 1(121). М., Изд-во Главмикробиопрома, 1975, с. 27.

11. С. И. Кузнецов, В. И. Романенко. Микробиологическое изучение внутренних водоемов. М., Изд-во АН СССР, 1963.

12. В. А. Кузнецова, В. М. Горленко. Прикладная биохимия и микробиология, 1965, 1, 623.

13. Р. Квет. Геохимия, 1973, 4, 625.

14. Е. П. Розанова, С. И. Кузнецов. Микрофлора нефтяных месторождений. М., «Наука», 1974.

15. Е. П. Розанова. Микробиологическая промышленность, 1(121). М., Изд-во Главмикробиопрома, 1975, с. 33.

16. А. А. Обориц, Т. А. Катаева, А. В. Блажных. Там же, с. 22.

Т. В. КРАШЕНИННИКОВА

ВЛИЯНИЕ РАСТВОРЕННОЙ УГЛЕКИСЛОТЫ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ УГЛЕВОДОРОДОКИСЛЯЮЩИХ БАКТЕРИЙ

В связи с использованием углеводородоксиляющих бактерий (УОБ) в качестве поисковых признаков на нефть и газ внимание многих исследователей привлекает выяснение влияния углекислоты на развитие и распространение данной группы микроорганизмов. Этот вопрос представляет значительный теоретический и практический интерес, так как углекислота — наиболее распространенный в подземных водах газ, встречающийся почти повсеместно [1—5].

Содержание и распространение в подземных водах углекислоты зависит от давления, температуры, рН среды [6]. Большое количество углекислоты рассеивается в атмосфере [6], а часть может использоваться УОБ в конструктивных процессах [7, 8]. Как продукт метаболизма CO_2 должен тормозить развитие аэробных УОБ.

Г. А. Могилевский отмечает, что на месторождениях Западной Башкирии и Северо-Западного Предкавказья участкам структур с повышенным содержанием углекислоты соответствуют зоны с пониженной интенсивностью развития УОБ [1].

В нашу задачу входило установить влияние растворенной углекислоты подземных вод на развитие УОБ в районе Кажимо-Вишерской структуры западного склона Урала. Район расположен на северо-востоке Пермской области у границы с Коми АССР в междуречье Колвы и Вишеры и приурочен к передовым складкам Урала.

Нами было обследовано 75 водонсточников. В пробах воды при микробиологических исследованиях производилось определение УОБ методом флакон-инъекции, разработанным в микробиологической лаборатории ВНИИЯГГ, и сульфатвосстанавливающих бактерий (СВБ) на среде Постгейта методом разведений. Углекислота, растворенная в подземных водах, определялась непосредственно на месте отбора ацидиметрическим титрованием 0,1 NaOH до рН 8,3 по фенолфталеину [9]. Пробны

Группы источников с разным содержанием углеводородоксиляющих бактерий

Поднятие и зона	Колич. аномальных точек, %		
	по CO_2	по УОБ	по СВБ

Группы водонсточников с повышенным содержанием УОБ

Тумганский участок	0	100	33
Бужуйское поднятие	33	78	0
Еранское поднятие	40	80	0
Сылучинское поднятие	0	50	0
Верхнеговорухинская зона	0	75	0
Романихинское поднятие	0	86	0
Трубанихинская зона	0	33	0

Группы с низким содержанием УОБ

Черепановское поднятие*	20	20	40
Кочковатихинская зона	80	20	0
Вишерогорская зона	80	20	0
Кременская зона	45	10	0

Группы с отсутствием УОБ

Тименское поднятие*	50	0	100
Кумайское поднятие*	100	0	50
Сусайский участок*	33	0	16
Валаское поднятие*	17	0	67

* Повышенное содержание H_2S .

на H_2S отбирались в бутылки с зарядкой 4%-ного уксуснокислого кадмия. Количественное определение H_2S производилось в лаборатории титрованием 0,1 N раствором гипосульфита в кислой среде с йодистым калием и 1%-ным крахмалом до перехода окраски из темно-синей к голубой или бесцветной [10].

По этим данным была проведена статистическая обработка, в результате которой выделены микробиологические аномалии по УОБ и гидрохимические аномалии по углекислоте.

По содержанию УОБ выделены три группы водонсточников: с повышенным содержанием УОБ, с низким содержанием и с отсутствием УОБ (см. таблицу).

Для выделенных групп водонсточников был подсчитан ранговый коэффициент корреляции и установлено, что в пределах групп водонсточников с высоким и низким содержанием метанооксиляющих бактерий (МОБ) существует обратная зависимость между МОБ и CO_2 (ранговый коэффициент корреляции соответственно —0,32 и —0,30). Для водонсточников с отсутствием МОБ такой зависимости не наблюдается. Низкие абсолютные значения ранговых коэффициентов корреляции по всем группам (ниже допустимых) указывают на низкую скоррелированность исследуемой зависимости.

Для пропаноксилирующих бактерий (ПОБ) наблюдаются следующие зависимости в пределах групп. Для групп с высоким содержанием ПОБ наблюдается обратная зависимость между ПОБ и CO_2 , ранговый коэффициент корреляции $-0,208$; для групп с низким содержанием ПОБ он равен $0,07$, что указывает на прямую и низко скоррелированную связь между ПОБ и CO_2 . В группе водонсточников с отсутствием аномальных точек по ПОБ ранговый коэффициент корреляции равен $-0,03$, т. е. здесь существует обратная зависимость ПОБ от CO_2 . В целом по всем группам наблюдается обратная зависимость ПОБ от CO_2 , но низкие абсолютные значения коэффициентов корреляции указывают на слабую скоррелированность зависимости.

Вероятно, на развитие УОБ вместе с CO_2 оказывает влияние сульфатредукция. В группе водонсточников, где аномальные точки по УОБ отсутствуют, хорошо развита сульфатредукция и обнаруживается повышенное содержание сероводорода. При выяснении влияния СВБ на ПОБ видно, что при низком развитии СВБ и их отсутствии ПОБ хорошо развиваются. Ранговый коэффициент корреляции соответственно равен $+0,58$ и $+0,43$. Вероятно, обнаружение СВБ в количестве единиц в 1 мл не оказывает вредного влияния на ПОБ. При высоком содержании СВБ (выше единиц в 1 мл исследуемой воды) связь их с ПОБ обратная, ранговый коэффициент корреляции $-0,24$.

Таким образом, нами установлено, что повышенное содержание углекислоты в подземных водах тормозит развитие УОБ. На развитие УОБ оказывают влияние процесс сульфатредукции и его продукт H_2S . Причем рост УОБ наблюдается при слабом развитии СВБ, а при высоких содержаниях СВБ (десятки, сотни в 1 мл) развитие УОБ либо идет слабо, либо совсем отсутствует.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. А. Могилевский. Труды Ин-та микробиологии. М., Изд-во АН СССР, 1961, с. 46.
2. Г. А. Могилевский. Советская геология, 1958, 11, 111.
3. В. Е. Нарижная. Труды Красноярск. фил. ВНИИнефть, 1959, 2, 97.
4. В. Е. Нарижная. Там же, 1959, с. 118.
5. В. М. Богданова. Прикладная биохимия и микробиология, 1966, 2, 163.
6. В. А. Соколова. Геохимия природных газов. М., «Наука», 1971.
7. С. И. Кузнецов, З. П. Телегина. Микробиология, 1957, 26, 5, 51.
8. Ю. И. Сорокин. Микробиология, 1966, 35, 5, 761.
9. Ю. Ю. Лурье. Унифицированные методы анализа вод. М., «Химия», 1973.
10. В. С. Самарина. Гидрохимическое опробование подземных вод Л., Изд-во ЛГУ, 1958.

И. Б. ИВШИНА, Г. И. ВЛАДИМИРЦЕВ

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УГЛЕВОДОРОДОКИСЛЯЮЩЕЙ МИКРОФЛОРЫ ГРУНТОВЫХ ВОД ПЕРМСКОГО ПРЕДУРАЛЬЯ И СТАВРОПОЛЬЯ

В настоящем сообщении приведены некоторые данные микробиологических исследований, выполненных в ходе газобиохимических поисковых работ на нефть и газ в условиях Пермского Предуралья и Ставропольского края.

При проведении геомикробиологического поиска важно изучение закономерностей естественного распространения в отложениях верхней осадочной толщи углеводородокисляющих бактерий. Микроорганизмы, способные активно использовать газообразные углеводороды для своего развития и концентрироваться на участках, залегающих над локальными залежами нефти и газа,— один из основных геохимических показателей нефтегазоносности недр [1].

Углеводородокисляющие микроорганизмы выделялись методом накопительной культуры из 331 пробы воды из первого постоянного водоносного горизонта, залегающего на границе зоны окисления и активной аэрации. При идентификации микроорганизмов до рода пользовались методическим пособием по определению рода бактерий [2]. Все водные пробы, наряду с изучением микробиологического и солевого состава, подвергали микрогазовому анализу на газовом хроматографе «Цвет-101». В результате исследований было выделено 39 культур, морфологически близких к роду *Mycobacterium* и способных расти в атмосфере пропана (см. таблицу). Причем число штаммов пропаноксилирующих микроорганизмов, выделенных из водных проб нефтяных месторождений Пермского Предуралья, оказалось значительно выше, чем количество культур, выделенных из проб газовых месторождений Ставропольского края. Это, по-видимому, обуславливается особенностями химического состава природных газов, мигрирующих из залежей и являющихся источником углерода для углеводородокисляющей микрофлоры. Количественное содержание и состав углеводородных газов в

Состав водорастворенного газа и количество пропаноксилирующих бактерий, выделенных из грунтовых вод нефтегазоносных районов Пермского Предуралья и Ставрополя

Местоположение	Колич. водных проб	Состав газа, $\mu\text{г}/\text{см}^3/\text{кг}$					Колич. выделенных бактерий, окисляющих пропан
		CH_4	C_2H_6	C_2H_4	C_2H_2	C_2H_4	
Ставрополье (Арзгиро-Мирненский район)	194	24,75	0,42	0,64	0,42	0,08	12
Пермское Предуралье (район Башкирского свода)	137	0,33	0,66	0,00	12,30	0,00	27

исследуемом субстрате является основным нефтепоисковым показателем при проведении прямых геохимических съемок на нефть и газ [3].

Для газовых шапок нефтяных месторождений Пермского Предуралья характерны газы, основным углеводородным компонентом которых является пропан [4]. Метан в составе водорастворенного газа Предуралья встречается в минимальных концентрациях. Результаты газового анализа вод Арзгиро-Мирненской зоны Ставропольского края показали, что ведущий углеводородный компонент газа — метан, на долю которого приходится в основном от 65 до 85 об. %.

Таким образом, была отмечена некоторая зависимость между составом углеводородоксилирующих микроорганизмов и соотношением углеводородных газов, мигрирующих к дневной поверхности.

Экологическими наблюдениями, проведенными в различные сроки 1975 г., установлено, что численность бактерий, ассимилирующих газообразные углеводороды, подвержена сезонным колебаниям. Углеводородоксилирующие бактерии обнаруживались в воде с мая по сентябрь с максимальной концентрацией в августе при температуре 22°C .

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструктивные указания по проведению газобиохимических поисковых работ на нефть и газ. М., ОНТИ ВНИИЯГГ, 1974, с. 6.
2. Методическое пособие по определению рода бактерий. Ереван, «Айтаган», 1975.
3. Г. А. Могилевский. Проблемы геохимических поисков нефтяных и газовых месторождений и вопросы ядерной геологии. Труды ВНИИЯГГ, 4. М., «Недра», 1968, с. 157.
4. Физико-химические свойства нефтей, газов и битумоидов Пермского Прикамья. Пермь, Камское отделение ВНИГНИ, 1974, с. 360.

М. А. ШИШКИН, Б. А. БАЧУРИН, Ю. В. ТЕРНОВОЙ,
В. А. ГУСЕВ, В. И. БЕЛЫЙ

О РЕЗУЛЬТАТАХ ГРУНТОВОЙ ГАЗОБИОХИМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ В АРЗГИРО-МИРНЕНСКОЙ ЗОНЕ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

Арзгиро-Мирненская зона, расположенная между Ставропольским сводом и Терско-Кумской депрессией, — одна из наиболее перспективных для открытия новых газовых залежей в Северном Предкавказье. Геологоразведочными работами в отложениях мезозоя выделено более 20 малоамплитудных локальных поднятий, на шести из которых обнаружены промысленные скопления газа и газоконденсата. Газоносность приурочена к альбскому ярусу нижнего мела (глуб. залегания 2500—2700 м) и к верхнемайкопским отложениям миоцена (глуб. залегания 250—700 м).

Учитывая, что фонд структур, выявленных геофизическими методами и поисково-структурным бурением, в значительной мере исчерпан, а эффективность сейсморазведочных работ недостаточно высока из-за сложных сейсмогеологических условий, в этой зоне в порядке опытно-методических работ с 1973 по 1976 г. была проведена грунтовая газобиохимическая съемка. Ее основными задачами были оценка поисковой информативности газобактериальных показателей и выявление участков, перспективных для постановки поисково-разведочных работ.

Исследованиями была охвачена территория площадью около 3000 км², на которой было пробурено 205 шнековых скважин глубиной до 25—30 м. Изученный разрез представлен отложениями четвертичного возраста, из которых отобраны пробы на газовый (1029 проб), микробиологический (1027 проб) и битуминологический (681 проба) анализы. Отбор, дегазация, аналитические исследования проб производились по методикам ВНИИЯГГа и ВНИГНИ [1—3].

В составе сорбированных углеводородных газов на долю метана приходится 45—100% (наиболее часто встречающиеся концентрации 65—85%). Остальные компоненты представлены гомологами метана (до гексана включительно) и непредельны-

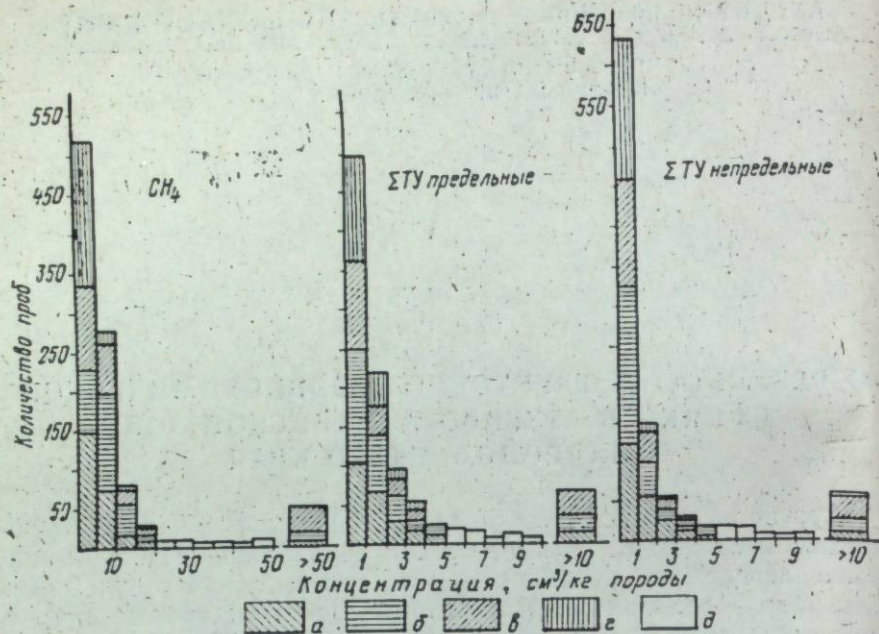


Рис. 1. Гистограммы концентраций углеводородных газов в грунтах на территории Арзгиро-Мирненской зоны.
а — 1973 г., б — 1974 г., в — 1975 г., г — 1976 г., д — разные годы.

ми углеводородами — этиленом, бутиленом и пропиленом. Отмечается высокая коррелятивная зависимость ($K = 0,7-0,8$) между концентрациями метана и суммарным количеством его газообразных гомологов.

Наиболее часто встречающиеся (модальные) значения — следующие интервалы концентраций: метана 0—0,0005, предельных и непредельных тяжелых углеводородов (ТУ) 0—0,0001 $см^3/кг$. Характеры распределения предельных и непредельных газов имеют большое сходство (рис. 1), что позволяет рассматривать тяжелые углеводороды в их сумме (ΣТУ), если применять ее как отдельный показатель наряду с метаном. За фоновые величины приняты модальные значения с учетом среднеквадратического отклонения. Верхний предел фоновых концентраций метана составляет 10 усл. ед. (0,001 $см^3/кг$), суммы тяжелых углеводородов — 4 усл. ед. (0,0004 $см^3/кг$). Значения газовых показателей, выше данных, рассматривались как аномалийные.

Распределение концентраций десорбированных газов по глубине неравномерно. Повышенные содержания наблюдаются на разных уровнях отбора проб. Это обусловлено, по-видимому, физико-химическими свойствами грунтов и в первую очередь их сорбционной способностью. Максимальная газонасыщенность

Таблица 1
Соотношение углеводородных компонентов рассеянных и пластовых газов

Тип газа	№ скв.	Возраст опробования	Содержание газов, отн. %					
			CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	C_5H_{12}	C_6H_{14}
Газовая залежь	45	Нижний мел	77,2	10,9	3,03	1,24	0,63	1,21
Рассеянный в зоне залежи			78,9	7,66	3,2	1,39	1,26	0
Водорастворенный	35	Нижний мел	73,8	11,32	1,36	0,19	0,02	0
Рассеянный вне зоны залежи			86,8	2,13	0,12	0	0	0

зафиксирована в суглинках. Более плотные породы (глины) характеризуются меньшими величинами концентраций. Существенное влияние на количественное содержание газов оказывает влажность грунтов. Повышение влажности и глинистости пород увеличивает их сорбционную способность [4].

Результаты микробиологических анализов показали, что в грунтах содержатся бактерии, окисляющие метан, пропан, бутан, пентан и гексан. Наиболее широко распространены метаноокисляющие бактерии. Интенсивность развития бактерий в большинстве случаев не превышает 100—150 усл. ед. Однако встречаются пробы, где этот показатель достигает значительных величин (300—500). В большинстве случаев углеводородокисляющие бактерии обнаруживаются в одном-двух образцах из пяти-шести, отобранных на каждой скважине. При анализе распределения индикаторной микрофлоры по глубине отмечается отсутствие каких-либо закономерностей. Не получено также значимой связи с влажностью грунтов.

По данным люминесцентно-битуминологического анализа, общее содержание рассеянных битуминозных веществ в исследованных грунтах крайне низкое. Легкие углеводороды повсеместно отсутствуют. Содержание нейтральных и кислых компонентов изменяется от следов до 0,0012%, органического углерода ($C_{орг}$) — от следов до 0,03% и лишь в единичных пробах от 0,12 до 0,18%, а концентрации органического вещества — от следов до 0,27%.

Крайне низкое содержание рассеянного органического вещества и битумоидов, отсутствие значимых корреляционных зависимостей между концентрациями углеводородных газов и органического вещества вмещающих пород позволяет сделать вывод о преимущественно эпигенетическом, миграционном характере углеводородсоставляющей части газов, рассеянных в поверхностных отложениях. Дополнительным свидетельством миграционной природы углеводородных газов четвертичных отложений служит существенное сходство соотношения компонентов рассеянных и пластовых газов (табл. 1).

Таблица 2

Содержание рассеянных углеводородных газов в зоне влияния залежей

Месторождение	№ скв.	Колич. проб	Содержание, см ³ /кг · 10 ⁻⁴		Контрастность по		Примечание
			метана	ТУ	метану	ТУ	
Крутоярское	3	5	71,9	22,2	7,2	5,5	В контуре 0,5 км от контура Южный купол
	2	6	48,7	12,3	4,9	3	
	7	4	43,7	17,8	4,4	5,9	
Среднее	—	—	54,8	17,4	5,4	4,8	
Сельское, нижнемеловая залежь	8	7	8,5	1,28	1	1	В контуре То же 0,4 км от контура 1 км от контура
	6	7	4,3	0,96	1	1	
	5	3	5,9	0,74	1	1	
	7	5	4,8	0,38	1	1	
Среднее	—	—	5,9	0,84	Фон	Фон	
Сельское, майкопские залежи	16	7	20,2	5,8	4	4	В контуре То же 0,6 км от контура 1,4 км от контура
	14	6	18,6	2,8	4	2	
	10	5	5,9	0,77	1	1	
	13	6	17,4	3,08	3	2	
	17	5	22,3	4,35	4	4	
Среднее	—	—	16,9	3,4	3	3	
Мирненское	38	7	13,2	2,6	2	2	Контур В контуре 0,6 км от контура 1 км от контура
	36	7	7,9	1,08	1	1	
	23	6	11,0	3,58	1,5	1	
	37	7	5,9	1,22	1	1	
Среднее	—	—	9,5	2,12	Фон	Фон	
Южно-Серафимское (контур ориентировочный)	5	5	15,4	4,05	2	2	В контуре То же 0,3 км от контура То же 0,4 км от контура
	6	5	4,4	0,13	1	1	
	20	6	3,4	1,53	1	1	
	19	5	2,3	1,27	1	1	
	24	5	2,7	0,41	1	1	
	7	5	90,4	31,31	10	20	
Среднее	—	—	19,8	6,45	3	4	

Таблица 3

Частота встречаемости углеводородокисляющих бактерий в зоне влияния залежи

Месторождение	Колич. исследованных проб	Колич. проб с бактериями, окисляющими			
		метан	пропан+бутан	пентан	гексан
Крутоярское	21	4	4	—	1
Сельское	12	5	11	11	9
нижнемеловая залежь . .	14	3	—	1	4
майкопская залежь . . .	11	7	2	1	—
Мирненское					

Для выявления геолого-поисковой информативности газовых и микробиологических показателей по результатам грунтовой газобиохимической съемки нами было проанализировано их распределение над известными месторождениями (табл. 2, 3).

Крутоярское месторождение. В пределах контура газоносности пробурено четыре шнековые скважины. Аномальные концентрации метана и ТУ смещены в северо-западном направлении по отношению к контуру. Размеры аномалий превышают размеры залежи, что, очевидно, обусловлено процессами «ореольного» рассеяния газов [2]. Минимальные размеры аномалий отмечаются по гексану, максимальные — по легким компонентам (рис. 2). Максимальные концентрации углеводородных газов наблюдаются непосредственно в контуре газоносности залежи. Величина общей контрастности газовой аномалии составляет по метану 5, по сумме ТУ 4,8.

Для участка в целом характерна низкая интенсивность развития индикаторной микрофлоры. Только над центральной частью структуры зафиксировано наличие метанокисляющих бактерий (240 усл. ед.).

Сельское месторождение. В районе нижнемеловой залежи пройдено шесть шнековых скважин, пробы из которых характеризуются фоновым содержанием углеводородных газов. Концентрация метана 4—8,5, ТУ — 0,6—2,0 усл. ед. Анализ распределения отдельных компонентов газа (см. рис. 2) показывает, что наиболее высокие концентрации фиксируются над контуром газоносности. В целом низкая газонасыщенность в поверхностных отложениях обусловлена, по-видимому, интенсивным развитием углеводородокисляющих микроорганизмов («бактериальный фильтр») [5]. Наиболее контрастная аномалия отмечается по бактериям, окисляющим ТУ. Интенсивность их развития достигает 300—350 усл. ед.

Северо-западнее нижнемеловой залежи в районе Эдельбайского поднятия открыты небольшие верхнемейкопские газовые скопления. Содержание метана в грунтах здесь колеблется в



1 — 0,8 1 0 4/13 2 x 125/3 x 134 3 — 4 — 5 — 10 — 6

Рис. 2. Распределение углеводородных компонентов в грунтах над Сельским и Крутойарским месторождениями.
 1—3 — шнековая скважина 1973 г. (1), 1974 г. (2) и 1975 г. (3); в числителе — номер скважины, в знаменателе — содержание УВ
 газов см³/кг породы; 4 — контур газонасыщенности майконских залежей; 5 — контур газонасыщенности нижнемоловых залежей; 6 —
 изогазы. I — Крутойарское месторождение; II — Сельское месторождение.

пределах 6—22 усл. ед., суммы ТУ — в пределах 1—8,5 усл. ед. Газовая аномалия несколько смещена в западном направлении (см. рис. 2). Контрастность ее по метану равна 3, по ТУ — 3,0. По результатам микробиологического анализа лишь в отдельных пробах отмечено наличие углеводородокисляющих бактерий (100—200 усл. ед.). Интенсивность развития бактерий, окисляющих ТУ, не превышает 100 усл. ед.

Мириенское месторождение. В контурах газоносности пробурено две шнековые скважины. Содержание углеводородных газов в грунтах не превышает фонового: концентрация метана 0,0005—0,0007, ТУ 0,00005—0,0003 см³/кг. Углеводородокисляющие бактерии практически отсутствуют. В целом характер распределения газовых и микробиологических показателей ввиду малого количества скважин окончательно не выяснен.

Южно-Серафимовское месторождение. Разбурено 22 шнековыми скважинами. Содержание рассеянных углеводородных газов не превышает фон: по метану от 2 до 10, по ТУ от 0,5 до 5 усл. ед. Южнее открытой залежи выявлена газовая аномалия с контрастностью по метану 8, по сумме ТУ 20. Однако связь этой аномалии с залежью нельзя считать твердо установленной. Не исключена возможность ее образования за счет другого источника, расположенного южнее. В пределах открытой залежи пробурено девять шнековых скважин. В большинстве проб содержание ТУ ниже фонового (1,5—5,8 усл. ед.). Концентрации метана составляют 12—16 усл. ед. Максимальные значения газовых показателей зафиксированы в единственной скважине, расположенной непосредственно над залежью: по метану 27,5, по ТУ 9,8 усл. ед. Бактериальная аномалия не обнаружена.

Таким образом, не все газовые залежи характеризуются контрастными газобioхимическими аномалиями. Из рассмотренных пяти газовых залежей контрастные аномалии по концентрациям углеводородных газов в грунтах зафиксированы над Крутойрским месторождением и майкопскими залежами Сельской площади. Мириенское и Сельское (нижнемеловая залежь) месторождения характеризуются фоновыми концентрациями как по метану, так и по ТУ. Отсутствие аномалий может быть объяснено геолого-геохимическими особенностями разреза, сложной тектонической обстановкой, значительными глубинами залегания основного (нижнемелового) газоносного комплекса, развитием «бактериального фильтра», а также в какой-то степени недостатками методических и технических условий отбора и дегазации проб грунта. Размеры аномалий и их смещение относительно залежей обусловлены, очевидно, как особенностями процесса вертикальной миграции, так и перераспределением газовых компонентов в верхних горизонтах осадочного чехла [6].

С целью возможного повышения информативности газовых показателей, являющихся основными поисковыми критериями

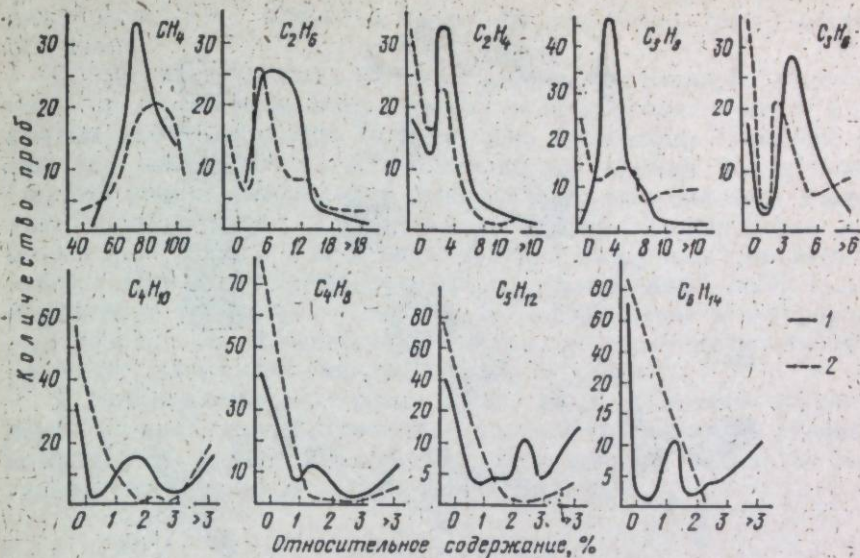


Рис. 3. Качественный состав углеводородных газов над залежью (1) и над непродуктивной частью пласта (2) в зависимости от продуктивности нижележащих горизонтов.

при геохимических съемках на нефть и газ, наряду с количественным содержанием углеводородных газов, авторами при интерпретации материалов было использовано и соотношение отдельных углеводородных компонентов между собой [7, 8].

Анализ процентного содержания отдельных компонентов в сумме углеводородных газов показал, что независимо от количественного содержания газа характер соотношения отдельных компонентов отличается для проб, отобранных в пределах контура газоносности и над непродуктивными участками. Кривые распределения углеводородных газов над залежью и в зоне ее влияния существенно отличаются от аналогичных кривых над непродуктивной частью пласта (рис. 3). Это обусловлено, по-видимому, типом исходного газа [7, 8]. Углеводородные газы зоны влияния залежей имеют вид одновершинной кривой, а рассеянные газы над непродуктивной частью пласта, на формирование которых оказывают влияние многочисленные факторы, — многовершинных кривых распределения. Характерные для данных классов интервалы концентраций отдельных компонентов рассеянных газов позволяют определить тип исходного газа (газовая залежь, водорастворенный газ). Выявленная закономерность была использована в качестве дополнительного поисково-геохимического критерия. Обработка и интерпретация данных производилась с помощью критерия Байеса [8].

Используя данную методику, можно количественно оценить вероятность отнесения пробы десорбированного газа к тому или

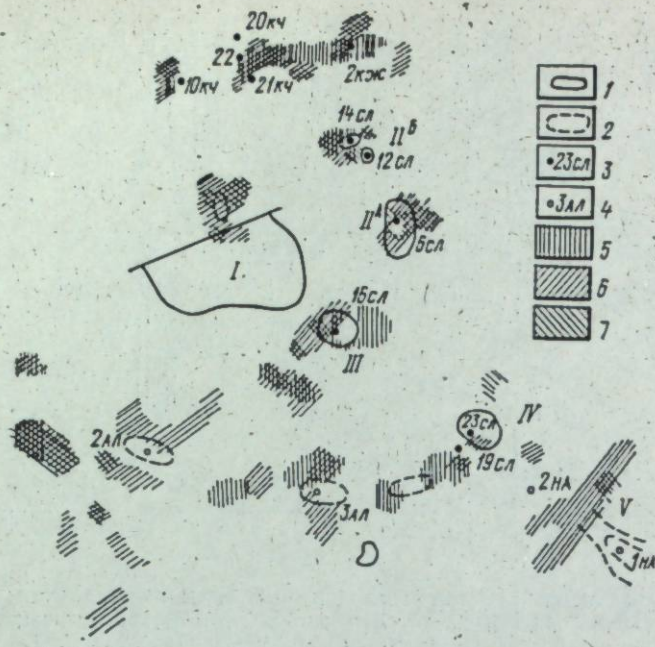


Рис. 4. Результаты газобиохимической съемки.

1 — газовые залежи; 2 — структуры, подготовленные сейсморазведкой; 3 — глубокие разведочные скважины; 4 — проектные разведочные скважины; 5 — аномалии по концентрациям УВ-газов; 6 — аномалии по метанооксилюющим бактериям; 7 — аномалии по бактериям, окисляющим тяжелые углеводороды. I—V — площадки: I — Мирненская; II^A — Сельская (нижнемеловая залежь); II^Б — Сельская (майкопская залежь); III — Крутовьярская; IV — Южно-Серафимовская; V — Ново-Александровская.

инному исходному типу (газовая залежь, водорастворенный газ). В качестве обучающей совокупности использовано распределение углеводородных газов в пределах продуктивных и непродуктивных участков на изученных месторождениях.

Комплексный подход при экстраполяции полученных данных на неразбуренные площади с использованием показателей количественного содержания и качественного соотношения отдельных компонентов углеводородных газов, а также микробиологических данных позволил выделить перспективные участки, рекомендуемые к детализации и заслуживающие внимания при заложении поисково-разведочных скважин (рис. 4).

Выводы

1. Сорбированные углеводородные газы в грунтах, очевидно, являются эпигенетическими и в основном миграционными из залежей. Для достоверного выяснения природы газовых аномалий необходимо изучение геохимических условий распределения газов и органического вещества по всему разрезу осадоч-

ных отложений в пределах и вне контура газоносности месторождений.

2. Многофакторность влияния в зоне современного гипергенеза на абсолютные концентрации углеводородных газов различных причин, природа которых пока достоверно не выяснена, снижает возможности газобиохимической съемки по грунтам. Однако анализ результатов выполненных исследований позволяет сделать вывод о достаточно высокой газопоисковой информативности этого вида исследований для рассматриваемого района. При интерпретации геохимических данных необходимо комплексно учитывать наряду с концентрациями углеводородных газов и их качественный состав, а также интенсивность развития углеводородокисляющей микрофлоры.

3. Наблюдаемое смещение выявленных аномалий обусловлено, по-видимому, возможным перераспределением газовых компонентов в верхних горизонтах осадочного чехла за счет гидрогеологических и тектонических факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструктивные указания по проведению газобиохимических поисковых работ на нефть и газ. М., ОНТИ ВНИИЯГГ, 1974.
2. Методические рекомендации по геохимическим методам поисков месторождений нефти и газа. М., ОНТИ ВНИИЯГГ, 1975.
3. Ю. И. Корчагина, О. П. Четверикова. Методы исследования рассеянного органического вещества осадочных пород. М., «Недра», 1976.
4. И. С. Старобинец. О механизме дифференциации газообразных углеводородов при миграции. Труды ВНИИЯГГ, 1975, 22, 48.
5. Г. А. Могилевский, В. М. Богданова, С. Н. Кичатова, Г. П. Славина, З. П. Телегина, А. А. Филиппова, Б. С. Черкинская. Труды ВНИИЯГГ, 8 М., «Недра», 1970, с. 211.
6. А. А. Клименко. Советская геология, 1974, 9, 135.
7. Н. Г. Заикин, А. С. Медведев. Геохимические исследования на нефть и газ. М., 1974 (ЦНИИТЭнефтегаз), 18.
8. А. А. Обори, А. В. Благинных, И. Г. Калачникова, Б. А. Бачурии, В. И. Галкин. Труды ВНИГНИ, 123. Пермь, 1973, с. 471.

Б. А. БАЧУРИН, М. А. ШИШКИН, В. И. БЕЛЫЙ

ИНФОРМАТИВНОСТЬ ГАЗОБИОХИМИЧЕСКИХ
И ГАЗОГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ПРИ ОЦЕНКЕ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ
ЛОКАЛЬНЫХ СТРУКТУР
В ПРЕДЕЛАХ ВЕРХНЕКАМСКОЙ ВПАДИНЫ

В последние годы при проведении поисково-разведочных работ на нефть и газ в различных районах Советского Союза широкое распространение получили геохимические методы поисков. Теоретическая основа нефтегазописковой геохимии — представление об ореольном рассеянии углеводородных компонентов из залежей в окружающие породы и пластовые воды [1]. В результате данных процессов ореолы рассеяния, характеризующиеся аномальными (по сравнению с фоном) значениями геохимических показателей (рассеянные и водорастворенные углеводородные газы, компоненты водорастворенного органического вещества, углеводородокисляющие бактерии). В комплекс данных исследований входят как поверхностные методы (водная газобиохимическая съемка, грунтовая газобиохимическая съемка), так и методы, основанные на изучении подземных геохимических обстановок (газокерновая съемка по опорным горизонтам, газогидрохимические исследования глубоких разведочных скважин). Информативность отдельных видов геохимических исследований во многом определяется геолого-тектоническими и геохимическими особенностями изучаемых территорий.

Верхнекамская впадина — обширная гетерогенная структура, перекрывающая на севере Волго-Уральской провинции крупные тектонические элементы [2]. Нефтегазопоявления той или иной интенсивности встречены почти во всех стратиграфических подразделениях осадочного чехла. Промышленные скопления нефти и газа связаны со следующими региональными продуктивными комплексами: девонским терригенным, верхнедевонско-турнейским карбонатным, нижнекамменноугольным тер-

ригенным, среднекамменноугольным карбонатным. Нефти Верхнекамской впадины характеризуются высокой плотностью ($0,890—0,960 \text{ г/см}^3$) и содержанием серы (2,5—5,2%). Газонасыщенность нефтей колеблется в пределах 12—30 м³/т [3].

Основная геохимическая особенность данной территории — высокое содержание азота в составе попутных и водорастворенных газов. Концентрация азота в составе нефтяных газов Верхнекамской впадины составляет 45—70%, а в составе газовых шапок среднекамменноугольных залежей — 80—95%. Высокое содержание азота и образование скоплений азотного газа обусловлено, по-видимому, особенностями генезиса и преобразования органического вещества [4]. Углеводородные компоненты в составе нефтяных газов представлены в основном тяжелыми гомологами метана. Концентрации метана крайне незначительны (10%) и, как правило, меньше содержания, более тяжелых углеводородов (этана, пропана).

Водорастворенные газы (ВРГ) пластовых вод на территории Верхнекамской впадины представлены азотом (80—98%). Максимальные концентрации углеводородных газов (метана 10—15%, ТУ 3—8%) зафиксированы в водах внутриконтурных и приконтурных скважин. С удалением от залежи концентрация метана и его гомологов уменьшается. В водах «пустых» структур содержание метана составляет 0,5—3%, тяжелые углеводороды отсутствуют. Несколько большие концентрации углеводородных газов отмечены на площадях, где имеются нефтепроявления. Аналогичный состав попутных и водорастворенных газов наблюдается в прилегающих районах Татарского свода, Чермозской седловины, Камской моноклинали. В восточном направлении концентрация метана в составе газов увеличивается при одновременном уменьшении доли азота.

Анализ распределения газовых и гидрохимических показателей по разрезу Верхнекамской впадины показал однотипность их состава, что позволяет не дифференцировать данные показатели по возрасту вмещающих отложений.

Для выяснения информативности газогидрохимических показателей при оценке перспектив нефтегазоносности локальных структур было проанализировано их распределение в пределах известных месторождений и непродуктивных площадей (рис. 1). В качестве газогидрохимических показателей использовались водорастворенные газы (содержание метана, тяжелых углеводородов, азота) и компоненты органического вещества пластовых вод, определенных по методикам ВНИГРИ [5] и ИГЕРГИ [6]. Анализ распределения данных позволил рекомендовать в качестве нефтепоисковых показателей в пределах Верхнекамской впадины содержание в составе ВРГ тяжелых углеводородов (ТУ) и метана, в составе водорастворенного органического вещества (ВРОВ) углеводородов, фенолов (методика ВНИГРИ), битуминозных веществ, летучих и нелетучих

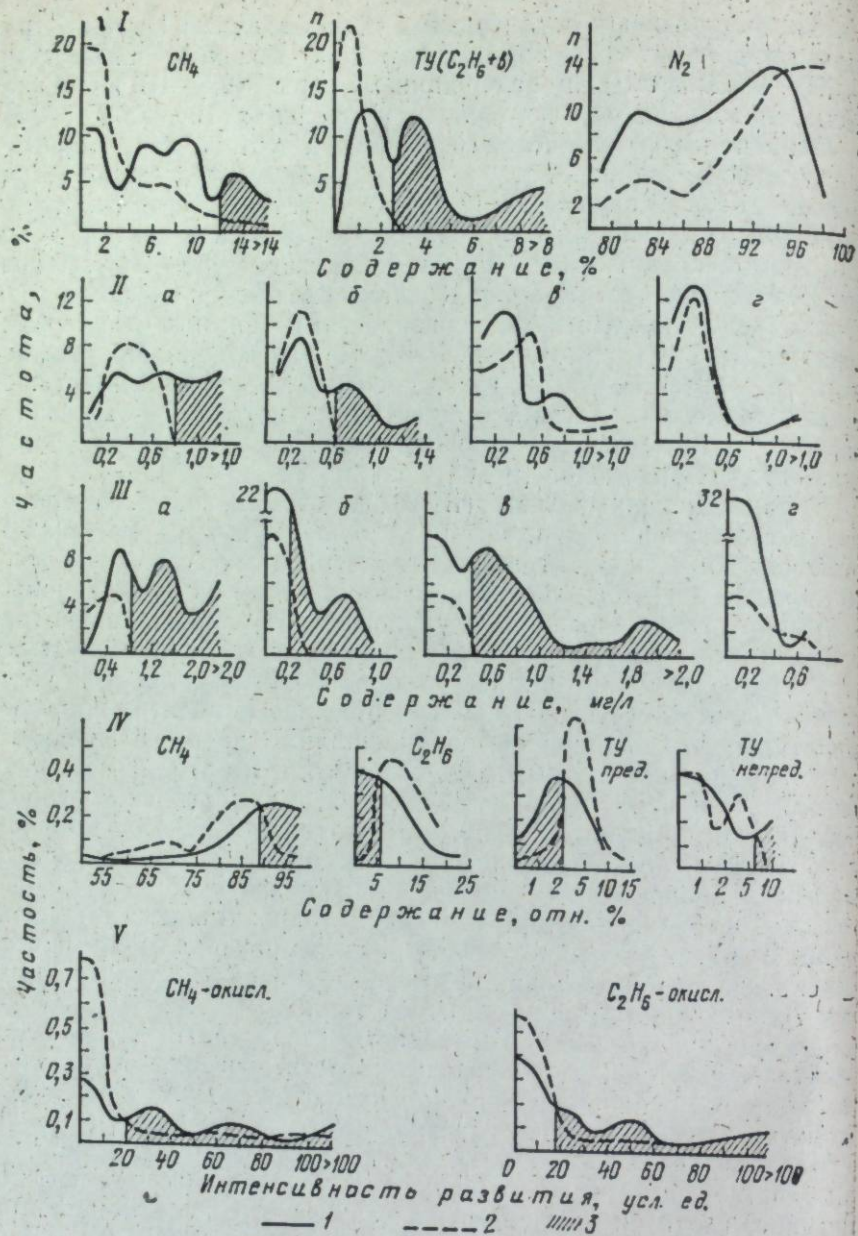


Рис. 1. Распределение газогидрохимических и газобиохимических показателей в зависимости от продуктивности локальных структур.

I — водорастворенные газы; II — водорастворенное органическое вещество (методика ВНИГРИ): а — углеводороды, б — фенолы, в — кислоты, г — основные (азотсодержащие); III — водорастворенное органическое вещество (методика ИГЕРГИ): а — битуминозные вещества, б — нелетучие фенолы, в — летучие фенолы, г — летучие жирные кислоты; IV — сорбированные грунтами газы; V — углеводородокисляющие бактерии. 1 — продуктивные структуры (зона влияния залежей); 2 — непродуктивные площади (зона отсутствия залежей); 3 — интервалы концентраций, характерные для продуктивных структур.

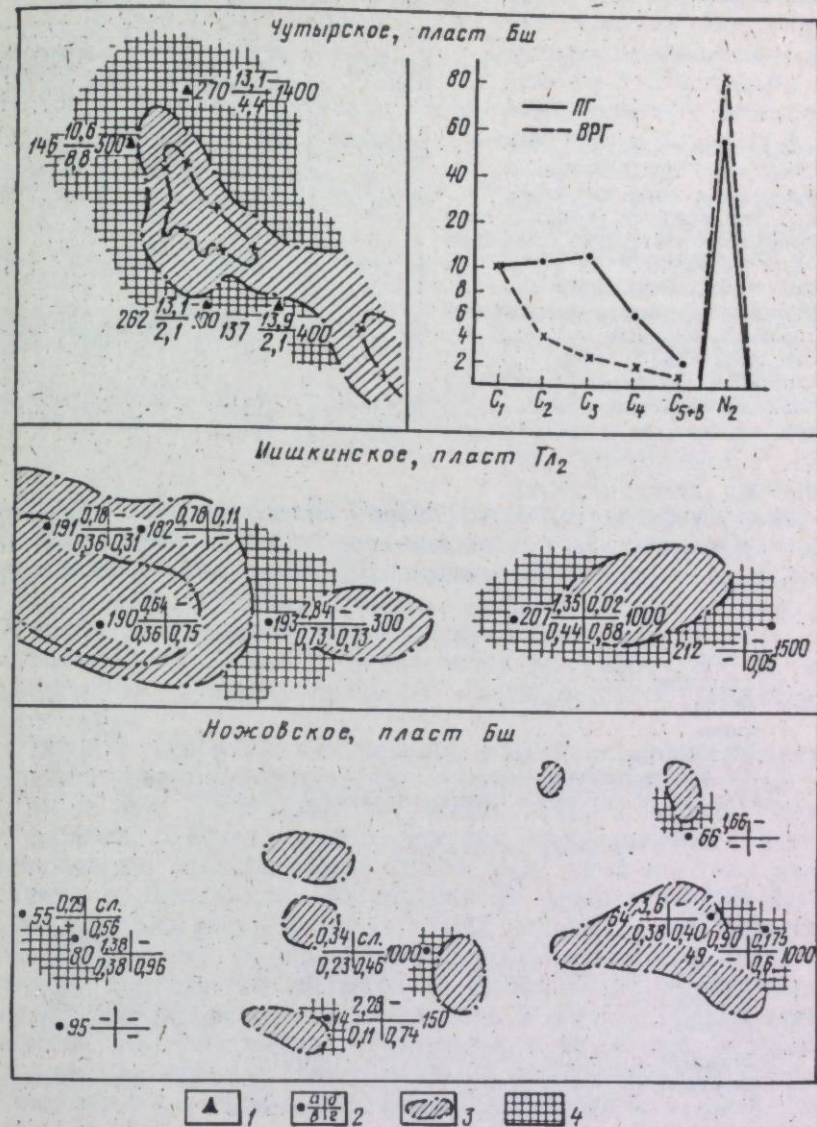


Рис. 2. Распределение газогидрохимических показателей в зоне влияния залежей.

1 — характеристика газовой составляющей пластовых вод: перед дробью — № скважины, в числителе — содержание метана, об.%, в знаменателе — содержание тяжелых углеводородов, об.%, за дробью — расстояние до контура нефтеносности, м; 2 — характеристика водорастворенного органического вещества: перед дробью — № скважины, содержание, мг/л, а — битуминозных веществ; б — бензола; в — нелетучих фенолов; г — летучих фенолов; за дробью — расстояние до контура нефтеносности, м; 3 — внешний контур нефтеносности; 4 — зона влияния залежей.

Распределение газобioхимических показателей на месторождениях в Юськинское месторождение

Газобioхимические показатели	Юськинское месторождение			
	Контур	Приконтурный участок	Законтурный участок	Фоновые значения
Концентрация метана, см ³ /кг·10 ⁻⁴	196,39	263,58	85,75	148,57
Колич. аномалийных точек	8	13	5	
Концентрация этана, см ³ /кг·10 ⁻⁴	4,97	14,97	4,31	8,08
Колич. аномалийных точек	8	14	6	
Концентрация тяжелых углеводородов, см ³ /кг·10 ⁻⁴	0,89	3,09	2,66	2,21
Колич. аномалийных точек	5	13	5	
Интенсивность развития метанооксиляющих бактерий, усл. ед.	27,69	41,47	62,25	43,39
Колич. аномалийных точек	8	9	8	
Интенсивность развития пропанооксиляющих бактерий, усл. ед.	34,59	35,16	36,45	35,33
Колич. проб.	105	165	130	400

фенолов, бензола (методика ИГиРГИ). Газобioхимические и газогидрохимические показатели нефтегазоносности локальных структур в пределах Верхнекамской впадины следующие:

Газобioхимические показатели

Содержание, отн. %	> 90
метана	< 5
этана	< 2
ТУ предельных	> 5
ТУ непредельных	> 20
Интенсивность метан- и пропанооксиляющих бактерий	> 20

Газогидрохимические показатели

Содержание в составе ВРГ, об. %	> 12
метана	> 2,5 (до 1800)*
ТУ	
Содержание в составе ВРОВ (методика ВНИГРИ), мг/л	
углеводородов	> 0,8 (500—1000)
фенолов	> 0,6 (300—1000)
Содержание в составе ВРОВ (методика ИГиРГИ), мг/л	
битуминозных веществ (Сорг. хл.)	> 0,8 (1000—1200)
фенолов хлороформного экстракта (нелетучих фенолов)	> 0,2 (500—1200)
летучих фенолов	> 0,4 (250—1700)
бензола	> 0 (до 300)

* Цифры в скобках — максимальная сфера прогнозного действия показателя по пласту, м.

Отсутствие в ряде случаев аномальных значений газогидрохимических показателей в зоне влияния залежей обусловлено по-видимому, составом и физическими свойствами нефтей

пустой структуре

Гордошурская структура		
Центральная часть поднятия	Периферийная часть поднятия	Фоновые значения
111,34	384,41	249,36
12,59	39,70	26,29
4,30	9,91	7,14
10,95	37,17	24,77
20,79	17,82	19,21
95	110	205

растворенных в них газов [7], а также характером гидродинамической связи залежи с пластовыми водами (развитие изолирующих слоев в подошве залежи). Кроме того, на распределение газогидрохимических показателей в пластовых ореолах рассеяния оказывают влияние тип залежи (газонефтяная, нефтяная), структурные особенности ловушки, литологический состав и характер порового пространства вмещающих пород, динамика

вод («лобовой и тыловой» эффект) и др. Характер распределения газогидрохимических показателей для ряда известных месторождений Верхнекамской впадины представлен на рис. 2.

Масштабы пластовых ореолов рассеяния (сфера прогнозного действия показателей) в условиях Верхнекамской впадины составляют: для газовых показателей до 1500—1800 м, для компонентов водорастворенного органического вещества — 300—1700 м.

Наличие вертикальных ореолов рассеяния подтверждается изучением газогидрохимических показателей в водоносных горизонтах над известными залежами. Так, в пробах воды, отобранных в 40—45 м над верхним продуктивным пластом Мишкинского месторождения (пласт В₂), зафиксированы повышенные концентрации битуминозных веществ (1,33 мг/л), нелетучих (0,63 мг/л) и летучих (1,63 мг/л) фенолов. В составе ВРГ, отобранных из верхнекаменноугольно-нижнепермских отложений данного месторождения, установлено наличие тяжелых углеводородов вплоть до пропана. В составе органического вещества пластовых вод, отобранных в 28 м над верейской залежью Чутырского месторождения, зафиксированы битуминозные вещества (1,74 мг/л), бензол (0,025 мг/л).

Для выяснения характера отражения газонефтяных залежей в поверхностных отложениях были проведены грунтовые газобioхимические исследования по шнековым скважинам (глуб. 20—25 м) над известными месторождениями (Юськинским, Кыркмасским и др.) и «пустыми» структурами (Гордошурской, Июльской и др.) [8]. Юськинское нефтяное месторождение и Гордошурская структура были выбраны в качестве эталонных. С целью определения нефтепоисковой информативности грунтовой газобioхимической съемки были изучены концентрации и

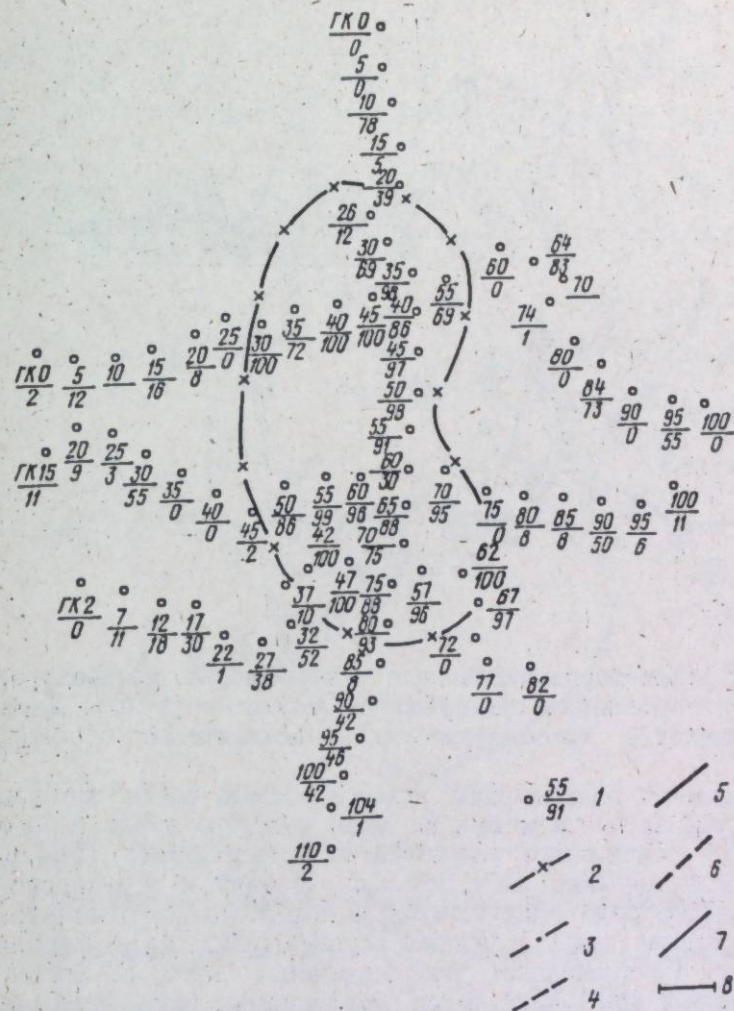
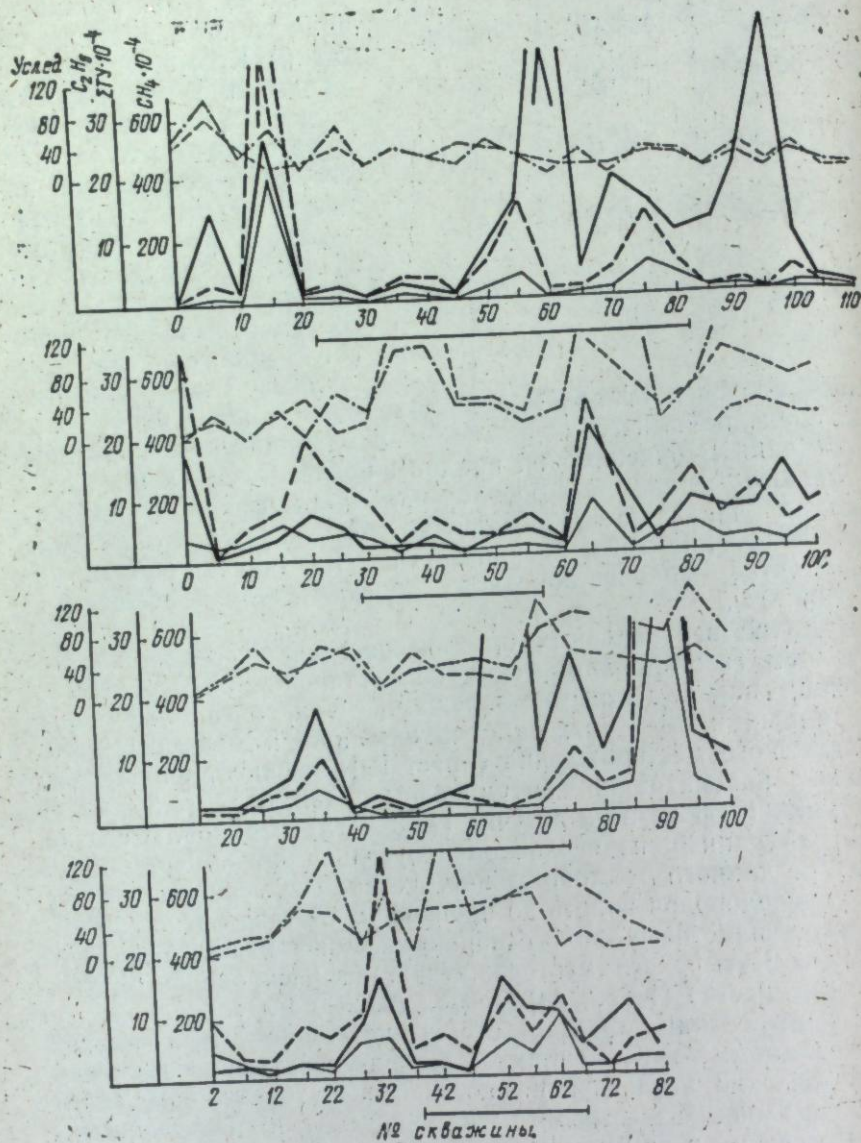
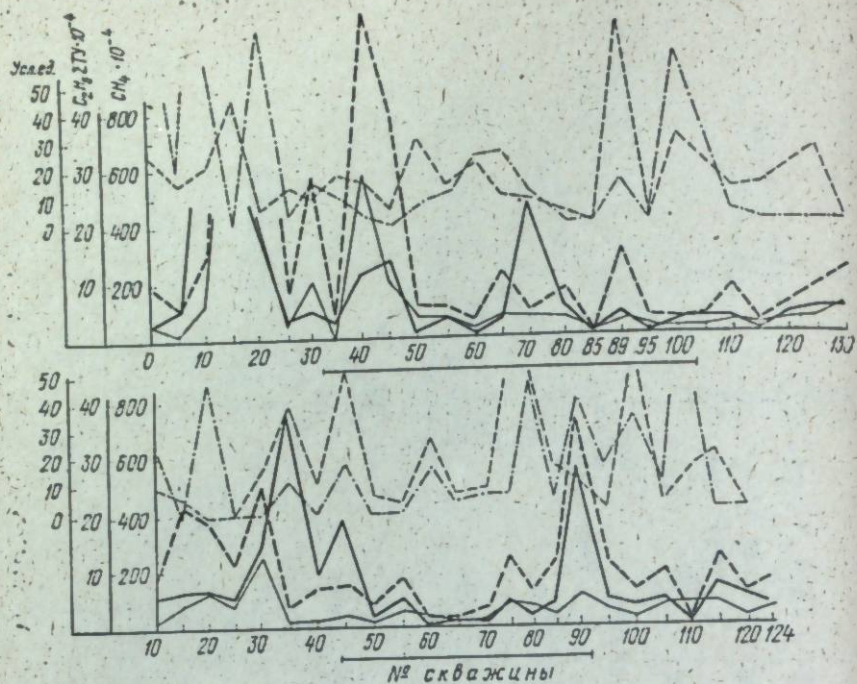


Рис. 3. Результаты газобioхимических исследований (Юськинское месторождение).

1 — шнековая скважина; в числителе — номер скважины, в знаменателе — вероятность наличия залежи; 2, 8 — контур нефтеносности; 3 — интенсивность развития метанооксиляющих бактерий, усл. ед. оптич. плотности биомассы; 4 — интенсивность развития пропанооксиляющих бактерий; 5 — концентрация метана; 6 — концентрация этана; 7 — концентрация тяжелых углеводородов.



состав углеводородокисляющей микрофлоры, углеводородных газов и рассеянного органического вещества (РОВ). Характер распределения газобиохимических показателей отражен на рис. 1.

Основным компонентом углеводородной части сорбированных газов является метан, на долю которого приходится от 50 до 100%. Остальные компоненты представлены гомологами метана до пентана включительно. Наряду с углеводородами предельного ряда присутствуют в незначительных количествах также и непредельные углеводородные газы: этилен, пропилен, бутулен. Распределение углеводородных газов не зависит от содержания РОВ в грунтах (коэффициент корреляции 0,32). Редкая встречаемость и низкое содержание битуменов свидетельствуют о малой вероятности генерации сингенетических углеводородных газов за счет биохимических процессов преобразования органических веществ, хотя роль последних нельзя исключить в виду присутствия в составе сорбированных газов непредельных углеводородов.

По концентрациям рассеянных углеводородных газов над Юськинским месторождением получена четкая кольцевая аномалия, характеризующаяся пониженными газовыми показателями над контуром нефтеносности и более высокими — в при-

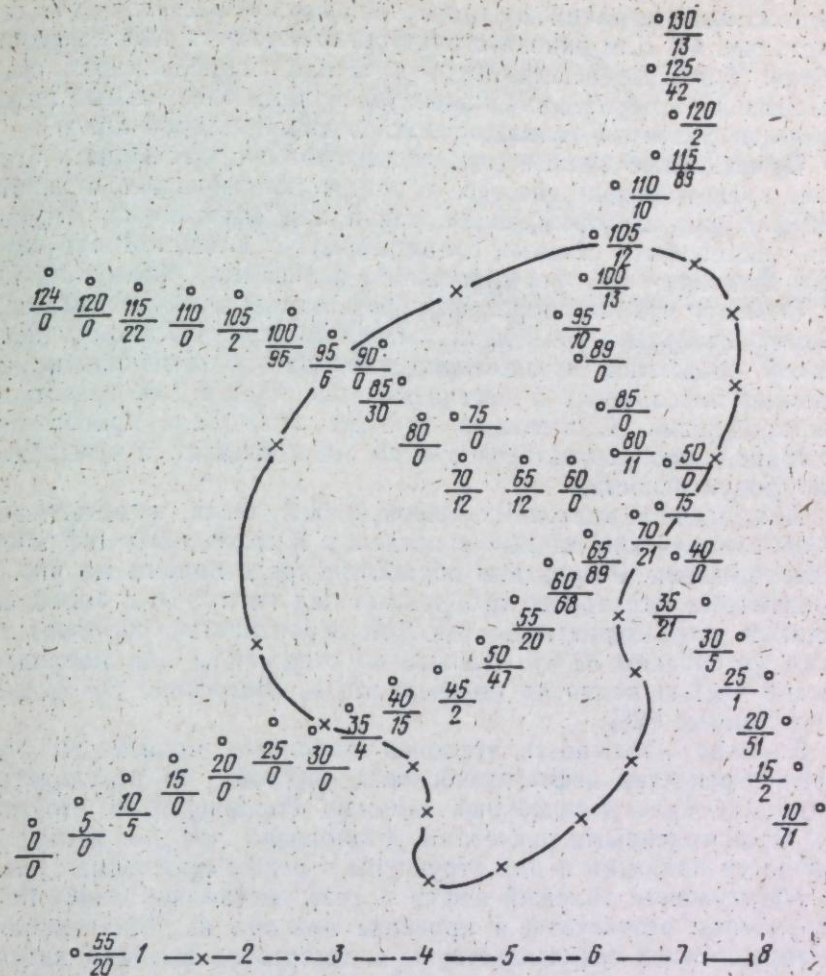


Рис. 4. Результаты газобиохимических исследований (Гордошурская структура).

1, 3, 7 — то же, что 1, 3—7 на рис. 3; 2, 8 — центральная часть поднятия.

контурной зоне влияния залежи (см. таблицу, рис. 3). По бактериальным показателям такой картины не наблюдается. Однако район Юськинского месторождения отличается от Гордошурской структуры более высокими величинами интенсивности развития углеводородокисляющей микрофлоры. Четкой коррелятивной связи газовых и бактериальных показателей не выявлено.

По средним значениям газовых и в меньшей степени бактериальных показателей над Гордошурской структурой выделяется аномалия субкольцевого типа с приуроченностью повы-

шенных концентраций к периферийной зоне поднятия (см. таблицу, рис. 4). Для района структуры отмечаются более высокий общий фон газонасыщенности и тесная коррелятивная связь газовых и бактериальных показателей при более низкой интенсивности развития углеводородокисляющей микрофлоры.

Приведенные данные свидетельствуют о существенном сходстве распределения газовых и микробиологических показателей как над месторождением, так и над «пустой» структурой. Это может быть связано, по-видимому, с влиянием структурного фактора на формирование кольцевых аномалий [9].

Поэтому при интерпретации результатов газобиохимической съемки авторами применена методика вероятностно-статистической обработки, при которой учитывается соотношение отдельных показателей и рассчитывается эталон для известного месторождения. С помощью эталона возможно производить экстраполяцию результатов съемки на площадях с невыясненной продуктивностью.

При расчете эталонных вероятностей были использованы газобиохимические данные в пределах Юськинского нефтяного месторождения. Результаты обработки представлены на рис. 3. Практически все пробы, отобранные над контуром и зоной его влияния, характеризуются высокой вероятностью наличия залежи (в среднем 83%). Данные по скважинам над непродуктивной частью поднятия подтвердили ее отсутствие со средней вероятностью 82%.

Высокая надежность эталонов позволила произвести проверку перспектив нефтегазоносности «пустой» по результатам испытания трех разведочных скважин Гордошурской структуры. Произведенными расчетами установлено, что для центральной части поднятия и для структуры в целом прогнозная оценка обнаружения залежей нефти и газа составляет лишь 19%. Полученные результаты и проверка эталона на близлежащих месторождениях свидетельствуют о достаточно высокой информативности примененного способа обработки газобиохимических данных.

Комплексное применение газогидрохимических по пластовым водам и газобиохимических показателей по грунтовой съемке позволит более уверенно решать вопрос о перспективах нефтегазоносности локальных структур на различных этапах поисково-разведочных работ в условиях Верхнекамской впадины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы прямых геохимических методов поисков нефтяных и газовых месторождений (временное методическое наставление). М., ОНТИ ВНИИЯГГ, 1967.

2. Геология и нефтеносность Удмуртской АССР. Ижевск, «Удмуртия», 1976.

3. Нефти, газы и битумы Пермского Прикамья и сопредельных районов (каталог физико-химических свойств). Пермь, 1977.

4. Н. Б. Валитов. Труды Геологического ин-та, 30. Казань, 1971, с. 313.

5. З. С. Герасюто. Органическое вещество подземных вод и его значение для нефтяной геологии. М., 1967 (ВНИИОЭНГ), с. 211.

6. Е. А. Барс, С. С. Коган. Методическое руководство по исследованию органических веществ подземных вод нефтегазоносных областей. М., «Недра», 1973.

7. Д. Ш. Новосельцева, И. П. Мясникова, Г. П. Яковсон. Труды Всесоюз. науч.-исслед. геологоразведочного нефтяного ин-та, 89. М., «Недра», 1970, с. 64.

8. А. А. Оборин, Г. И. Владимирцев, В. А. Гусев, В. В. Егоров, И. Б. Ившина, Д. Я. Литвак. Микробиологическая промышленность, 3. М., ОНТИЭИмикробиопром, 1977, с. 26.

9. Инструктивные указания по проведению газобиохимических поисковых работ на нефть и газ. М., ОНТИ ВНИИЯГГ, 1974.

Е. В. СТАДНИК, Г. А. МОГИЛЕВСКИЙ,
Т. Н. БАБИНЦЕВА, Г. А. ЮРИН

ГЕОМИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ И ГАЗОГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ПОИСКИ НЕФТИ И ГАЗА НА ТЕРРИТОРИИ ТУНГУССКОГО БАСЕЙНА

Перспективы Тунгусского нефтегазоносного бассейна (НГБ) многими исследователями [1] оцениваются достаточно высоко. Однако сложные физико-географические и геолого-тектонические условия бассейна (многолетняя мерзлота, трапповый магматизм, высокая дислоцированность пород, несоответствие структурных планов и др.) ограничивают возможности применения традиционных геолого-геофизических методов. В таких малозученных и труднодоступных районах эффективно применение экспрессных геохимических методов поиска нефти и газа. В настоящей работе приводятся исследования по отработке этих методов, полученные ВНИИЯГГ в 1975—1977 гг. В пределах Восточно-Енисейской ступени на Верхне-Тохомской и Средне-Вельминской площадях опробовалась съемка по водонесущим, а в центральных районах Тунгусской синеклизы в среднем течении р. Нижняя Тунгуска — по придонным водам реки и притокам. На площади Куюмбинского газоконденсатного месторождения применена газобиохимическая съемка по снежному покрову.

В пределах Верхне-Тохомской и Средне-Вельминской площадей проведена гидрогазобиохимическая съемка по разработанным методикам [2, 3] с некоторыми усовершенствованиями. Исследованы реки, ручьи, болота, родники и самоизливающиеся скважины мелкого (до 15—40 м) бурения. В каждом водонесущем (водопункте) изучены группы гидрохимических, газовых и бактериальных показателей. Полученные данные статистически обработаны [2, 3]. Для основных нефтегазопоскожных показателей установлен закон распределения и рассчитан верхний предел фона (ВПФ) для каждого типа водонесущей. Все значения каждого показателя, превышающие ВПФ, рассматривались как аномальные. В результате проведенных

исследований построены результативные карты и выделены аномальные зоны по отдельным гидрохимическим, газовым и бактериальным показателям.

Верхне-Тохомская площадь. Воды исследованных водонесущих — пресные и ультрапресные с минерализацией от 100 до 600 мг/л, с содержанием органического углерода от 3,6 до 24 мг/л, аммония от 0,2 до 6 мг/л. Гидрохимический фон образуют воды сульфатно- и гидрокарбонатнонатриевого типа.

Газонасыщенность вод в среднем составляет 45—85 см³/л. Газы являются азотными (70—80%), содержат также кислород (18—20%) и углекислоту (1—3%). Углеводородные (УВ) газы встречаются в тех или иных количествах во всех пробах. Преобладающей составной частью их является метан, содержание которого колеблется от 0,41·10⁻⁴ до 0,30 см³/л. Тяжелые углеводороды (ТУ) обнаружены повсеместно. В родниковых водах частота встречаемости их самая низкая (69%), в скважинах и болотах — самая высокая (100%). В составе ТУ присутствуют как предельные (этан, пропан, бутан, изобутан, пентан и изопентан, гексан), так и непредельные УВ (этилен, пропилен, бутилен). Содержание ТУ колеблется от 0,01·10⁻⁴ до 10,0·10⁻⁴ см³/л. Среди ТУ наиболее распространен пропилен и этилен при средних концентрациях 0,034·10⁻⁴—0,056·10⁻⁴ и 0,31·10⁻⁴—0,11·10⁻⁴ см³/л соответственно.

В водах определены метан-, пропан-, пентан- и гексанокисляющие группы бактерий. Метанокисляющие бактерии встречаются в 15% проб, пропанокисляющие микроорганизмы — в 12% проб, а бактерии, окисляющие пентан и гексан, — в 22% и 40% проб соответственно. Суммарно углеводородокисляющие микроорганизмы встречаются в 64% проб, интенсивность развития которых изменяется от 7 до 1240 усл. ед. Повсеместно преобладают гексанокисляющие бактерии, за исключением болотных вод, в которых доминирующее развитие получили метанокисляющие микроорганизмы. В пробах многих водонесущих обнаружены также бактерии, продуцирующие метан, с низкой интенсивностью развития (в среднем 1—3 балла) и бактерии, продуцирующие водород, со средней интенсивностью 7—10 баллов. Это свидетельствует об отсутствии или незначительной генерации УВ газов в приповерхностных водах Тунгусского бассейна, что, видимо, объясняется в первую очередь низкими температурами вод. Полное отсутствие сульфатредуцирующих бактерий в приповерхностных водах и пониженные концентрации бикарбонатов на Верхне-Тохомской площади, по сравнению со Средне-Вельминской, свидетельствуют о более слабом развитии процессов окисления УВ.

В процессе обработки материалов съемки установлено, что существует определенная дифференциация в распределении по площади гидрохимических, газовых и бактериальных групп показателей. Наблюдается уменьшение сульфатности, увели-

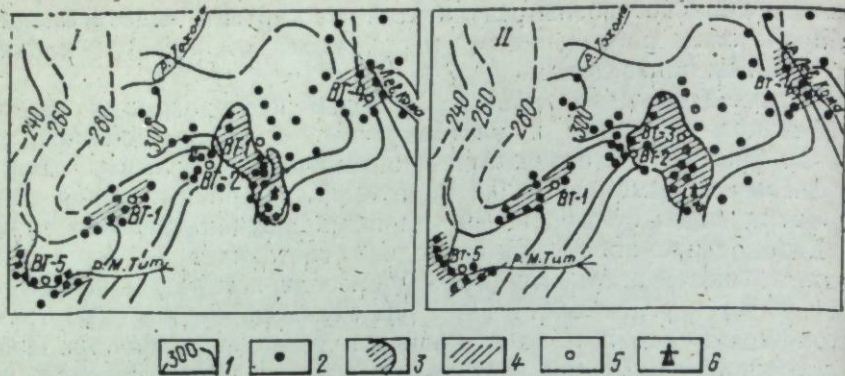


Рис. 1. Результаты гидрогазобиохимической съемки по водосточникам Верхне-Тохомской площади (по способу равнозначных градаций).

1 — стратизогипсы по кровле нижнеэвенкийской подстилки; 2 — обследованные водосточники; 3 — аномальные зоны; 4 — единичные водосточники с аномальными значениями показателей; 5 — скважины структурного бурения; 6 — местоположение рекомендуемой скважины. I — схема, построенная с учетом показателей по сульфатам, сумме тяжелых углеводов и суммарной биогенности углеводородокисляющей микрофлоры; II — с учетом показателей по метану, сумме тяжелых углеводов, гелию, суммарной биогенности углеводородокисляющей микрофлоры, сульфатам и аммонiu.

чение содержания аммония, суммарной биогенности углеводородокисляющих организмов и содержания ТУ по направлению к своду структуры. Такая закономерность характерна для глубинных вод, контактирующих с залежью нефти или газа [4]. Особенно четко дифференциация в распределении по площади гидрогазобиохимических показателей прослеживается на схемах, построенных по способу равнозначных градаций [3], суммирующих наиболее информативные показатели (рис. 1). Самой представительной оказалась аномалия, приуроченная к центральной части Верхне-Тохомской структуры. Она отразилась в аномальных концентрациях УВ газов и бактериальных показателей по грунтам шнековых скважин (глуб. до 1—3 м) и разрезу структурно-геохимических скважин ВТ-2 и ВТ-3 (глуб. до 500—600 м), расположенных в пределах этой аномалии. Принимая во внимание полученные данные, глубокую поисковую скважину рекомендовано пробурить в 4—6 км к юго-востоку от скважины ВТ-2 [5].

Средне-Вельминская площадь. Воды обследованных водосточников пресные и слабосоленые с минерализацией от 8 до 240 г/л и более с содержанием аммония от 0,1 до 3,0 мг/л, бензола до $7 \cdot 10^{-3}$ мг/л. Гидрохимический фон образуют воды сульфатно- и гидрокарбонатнонатриевого типов. Воды хлормагниевого типа имеют локальное развитие.

Газонасыщенность вод в среднем составляет 40—80 см³/л. Газы являются азотными (70—80%) с повышенными концентрациями кислорода (18—20%) и углекислоты (1—5%). В большинстве проб обнаружен водород. УВ-газы встречены в

тех или иных количествах во всех пробах. Преобладающей частью этих газов является метан, содержание которого колеблется от $0,25 \cdot 10^{-4}$ до $2,1$ см³/л. ТУ обнаружены не во всех пробах. В родниковых водах частота встречаемости их самая низкая (96%), в скважинах и болотах — самая высокая (100%). В составе ТУ присутствуют как предельные (этан, пропан, бутан, изобутан, пентан и изопентан, гексан), так и непредельные УВ (этилен, пропилен, бутилен). Содержание ТУ колеблется от $0,01 \cdot 10^{-4}$ до $1079,0 \cdot 10^{-4}$ см³/л.

В водах определены метан-, пропан- и гексанокисляющие группы бактерий. Распределение бактериальных показателей неравномерно. Так, если метанокисляющие бактерии встречаются в 33% проб, то пропанокисляющие микроорганизмы — только в 6% проб, а бактерии, окисляющие пентан и гексан, в 25 и 61% проб соответственно. Углеводородокисляющие микроорганизмы обнаружены в 73% проб, интенсивность развития которых изменяется от 2 до 670 усл. ед. Повсеместно преобладают гексанокисляющие бактерии, за исключением болотных вод, в которых доминирующее развитие получили метанокисляющие микроорганизмы.

В распределении гидрогазобиохимических показателей по площади существует определенная дифференциация. Наблюдается увеличение общей минерализации, содержание хлоридов, аммония, суммарной биогенности углеводородокисляющих микроорганизмов, ТУ и снижение концентраций сульфатов в центральной, юго-западной и юго-восточной частях Камовской структуры, а также в восточной и южной — Поляковской структуры. По суммарному показателю, включающему общую биогенность, ТУ и сульфатность вод, на Поляковской структуре выделено две и на Камовской — три аномалии (рис. 2). Полученные аномалии в основном тяготеют к зоне тектонических нарушений и совпадают в плане с аномальными полями концентраций УВ-газов, установленных в породах по скважинам мелкого бурения. Аномалии могут быть рекомендованы для постановки детальных геохимических поисков с целью проверки их природы.

Бассейн среднего течения р. Нижней Тунгуски. В центральных районах Тунгусской синеклизы, отличающейся сложными геолого-гидрогеологическими и природными условиями, намечалась возможность выполнения гидрогазобиохимических съемок по притокам р. Нижней Тунгуски и ее наиболее крупных притоков. Теоретическим обоснованием таких съемок является общепринятое мнение, что русла крупных рек — области разгрузки пластовых флюидов, где имеется наибольшая вероятность выявить следы УВ, мигрирующих от залежей. Придонные воды отбирались на гидрохимический, газовый и бактериальный составы специальным батометром ГБ-2 конструкции ВНИИЯГГ (В. В. Ягодкин и др.) как в самой реке,

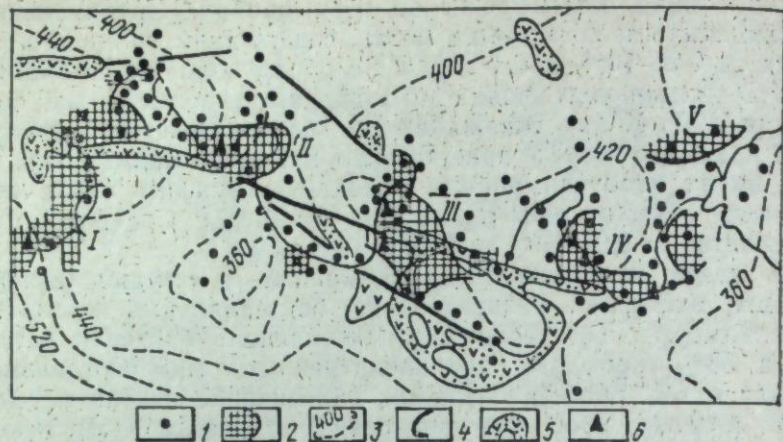


Рис. 2. Результаты гидрогазобиохимической съемки по водосточникам Средне-Вельминской площади (по способу равнозначных градаций с учетом показателей по сульфатам, сумме тяжелых углеводов и суммарной биогенности углеводородокисляющей микрофлоры). 1 — обследованные водосточники; 2 — аномальные зоны; 3 — стратонизогипсы по подшоле пролетарской свиты; 4 — тектонические нарушения; 5 — интрузии долеритов; 6 — скважины, в породах которых установлены аномальные концентрации углеводородных газов.

так и в наиболее крупных притоках. Анализ материалов съемки позволил выделить на участке между пос. Нидым и Тура комплексную аномалию по целому ряду показателей [6]. Последующие исследования позволили уточнить границы этой аномалии и выделить другие. Часть из них, например Кирамкинская и Илимпейская, совпадают с аномалиями по газам, десорбированным из кернов неглубоких скважин. При дальнейшей доработке методики гидрогазобиохимической съемки по придонным водам речных систем может стать перспективным видом нефтегазопищковых работ в труднодоступных районах. Она позволит оперативно выделить перспективные в нефтегазоносном отношении крупные зоны или площади для проведения в их пределах более детальных геологоразведочных работ.

Съемка по снежному покрову. В процессе разработки методики газобиохимические исследования по снежному покрову проводились на отдельных месторождениях и разведочных площадях в Притиманье, Пермском Приуралье, Восточной Сибири и газохранилищах Европейской части СССР [7]. Здесь рассмотрим только данные, полученные на площади Куюмбинского месторождения, где съемка по снежному покрову проводилась совместно с сотрудниками треста «Красноярскнефтегазразведка» по разработанной методике [7]. В общей сложности снежный покров был изучен более чем в 70 пунктах.

Данные бактериальных определений показали, что в снежном покрове в пределах территории присутствуют в основном бактерии, окисляющие жидкие УВ (пентан и гексан). В меньшем количестве случаев выявлены бактерии, окисляющие газообразные УВ. Так, из 48 случаев только в одной пробе были обнаружены бактерии, окисляющие метан, а в десяти пробах — бактерии, окисляющие пропан. Более широкое развитие в снежном покрове имеют бактерии, ассимилирующие пентан (в 23 случаях из 48) при средней интенсивности развития около 47 усл. ед. Преобладают бактерии, использующие гексан. Они были встречены в 28 точках наблюдений при средней интенсивности их развития около 70 усл. ед. Газы, десорбированные из снега, по своему составу близки к атмосферному воздуху. Из УВ в составе газовой смеси основной компонент — метан. В отдельных пробах отмечаются гомологи метана до гексана включительно. Среднее содержание метана $13 \cdot 10^{-4}$ и ТУ $9,58 \cdot 10^{-4} \text{ см}^3/\text{л}$.

При обработке материалов были высчитаны аномальные величины для метана, ТУ, углекислого газа и бактерий, окисляющих газообразные и жидкие УВ. Проведена также обработка по способу равнозначных градаций, где в качестве информативных показателей учитывались концентрации метана, ТУ и общая биогенность. В результате комплексного анализа газовых и бактериальных групп показателей установлено три аномалии. В пределах двух аномалий расположены продуктивные скважины 1-К и 9-К. Полученные материалы совместно с уже имеющимися данными [7] открывают перспективы использования газобиохимической съемки по снежному покрову при поисках нефти и газа в районах Крайнего Севера и на широких малодоступных пространствах Западной и Восточной Сибири.

Таким образом, геомикробиологические и газогидрохимические методы, являющиеся составной частью общего комплекса прямых геохимических методов, могут быть рекомендованы при поисках нефти и газа в условиях Тунгусского НГБ и в подобных регионах. Геолого-гидрогеохимические исследования территории бассейна, результаты геохимических исследований, показанные в статье, а также рассмотренные ранее [5, 6, 8], позволяют наметить некоторые рекомендации по использованию геохимических методов при поисках нефти и газа в районах Тунгусского НГБ и других подобных регионах.

Согласно существующей стадийности геологоразведочного процесса на нефть и газ и принятой стадийности геохимических работ [2, 3], на поисковом этапе обычно различают прогнозно-рекогносцировочную и поисково-оценочную стадии геохимических поисков нефти и газа. Эта стадийность является универсальной, однако для отдельных регионов отмечаются свои особенности. Последнее в определенной мере относится и к

Тунгусскому НГБ, отличающемуся сложными природными и геологогидрогеохимическими условиями.

Прогнозно-рекогносцировочная стадия геохимических поисков в пределах слабоизученных территорий включает два последовательных цикла исследований — региональные и предварительные поиски. В процессе региональных геохимических поисков изучаются на местности различного рода битумо- и нефтегазопроявления путем проведения маршрутных пересечений. Маршрутные пересечения целесообразно осуществлять вдоль крупных тектонических нарушений, а также водных артерий, пересекающих крупные структуры. Именно здесь имеется наибольшая вероятность обнаружить «дыхание» земных недр, так как русла больших рек, как правило, трассируют тектонически ослабленные зоны, к которым обычно приурочены области губинной разгрузки пластовых флюидов. Кроме обследования видимых проявлений нефти и газа, осуществляются мелкоаэрозольные (1:500 000, 1:200 000) маршрутные газобнохимические съемки по снежному покрову, гидрогазобнохимические съемки и пересечения (ленточные профили) с отбором проб придонных вод рек и других водоемов с изучением в них газовых, гидрохимических и бактериальных групп показателей. Кроме того, в зонах известных крупных нарушений, особенно в зонах их пересечения, а также на площадях структур с известными битумо- и нефтегазопроявлениями, помимо гидрогазобнохимического обследования водоносчиков и снежного покрова, рекомендуется также проводить газобнохимическое изучение керн (шлама) в неглубоких скважинах (до 10—30 м). Последние выполняются по редкой сети и одиночным профилям. Комплекс геохимических исследований, выполненный в процессе региональных поисков, позволяет дать общую оценку нефтегазоносности обследуемой территории и наметить наиболее перспективные участки для проведения в их пределах более детальных изысканий.

Предварительные геохимические поиски проводятся на перспективных площадях, выделенных в процессе выполнения региональных поисков. Осуществляется газобнохимическая съемка по снежному покрову и гидрогазобнохимическая по водоносчикам по более плотной сети (масштаб от 1:200 000 до 1:100 000 и более). После подтверждения аномалии на площади для оконтуривания и локализации аномального участка проводится газобнохимическая съемка по неглубоким (до 10—30 м) скважинам по более плотной сети (масштаб от 1:100 000 до 1:500 000 и менее). В зависимости от рельефа расстояние между профилями в пределах аномальной зоны не должно превышать 2—4 км. В процессе выполнения гидро- и газобнохимических съемок в пробах воды и керн (шлама) изучается весь возможный комплекс показателей по известной методике ВНИИЯГГ [2, 3]. В случае подтверждения аномалии

с учетом всей геолого-гидрогеологической информации в ее пределах проектируется профиль структурно-геохимических скважин. Этот вид геохимических поисков осуществляется уже на поисково-оценочной стадии работ. Он позволяет оценить достоверность аномалии и выбрать место для заложения глубокой скважины по методике, разработанной ранее [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Э. Конторович, И. Г. Левченко, Н. В. Мельников. Сов. геология, 1976, 3, 11.
2. Л. М. Зорькин, Н. В. Лопатин, О. В. Барташевич, С. Л. Зубайраев, Г. А. Могилевский, А. В. Петухов, Е. В. Стадник, И. С. Старобинец, В. А. Строганов. Методические рекомендации по геохимическим методам поисков месторождений нефти и газа. М., ОНТИ ВНИИЯГГ, 1975.
3. Г. А. Могилевский, Е. В. Стадник. Микробиологическая промышленность, 1977, 3, 16.
4. Т. Н. Бабинцева, В. К. Сошников, Е. В. Стадник, Г. А. Юри. Геология нефти и газа, 1978, 3, 30.
5. Т. Н. Бабинцева, В. К. Сошников, Е. В. Стадник, Г. А. Юри. Изв. высш. учебн. завед., сер. геология и разведка, 1977, 6, 96.
6. Т. Н. Бабинцева. Микробиологическая промышленность, 1977, 3, 57.
7. Е. В. Стадник, Г. А. Юри, М. С. Тон, А. А. Обори, Г. А. Могилевский, В. М. Богданова, Л. В. Лачинская, Г. И. Либерман, Л. А. Седых. Изв. высш. учебн. завед., сер. геология и разведка, 1978, 3, 81.
8. П. А. Удодов, В. Г. Быков, Н. Г. Наливайко, А. Д. Назаров. Микробиологическая промышленность, 1977, 3, 40.

А. И. ТРИПОНИС

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВАЖНЕЙШИХ ГАЗОБИОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ ЮЖНОЙ ПРИБАЛТИКИ И ИХ СОПОСТАВЛЕНИЕ С РЕЗУЛЬТАТАМИ НЕФТЕРАЗВЕДОЧНОГО БУРЕНИЯ

Обнаружение различия в концентрациях углеводородных газов и бактерий, окисляющих углеводороды в водах верхних напорных водоносных горизонтов Белорусско-Мазурского массива и центральной части Балтийской синеклизы, при региональном изучении газового состава вод, послужило поводом для постановки газобиохимических исследований в регионе Южной Прибалтики с целью прогнозирования нефтеносных площадей и структур. Такие исследования на территории Литовской ССР и Калининградской области проводились с 1964 по 1973 г. В результате этих исследований с различной степенью детальности были выделены площадные газобиохимические аномалии имеющие различную интенсивность, контрастность и величину². Часть площадей, на которых такие аномалии были установлены, к настоящему времени разбурена. В отложениях среднего кембрия, верхнего ордовика, верхнего силура и нижнедевона обнаружены нефтяные тела различных размеров и мощности, в их числе и ряд промышленных нефтяных месторождений. Совпадение площади установленных в водоносных горизонтах зоны интенсивного водообмена газобиохимических аномалий с нефтяными месторождениями и отсутствие нефтеносности на структурах, где газобиохимические аномалии обнаружены не были, свидетельствуют об эффективности газобиохимических методов при поисках нефтяных месторождений в условиях Южной Прибалтики. Количественная характеристика

¹ А. И. Трипонис. «Вопросы нефтеносности Прибалтики». Вильнюс «Минтис», 1973, с. 83.

² Инструктивные указания по проведению газобиохимических поисковых работ на нефть и газ. Под ред. Г. А. Могилевского и Е. В. Стадника. М. ОНТИ, ВНИИЯГГ, 1975.

важнейших газобиохимических аномалий и результаты нефте-разведочного бурения на каждой из них следующие:

1. Аномальная полоса установлена в Калининградской области. Она простирается в широтном направлении от Ворытновской (Придорожной) структуры в районе Черняховска на востоке до Веселовской и Ягодненской структур на западе. В основном она выделена по типу вод. На фоне гидрокарбонатнонатриевых вод в напорных водоносных горизонтах меловых и четвертичных отложений здесь обнаружены воды сульфатнонатриевого и хлормагнезиевого типов. В пределах аномальной полосы обнаружены повышенные концентрации микроэлементов: брома до 1,82, йода до 0,82, бора 0,52, лития до 1,0, стронция 0,72, никеля до 1,5 мг/л. Фоновые значения брома, йода — нулевые, бора, лития и стронция $1-8 \cdot 10^{-2}$, т. е. на один-два порядка ниже, чем в аномалии. Ванадий и хром не обнаружены. На этой полосе выявлено довольно интенсивное развитие бактерий, окисляющих газообразные углеводороды (100—250 усл. ед. оптич. плотности биомассы), главным образом метанооксиляющие (МОБ), а также увеличена общая биогенность вод (до 1000 усл. ед.). Концентрация углеводородов также несколько увеличена и достигает $6 \cdot 10^{-3}\%$ при фоне $2-7 \cdot 10^{-4}\%$.

Эта полоса была выявлена в 1970 г. и в дальнейшем не детализировалась. На ней расположен ряд промышленно-нефтеносных структур: Красноборская, Западно-Красноборская, Веселовская, Яитарно-Ягодненская и др. Эта аномалия совпадает с тектонической структурой II порядка — с Калининградским валом.

2. Гаргждайская аномалия выделена регионально-рекогносцировочными работами в 1963—1964 гг., в дальнейшем исследовалась в 1965—1966 гг. и детализирована в 1967 г. Установлена по микробиологическим и газовым показателям. Интенсивность развития МОБ в единичных пробах достигает 250 усл. ед. при общем нулевом фоне; общая биогенность вод 1400 усл. ед. Развита бактерия, окисляющая пропан и бутан (в южной части аномалии до 60 усл. ед.). Концентрация углеводородных газов увеличена в основном за счет метана (концентрация метана достигает 20% в водах четвертичных отложений при фоновых значениях порядка $1 \cdot 10^{-3}\%$). Концентрация тяжелых углеводородов несколько увеличена ($1 \cdot 10^{-3}-7 \cdot 10^{-3}\%$) по сравнению с фоновой ($1 \cdot 10^{-5}-1 \cdot 10^{-6}\%$). Отмечено некоторое увеличение концентрации микроэлементов брома, бора, йода, лития.

В пределах аномалии разбурены Шюпарайская и Южно-Шюпарайская площади, являющиеся соответственно нефтеносной и промышленно-нефтеносной.

Аномалия не закрывается в северном и восточном направлениях. Работами 1972 г. было выявлено продолжение Гаргждайской аномалии в северо-восточном направлении. Это продолжение также не закрывается с северо-востока и простира-

ется в субмеридиональном направлении в сторону Тяльшяйского разлома, по-видимому, приобретая форму неширокой полосы.

Северо-Гаргждайская аномалия нами выявлена в 1967 г. Раньше она рассматривалась как северо-западное продолжение Гаргждайской аномалии. Однако при проведении более детальных работ не было установлено непосредственной связи между площадями этих двух аномалий. Северо-Гаргждайская аномалия не оконтуривается в северо-западном и в восточном направлениях. В восточном направлении она, возможно, имеет связь с северным продолжением Гаргждайской аномалии. Интенсивность аномалии меньше, чем Гаргждайской. Бактерии, окисляющие пропан и бутан, здесь отсутствуют; концентрации соответствующих углеводородных газов следующие: пропана $3-6 \cdot 10^{-4}$, бутана $0-7 \cdot 10^{-6}\%$ (фон, одинаковый с фоном Гаргждайской аномалии). Бактерии, окисляющие метан, развиты со средней интенсивностью до 160 усл. ед., концентрация метана несколько повышена (до $4 \cdot 10^{-1}\%$). К аномалии приурочена Гаргждайская структура, которая до настоящего времени не разбуривалась.

3. Думпяйская аномалия установлена по водам верхнепермских отложений южнее г. Клайпеды в 1967 г. и детализирована в 1971 г. Аномалия не разбуривалась. Позднее рекогносцировочными сейсморазведочными работами здесь была установлена структура, западная часть которой совпадает с газобихимической аномалией. Аномалия выявлена по газовому составу вод. Концентрация метана достигает 14%, этана до $8 \cdot 10^{-4}$, пропана $3 \cdot 10^{-3}$, бутана $4 \cdot 10^{-3}$ при нулевом фоне каждого компонента тяжелых углеводородов. Аномалия характеризуется увеличенной общей биогенностью вод (до 570 усл. ед.), увеличенной концентрацией брома (до 22 мг/л) и бора (до 1,62 мг/л) при фоновых значениях соответственно 0 и 0,3 мг/л; кроме того, в пределах этой аномалии обнаружены хлормagneвые воды.

4. Венцкая аномалия обнаружена в районе села Венцкая (Шилутский р-н) в 1969 г. главным образом в водах меловых отложений. Она выявляется по интенсивности развития бактерий, окисляющих газообразные углеводороды, в основном метан (200—235 усл. ед. при нулевом фоне), общей биогенности вод (до 1600 усл. ед.) и гидрохимическому составу вод (микроэлементам: бром и бор, концентрация которых составляет $2-9 \cdot 10^{-1}$ мг/л при нулевых фоновых значениях концентраций брома и $0-1 \cdot 10^{-2}$ мг/л фоновых концентрациях бора). На площади аномалии обнаружены увеличенные концентрации метана, достигающие 1,9 см³/л при фоновых $1 \cdot 10^{-4}$ см³/л. Наибольшая концентрация метана совпадает со сводом Вилькичяйской структуры. В пределах аномалии открыто Вилькичяйское промышленное нефтяное месторождение.

5. Ашваская аномалия выявлена в 1969 г. в бассейне речки Ашва. Она расположена на северо-востоке от г. Шилуте и характеризуется интенсивным развитием бактерий, окисляющих вод (до 1200 усл. ед.), увеличенной общей биогенностью по типу вод (хлоркальциевые) обнаружена только на юго-западной окраине аномалии, где интенсивность микробиологических показателей снижается. Наиболее высокие концентрации метана обнаружены в северной части аномалии ($12,9$ см³/л при фоновых значениях $1 \cdot 10^{-4}$ см³/л). Другие углеводородные газы выявлены в фоновых концентрациях. В северной части Ашваской аномалии морфометрическими методами установлен ряд поднятий дочетвертичного рельефа. Аномалия, вероятно, продолжается на юг в меридиональном направлении в сторону р. Нямунас и в Калининградскую обл., где на этом же меридиане расположена Славская аномалия, совпадающая со Славской структурой, нефтеносность которой подтверждена нефтеразведочным бурением.

6. Прицмайская аномалия расположена в 4—5 км юго-западнее Вилькичяйской площади, выявлена работами 1969 г. в водах меловых отложений по микробиологическим показателям (интенсивность развития метанооксиляющих бактерий до 200 усл. ед., общая биогенность вод 1200 усл. ед.). Обнаружено несколько повышенное содержание бора (до 0,39 мг/л) и стронция (до 0,45 мг/л) и отсутствие хрома и никеля, что также показательный факт. Концентрации углеводородных газов не превышают фоновых.

7. Будвечайская аномалия расположена севернее Усенайской площади, примыкает с северо-запада к Усенайскому разлому. Выявлена в 1969 г. в водах меловых отложений по микробиологическим показателям: интенсивность развития бактерий, окисляющих метан (МОБ), до 200 усл. ед., окисляющих бутан (БОБ), до 42,5 усл. ед. (при нулевом фоне величина общей биогенности 800 усл. ед.). Здесь обнаружены повышенные концентрации бора и брома: соответственно 0,6 и 1,9 мг/л. Концентрация углеводородных газов повышенная: метана до 1,3 см³/л при фоновых концентрациях $1-5 \cdot 10^{-4}$ см³/л, этана, пропана, бутана соответственно до $47 \cdot 10^{-4}$; $60 \cdot 10^{-4}$ и $25 \cdot 10^{-4}$ см³/л при фоне менее $1 \cdot 10^{-6}$ см³/л. Аномалия не разбурена, в пределах ее структура не установлена.

8. Карклининкайская аномалия расположена севернее г. Клайпеды и приурочена с юга к Тяльшяйскому разлому. Она расположена юго-западнее от разбуренных ненефтеносных Толяйской и Генчяйской площадей. Аномалия не разбурена. Структуры на ней не установлены. Аномалия выявлена главным образом в водах верхнепермского (науаякмянского) водоносного горизонта по гидрохимическим (хлормagneвый тип вод при гидрокарбонатнонатриевом фоне, концентрация йода

до 0,16, брома до 1,78, бора до 1,48 мг/л при фоновых нулевых значениях) и микробиологическим (бактериям, окисляющим газообразные углеводороды, до 160—200 усл. ед. при нулевом фоне, общей биогенности до 500 усл. ед.) показателям.

9. Репшайчяйская аномалия, установленная работами 1973 г., расположена южнее и юго-восточнее Плуингской площади. Площадь аномалии совпадает с поясами широтного Тяльшайского и субмеридионального Гаргждайского разлома. Аномалия выявлена по газовому составу вод четвертичных отложений. Концентрация метана достигает 22% при фоновой $2 \cdot 10^{-3}\%$, концентрация этана, пропана, бутана на один-два порядка выше фоновых. Значительное увеличение концентрации метанового газа сопровождается интенсивным развитием метанопродуцирующих бактерий до 200 усл. ед. каждой группы, повышенной общей биогенностью вод (до 660 усл. ед.). Кроме того, здесь установлены сульфатнонатриевые воды при гидрокарбонатнонатриевом фоне. На площади аномалии расположена Аблингская структура, которая в настоящее время разбуривается. Разбуриваемая Лаужайская структура расположена в восточном направлении от газо-микробиологической аномалии и ложится в полосу гидрохимической аномалии, установленной по типу вод (хлормagneвий тип на фоне гидрокарбонатнонатриевого типа вод). В северном направлении аномалия по углеводородным газам и микробиологическим показателям продолжается в сторону Плуингской структуры. Интенсивность аномалии в том направлении уменьшается.

10. Кибартайская аномалия установлена в 1965—1966 гг. на Кибартайской нефтеразведочной площади в верхнемеловом и четвертичном водоносных горизонтах по углеводородным газам (в основном по метану). Концентрация метана в водах верхнемелового водоносного горизонта достигает 28%, четвертичного — до 13%. Отмечено увеличение интенсивности развития бактерий, окисляющих газообразные углеводороды, общей биогенности вод, концентраций йода и нефтяных кислот (в верхнемеловых водах), наличие сульфатно-натриевых и хлормagneвиевых вод в верхнемеловом водоносном горизонте. Установленная аномалия большая по площади. Ее интенсивность увеличивается в восточном направлении от Кибартайской нефтеразведочной площади. В том же направлении улучшаются и коллекторские свойства нефтеносных верхнеордовикских и нижнесилурийских известняков. Нефтеносность площади в восточном направлении не прослежена. На площади аномалии уменьшается мощность экранирующих горизонтов верхнего силура, что также способствует увеличению вертикальной миграции углеводородов и образованию газобioхимической аномалии.

11. Гвалдайская аномалия расположена в 15 км юго-восточнее Вейвирженайской нефтеразведочной площади. Установлена

по углеводородным газам. Концентрация тяжелых углеводородов достигает $25 \cdot 10^{-4}$ (фоновая $1 \cdot 10^{-4}$). Концентрация метана 27% (фоновая $2 \cdot 10^{-3}$), что на пять порядков превышает фон. Здесь отмечено довольно интенсивное развитие бактерий, окисляющих метан до 210 усл. ед. Сумма бактерий, окисляющих пропан и бутан, достигает 200 усл. ед. при нулевом фоне. Общая биогенность вод достигает 280—290 усл. ед. Химический состав вод фоновый, тип воды гидрокарбонатно-натриевый. В пределах аномалии находится Лаукувская структура, однако максимальная интенсивность аномалии — за пределами структуры. Аномалия не закрывается и в сторону Шилальской структуры, расположенной юго-западнее от максимума аномалии. Следует отметить, что максимумы отдельных показателей газовых и микробиологических не совпадают. Вероятно, аномалия является отражением не одного, а нескольких нефтяных тел, незначительных по размеру.

12. Аномалийная площадь, расположенная в северо-восточной части Калининградской области и выявленная регионально-рекогносцировочными работами 1965—1966 гг. по бактериям, окисляющим и газообразные углеводороды, охватывает Нижненеманскую площадь. Площадь не детализировалась. На Нижненеманских структурах, находящихся в ее пределах, при бурении были отмечены газопроявления в девонских отложениях.

13. Славская аномалия установлена в 1965—1966 гг. регионально-рекогносцировочными работами по бактериям, окисляющим газообразные углеводороды. В ее пределах расположена Славская структура, которая является промышленно-нефтеносной. Аномалия не детализировалась.

14. Результаты газобioхимических исследований дали возможность оценить перспективность ряда структур и площадей. В числе разбуренных структур аномалии не были установлены на Салантайской структуре, Траубайской, Толяйской, Генчяйской и Дружбинской площадях. Таким образом, результаты газобioхимических исследований совпали с результатами нефтепоискового бурения. В районе с низкими газобioхимическими показателями находится Жемичяйская, Кужяйская, Шюпиляйская и ряд других площадей, на которых не установлено нефтепроявлений. Не выявлено аномалий на Плуингской площади. Это объясняется незначительными размерами участка распространения нефтенасыщенных песчаников (они встречены в одной скважине из шести), химическими свойствами нефти (нефть окисленная) и полным отсутствием нефтяных попутных газов, диффузия которых — важнейший фактор формирования газобioхимических аномалий в водоносных горизонтах зоны интенсивного водообмена. В непосредственной близости от Плуингской площади выявлена Репшайчяйская аномалия, которая, по нашему мнению, не может быть отражением Плуингской неф-

тяной залежи. Образовалась она вследствие влияния других более мощных нефтяных тел.

Подведя итог вышензложенному, следует подчеркнуть, что важнейшие аномалии, выделенные по нескольким показателям, хорошо подтверждаются нефтеразведочным бурением. При учете структур, расположенных в пределах аномалий и вне их, эффективность подтверждения прогнозов, сделанных на основе результатов газобioхимических исследований, составляет 81%. Однако следует учесть, что часть структур в пределах аномалий не разбурена. Кроме того, эффективность прогнозов уменьшается в прибортовой части синеклизы, поэтому эффективность подтверждения результатов в целом по региону будет ниже, чем приведенная здесь для центральной наиболее нефтеперспективной части Балтийской синеклизы.

Следовательно, при использовании газобioхимических показателей в комплексе с другими методами (геофизическими, структурными и структурно-геохимическим бурением и др.) они являются весьма информативными в конкретной геолого-геохимической обстановке Южной Прибалтики. В комплексе применяемых газобioхимических методов наиболее показательны исследования углеводородных газов и бактерий, окисляющих углеводороды.

В отношении объекта исследования наиболее оптимальным является исследование вод, напорных водоносных горизонтов дочетвертичных отложений. Приведенные результаты также позволяют считать, что применение газобioхимических методов даст ценную информацию и для выявления нефтяных залежей неструктурного типа.

Н. Н. КЕВОРКОВ, И. Б. ИВШИНА, В. Л. ПОНОСОВ,
Г. И. СПЕКТОР

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ СЕРОЛОГИЧЕСКИЙ И ИММУНОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АНТИГЕНОВ *MYCOBACTERIUM LACTICOLUM* И *BACILLUS CIRCULANS*

Способность отдельных видов микроорганизмов окислять газообразные углеводороды используется при обнаружении нефтяных залежей микробиологическим путем.

В качестве одного из возможных подходов определения видоспецифичности газоассимилирующих бактерий целесообразно исследование их антигенных свойств, что позволяет приблизиться к разработке надежного экспресс-метода, обеспечивающего быстрое и точное распознавание индикаторных микроорганизмов.

Серологическим методом, достоинством которого являются высокая чувствительность и быстрота идентификации микроорганизмов, удается установить родство и тонкие различия отдельных видов изучаемых организмов. Имеются лишь единичные сообщения относительно серологической специфичности углеводородокисляющих бактерий [1].

В настоящей работе представлены результаты сравнительного иммунохимического изучения антигенов *Mycobacterium lacticum* и *Bacillus circulans*. Все исследуемые штаммы бактерий были получены в Отделе типовых культур Института микробиологии АН СССР. Антигенная специфичность углеводородокисляющих бактерий *Myc. lacticum* ВКМ-853, *Myc. lacticum* ВКМ-854, *Bac. circulans* ВКМ-729 изучена с помощью реакции агглютинации и реакции диффузионной преципитации в агаре по Оухтерлони [2]. Титры агглютининов выражались в величинах \log_2 . Выявление общих антигенных детерминант бактериальных клеток проводилось путем постановки перекрестной реакции агглютинации, в которой использовались антисыворотки против *Myc. lacticum* ВКМ-854 и *Bac. circulans* ВКМ-729, а в качестве диагностикумов — вакцины штаммов ВКМ-853, ВКМ-854, ВКМ-729. Разрушение бактерий для получения белковых экстрактов осуществлялось ультразвуком на

Перекрестные взаимодействия сыворотки крови животных, иммунизированных вакциной *Bacillus circulans* ВКМ-729 и *Mycobacterium lacticolium* ВКМ-854

Срок наблюдения после первой иммунизации	Средние величины \log_2 титров агглютининов к штамму				
	ВКМ-729	ВКМ-854	P_k ВКМ-729	ВКМ-853	P_k ВКМ-729

Bacillus circulans ВКМ-729

7-й день	5,2 (3-7)*	0,6 (0-2)	<0,05	0,4 (0-1)	<0,05
P_k к исходу	<0,05	>0,05		>0,05	
14-й день	8,6 (7-10)	1,0 (0-3)	<0,01	1,0 (0-2)	<0,01
P_k к исходу	<0,01	>0,05		>0,05	
21-й день	10,8 (10-11)	0,2 (0-1)	<0,01	0,4 (0-1)	<0,01
P_k к исходу	<0,01	>0,05		>0,05	

Исходные данные (нормальные антитела)	0,8 (0-2)	0,8 (0-2)	>0,05	0,8 (0-2)	>0,05
---	--------------	--------------	-------	--------------	-------

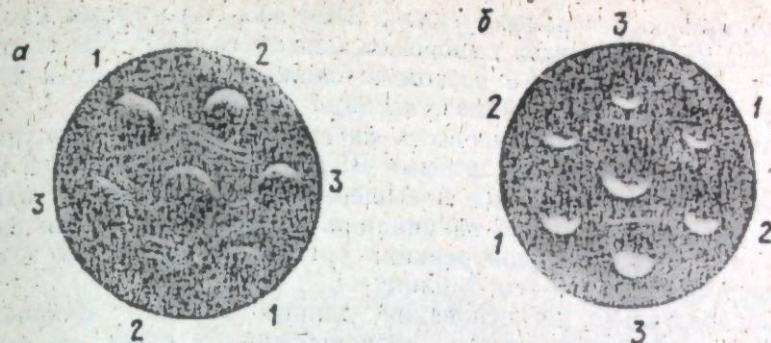
Срок наблюдения после первой иммунизации	Средние величины \log_2 титров агглютининов к штамму				
	ВКМ-854	ВКМ-853	P_k ВКМ-854	ВКМ-729	P_k ВКМ-854

Mycobacterium lacticolium ВКМ-854

7-й день	6,0 (5-7)	2,8 (2-4)	<0,05	0,8 (0-2)	<0,05
P_k к исходу	<0,05	<0,05		>0,05	
14-й день	8,6 (7-10)	3,4 (3-4)	<0,01	0,00 (0-1)	<0,01
P_k к исходу	<0,01	<0,05		>0,05	
21-й день	11,2 (11-12)	4,0 (3-5)	<0,01	0,2 (0-1)	<0,01
P_k к исходу	<0,01	<0,05		>0,05	

Исходные данные (нормальные антитела)	1,2 (0-4)	2,0 (1-3)	>0,05	0,8 (0-2)	>0,05
---	--------------	--------------	-------	--------------	-------

*В скобках — пределы колебаний



Реакция двойной иммунодиффузии в агаре по Оухтерлонн между антисывороткой (центральной лунка) против *Myc. lacticolium* ВКМ-854 (а) *Bac. circulans* ВКМ-729 (б) и бактериальными экстрактами.

В центральной лунке — антисыворотка против *Myc. lacticolium* ВКМ-854; в периферических лунках — экстракты: 1 — микобактерий штамма ВКМ-854, 2 — микобактерий штамма ВКМ-853, 3 — клеток *Bac. circulans* ВКМ-729.

диспергаторе УЗДН-1 (45 кгц, 17 мин), что позволило провести более детальный анализ антигенного родства исследуемых штаммов бактерий. Реакция иммунодиффузии ставилась в варианте микрометода в модификации А. И. Гусева и В. С. Цветкова [3]. Опытным путем были установлены оптимальные соотношения концентраций для всех исследуемых пар антиген — антисыворотка. Определение белка проводилось по методу Лоури [4]. Все данные обрабатывались статистически с помощью непараметрического критерия U [5].

Для иммунизации животных брали, выращенных на агаризованной минеральной среде в атмосфере природного газа при 28—30°C культуры. Бактериальные клетки смывались с чашек Петри изотоническим раствором хлористого натрия. Антигенный материал ($1-2 \cdot 10^9$ клеток/мл) выдерживался в течение 40 мин при 80°C на водяной бане. Диагностикум проверялся на стерильность. Работа проводилась на десяти кроликах весом 3—5 кг. Все животные иммунизировались трехкратно с 7-дневным интервалом внутривенно возрастающими дозами вакцины штамма ВКМ-854 (пять кроликов) и штамма ВКМ-729 (пять кроликов), что в пересчете на бактериальный белок составляло: 3—5 (1-я иммунизация), 5—7 (2-я иммунизация) и 7—10 (3-я иммунизация) мг на 1 кг веса кролика.

Анализ крови неиммунизированных животных выявил наличие нормальных антител ко всем изучаемым культурам бактерий. Иммунизация кроликов вакциной *Myc. lacticolium* ВКМ-854 приводит к быстрому и значительному нарастанию напряженности иммунитета к бактериям данного штамма. Параллельно, но в меньшей степени, наблюдается прирост агглютининов к

бактериям родственного штамма ВКМ-853, в то время как величины титров антител сыворотки к штамму ВКМ-729 не только не увеличиваются, а несколько снижаются к 14-му и 21-му дням с момента первой иммунизации (см. таблицу).

Аналогичная закономерность наблюдается и при иммунизации животных вакциной штамма ВКМ-729. У этой группы кроликов определяется резкое повышение титров антител к бактериям, используемым для вакцинации, на фоне отсутствия видимого усиления иммунной реакции организма животных к вакцинам микобактерий (см. таблицу).

Следовательно, на основании данных реакции микробной агглютинации можно сделать предварительный вывод об отсутствии перекрестных антигенных детерминант у бактерий *Myc. lacticolum* ВКМ-854 и *Bac. circulans* ВКМ-729 и наличии значительного, но не полного антигенного родства клеток обоих исследуемых штаммов микобактерий (ВКМ-854 и ВКМ-853).

В реакции двойной иммунодиффузии в агаре по Оухтерлони использовались антисыворотки против бактериальных штаммов ВКМ-854 и ВКМ-729 (титры агглютининов соответственно 1:2048 и 1:1024). Исследование экстрактов бактериальных культур выявило наличие двух четких линий преципитации, возникающих при контакте антител и соответствующих антигенов (см. рисунок). Это свидетельствует о полной антигенной идентичности микобактерий обоих штаммов. Отсутствие перекрестных линий преципитации между антисывороткой против *Myc. lacticolum* ВКМ-854 и экстрактом *Bac. circulans* ВКМ-729 доказывает значительные антигенные различия этих микроорганизмов.

Таким образом, в результате проведенных исследований показана специфичность иммунной реакции организма кролика на введение вакцины бактериальных штаммов ВКМ-854 и ВКМ-729 и отсутствие общих антигенных детерминант у клеток данных бактерий.

ЛИТЕРАТУРА

1. J. D. F. Ralph, N. J. Somerville, R. B. Andre. US Patent 3.329.580 (Cl. 195-103.5). Official gazette 1967, 27, 1.
2. O. Ouchterlony. Acta path. microbiol. scand., 1949, 26, 507.
3. А. И. Гусев, В. С. Цветков. Лабор. дело, 1961, 2, 43.
4. O. H. Lowry, N. J. Rosenbrough, A. L. Faar, R. J. Randall. J. Biol. Chem., 1951, 193, 1, 265.
5. Е. В. Гублер, А. А. Генкин. Применение непараметрических критериев статистики в медико-биологических исследованиях. Л., «Медицина», 1973.

А. З. ГАРЕЙШИНА, В. И. КОЗЮРО, А. В. БИКМУХАМЕТОВА,
Л. И. ЯЮС, Т. А. КУЗНЕЦОВА, Р. Г. ХАМИТОВА

К ВОПРОСУ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МИКРОБИОЦЕНОЗОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТА

В последнее десятилетие в СССР и за рубежом проводится больше исследований, связанных с применением микроорганизмов для интенсификации нефтеотдачи пласта [1—7]. Биологический метод увеличения коэффициента нефтеотдачи пласта является дешевым, не требует сложного оборудования, не разрушает залежь [7].

Одно из направлений применения бактерий основано на важнейшей способности микроорганизмов использовать в качестве углеродного питания нефть и продукты ее превращения, с последующим образованием газообразных продуктов. Экспериментально установлено, что бактерии могут использовать углеводороды (УВ) всех классов из числа присутствующих в нефти, т. е. парафиновые, нафтеновые и ароматические. Вопрос об использовании ими неуглеводородных компонентов до конца не выяснен; во всяком случае, число работ, в которых утверждается эта возможность, невелико [8—11].

Для решения проблемы увеличения нефтеотдачи методом микробиологического воздействия на пласт наибольший интерес представляют микроорганизмы, выделенные непосредственно из нефти и пластовых вод нефтяных месторождений.

Интенсивность микробиологических процессов в залежах зависит от химического состава нефти, проницаемости коллектора, характера среды (рН), давления, температуры и других показателей. Большое значение при микробиологическом воздействии на нефть имеет также состав микрофлоры, так как в зависимости от сочетания групп бактерий расщепление нефти будет протекать в различных направлениях, с образованием тех или иных продуктов. Чем разнообразнее по своему составу микробиоценоз, тем глубже будет происходить распад нефти. Под влиянием жизнедеятельности чистых культур разложение нефти идет до тех пор, пока не произойдет самоотравление бак-

терий продуктами их метаболизма. Иная картина наблюдается при наличии микробиоценоза, когда одни физиологические группы бактерий используют продукты метаболизма других [10].

Нами проведены эксперименты по воздействию на нефть отдельных накопительных культур естественного биоценоза, который находился в нефти, и биоценоза, составленного искусственно из микроорганизмов, выделенных из нефтяных пластов Татарии с целью выяснения возможности использования этих микроорганизмов для увеличения нефтеотдачи пласта.

Эксперименты проводили в анаэробных условиях со сборными, девонскими парафино-нафтеновыми нефтями, отобранными из Бирючевского и Тихоновского участков комплексной подготовки нефти, после I и II ступеней сепарации при входе на установку. Взятые для проведения эксперимента нефти, в дальнейшем условно именуемые как Тихоновская и Бирючевская, незначительно отличались по плотности, молекулярному весу и вязкости. Тихоновская нефть была несколько тяжелее Бирючевской. В круглые колбы емкостью 6 л вносились питательная среда, биоценоз и нефть. Продолжительность эксперимента составила полтора года. Первая партия анализов сделана через шесть месяцев. Результаты этих исследований приведены в настоящей работе.

В качестве единственного источника углерода бактерии использовали исследуемые нефти. Состав исходной питательной среды (рН 6,8—7,0) следующий:

Компонент	Колич., мл
KH_2PO_4	1,0
K_2HPO_4	1,0
$MgSO_4$	0,5
NH_4Cl	0,2
$CaSO_4$	1,0
$MnSO_4$	0,02
Соль Мора	0,2
Вода дистиллированная	1000

Предварительно питательную среду кипятили, затем резко охлаждали для удаления воздуха и быстро вносили биоценоз микроорганизмов. Для создания в колбах анаэробных условий питательная среда, внесенная под пробку, вытеснялась пропаном. Известно, что микроорганизмы успешно развиваются на границе питательной среды с нефтью [11], поэтому площадь соприкосновения нефти с питательной средой выбирали по максимально возможному диаметру колб, в которых проводили эксперимент. Количество питательной среды составляло 2,7 л на 300 мл нефти, которая располагалась слоем толщиной 1—2 см. Взятая объема нефти вполне достаточно для дальнейших физико-хими-

Таблица 1
Микроорганизмы, введенные в нефть и присутствующие в ней

Нефть	№ опыта	Обработка нефти	Микроорганизмы	
			Накопительные культуры	Микроорганизмы сырой нефти
Тихоновская	1	Стерильная	Водородные, пропано-окисляющие, газообразующие бактерии	Не обн.
		Нестерильная	Водородные, газообразующие, пропано-окисляющие, псевдомонас	Тионовые, маслянокислые, денитрифицирующие бактерии, пропано-окисляющие, окисляющие бензин, керосин, парафин, нефть, нафталин, метанол, бензойную кислоту, хлороформ
	2	Стерильная	Пропано-окисляющие бактерии	Не обн.
		Нестерильная	То же	Водородные, тионовые, денитрифицирующие бактерии, окисляющие пропан, бензин, керосин, парафин, соляровое масло, метанол, фенол, бензойную кислоту, хлороформ
Бирючевская	3	Стерильная (контроль)	Не обн.	Не обн.
		Нестерильная (контроль)	Не вносились	Водородные, тионовые, денитрифицирующие бактерии, окисляющие бензин, керосин, парафин, соляровое масло, метанол, фенол, бензойную кислоту, хлороформ

ческих исследований продуктов бактериального воздействия. Эксперимент проводили в двух вариантах: с нефтями, предварительно стерилизованными, и для большего приближения к природным условиям с нестерильными пробами этих же нефтей (табл. 1). В колбу со стерильной Тихоновской нефтью (опыт 2) вносился биоценоз накопительных культур водородных, пропано-окисляющих и газообразующих бактерий. В пробе нестерильной нефти содержались тионовые, масляно-кислые, денитрифицирующие бактерии, псевдомонас, а также бактерии, окисляющие пропан, бензин, керосин, парафин, нефть, нафталин, метанол, бензойную кислоту, хлороформ. В колбы с Бирючевской нефтью была внесена накопительная культура пропано-окисляющих бактерий. Нестерильная проба этой нефти содер-

жала тионовые, водородные, денитрифицирующие, а также бактерии, окисляющие пропан, бензин, керосин, парафин, солярное масло, метанол, фенол, бензойную кислоту и хлороформ. Параллельно ставился контроль со стерильными образцами Бирючевской нефти без внесения микроорганизмов (см. табл. 1).

Все посевы инкубировали при температуре 28—30°. Для большего контакта микроорганизмов с нефтью в первые два-три месяца проводили регулярное перемешивание. Пробы нефтей и питательную среду характеризовали до и после проведения эксперимента следующими показателями: pH, окислительно-восстановительным потенциалом (ОВП), степенью аэробности среды (гН_2), межфазным натяжением, количеством клеток. Для нефти определялись значения удельного веса, молекулярного веса, коэффициента светопоглощения (КСП), содержание общей среды и фракционный состав.

Анализ газов, представляющих сложную смесь углеводородов от C_1 до C_7 и неуглеводородных компонентов, проводили методом газовой хроматографии с применением синтетических и модифицированных природных адсорбентов. Для разделения углеводородов C_1 — C_7 в качестве адсорбента применяли низенский кирпич (ИНЗ-600), модифицированный вазелиновым маслом. Анализ проводили на хроматографе ХЛ-69 при следующих условиях: длина колонки 6 м, $t=85^\circ\text{C}$, газ-носитель — гелий. Чувствительность подбирали экспериментально. Количество пробы составляло 1 мл.

Неуглеводородные компоненты газов: водород, азот, кислород, и низкокипящие углеводороды — определяли на хроматографе УХ-2 с односторонней колонкой, где в качестве неподвижной фазы были использованы молекулярные сита с размером пор 10 Å. Режим работы колонки был следующим: температура 50°, газ-носитель — гелий, количество пробы 1 мл.

Образцы нефтей, подвергнутые полугодовому воздействию микроорганизмов, были исследованы после предварительной подготовки. Она заключалась в освобождении нефти от водной и солевой частей питательной среды, а также от микроорганизмов.

Вначале нефть отделяли от питательной среды декантацией. Продукт, оставшийся после отделения воды, представлял весьма устойчивую водно-нефтяную эмульсию, которая разрушалась центрифугированием.

В особо трудных случаях эмульсия разрушалась добавкой дисольвана (водный раствор), взятого из расчета 5 мл 2%-ного раствора дисольвана на 1 л нефти. Затем пробу подвергали отмывке дистиллированной водой от солей питательной среды до отрицательной реакции на хлор-ион.

Промытую водой нефтяную пробу обрабатывали бензолом в соотношении 1:5. При этом выделялись два слоя продукта: первый — раствор нефти в бензоле со следами воды, второй —

Таблица 2

Компонентный состав газов по данным газохроматографического анализа

Нефть	№ опыта	Обработка нефти	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	$i\text{-C}_5\text{H}_{12}$	$n\text{-C}_5\text{H}_{12}$	Состав газа, об. %							Сумма																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
									C_6H_{14}	C_7H_{16}	C_8H_{18}	C_9H_{20}	$\text{C}_{10}\text{H}_{22}$	$\text{C}_{11}\text{H}_{24}$	$\text{C}_{12}\text{H}_{26}$		$\text{C}_{13}\text{H}_{28}$	$\text{C}_{14}\text{H}_{30}$	$\text{C}_{15}\text{H}_{32}$	$\text{C}_{16}\text{H}_{34}$	$\text{C}_{17}\text{H}_{36}$	$\text{C}_{18}\text{H}_{38}$	$\text{C}_{19}\text{H}_{40}$	$\text{C}_{20}\text{H}_{42}$	$\text{C}_{21}\text{H}_{44}$	$\text{C}_{22}\text{H}_{46}$	$\text{C}_{23}\text{H}_{48}$	$\text{C}_{24}\text{H}_{50}$	$\text{C}_{25}\text{H}_{52}$	$\text{C}_{26}\text{H}_{54}$	$\text{C}_{27}\text{H}_{56}$	$\text{C}_{28}\text{H}_{58}$	$\text{C}_{29}\text{H}_{60}$	$\text{C}_{30}\text{H}_{62}$	$\text{C}_{31}\text{H}_{64}$	$\text{C}_{32}\text{H}_{66}$	$\text{C}_{33}\text{H}_{68}$	$\text{C}_{34}\text{H}_{70}$	$\text{C}_{35}\text{H}_{72}$	$\text{C}_{36}\text{H}_{74}$	$\text{C}_{37}\text{H}_{76}$	$\text{C}_{38}\text{H}_{78}$	$\text{C}_{39}\text{H}_{80}$	$\text{C}_{40}\text{H}_{82}$	$\text{C}_{41}\text{H}_{84}$	$\text{C}_{42}\text{H}_{86}$	$\text{C}_{43}\text{H}_{88}$	$\text{C}_{44}\text{H}_{90}$	$\text{C}_{45}\text{H}_{92}$	$\text{C}_{46}\text{H}_{94}$	$\text{C}_{47}\text{H}_{96}$	$\text{C}_{48}\text{H}_{98}$	$\text{C}_{49}\text{H}_{100}$	$\text{C}_{50}\text{H}_{102}$	$\text{C}_{51}\text{H}_{104}$	$\text{C}_{52}\text{H}_{106}$	$\text{C}_{53}\text{H}_{108}$	$\text{C}_{54}\text{H}_{110}$	$\text{C}_{55}\text{H}_{112}$	$\text{C}_{56}\text{H}_{114}$	$\text{C}_{57}\text{H}_{116}$	$\text{C}_{58}\text{H}_{118}$	$\text{C}_{59}\text{H}_{120}$	$\text{C}_{60}\text{H}_{122}$	$\text{C}_{61}\text{H}_{124}$	$\text{C}_{62}\text{H}_{126}$	$\text{C}_{63}\text{H}_{128}$	$\text{C}_{64}\text{H}_{130}$	$\text{C}_{65}\text{H}_{132}$	$\text{C}_{66}\text{H}_{134}$	$\text{C}_{67}\text{H}_{136}$	$\text{C}_{68}\text{H}_{138}$	$\text{C}_{69}\text{H}_{140}$	$\text{C}_{70}\text{H}_{142}$	$\text{C}_{71}\text{H}_{144}$	$\text{C}_{72}\text{H}_{146}$	$\text{C}_{73}\text{H}_{148}$	$\text{C}_{74}\text{H}_{150}$	$\text{C}_{75}\text{H}_{152}$	$\text{C}_{76}\text{H}_{154}$	$\text{C}_{77}\text{H}_{156}$	$\text{C}_{78}\text{H}_{158}$	$\text{C}_{79}\text{H}_{160}$	$\text{C}_{80}\text{H}_{162}$	$\text{C}_{81}\text{H}_{164}$	$\text{C}_{82}\text{H}_{166}$	$\text{C}_{83}\text{H}_{168}$	$\text{C}_{84}\text{H}_{170}$	$\text{C}_{85}\text{H}_{172}$	$\text{C}_{86}\text{H}_{174}$	$\text{C}_{87}\text{H}_{176}$	$\text{C}_{88}\text{H}_{178}$	$\text{C}_{89}\text{H}_{180}$	$\text{C}_{90}\text{H}_{182}$	$\text{C}_{91}\text{H}_{184}$	$\text{C}_{92}\text{H}_{186}$	$\text{C}_{93}\text{H}_{188}$	$\text{C}_{94}\text{H}_{190}$	$\text{C}_{95}\text{H}_{192}$	$\text{C}_{96}\text{H}_{194}$	$\text{C}_{97}\text{H}_{196}$	$\text{C}_{98}\text{H}_{198}$	$\text{C}_{99}\text{H}_{200}$	$\text{C}_{100}\text{H}_{202}$	$\text{C}_{101}\text{H}_{204}$	$\text{C}_{102}\text{H}_{206}$	$\text{C}_{103}\text{H}_{208}$	$\text{C}_{104}\text{H}_{210}$	$\text{C}_{105}\text{H}_{212}$	$\text{C}_{106}\text{H}_{214}$	$\text{C}_{107}\text{H}_{216}$	$\text{C}_{108}\text{H}_{218}$	$\text{C}_{109}\text{H}_{220}$	$\text{C}_{110}\text{H}_{222}$	$\text{C}_{111}\text{H}_{224}$	$\text{C}_{112}\text{H}_{226}$	$\text{C}_{113}\text{H}_{228}$	$\text{C}_{114}\text{H}_{230}$	$\text{C}_{115}\text{H}_{232}$	$\text{C}_{116}\text{H}_{234}$	$\text{C}_{117}\text{H}_{236}$	$\text{C}_{118}\text{H}_{238}$	$\text{C}_{119}\text{H}_{240}$	$\text{C}_{120}\text{H}_{242}$	$\text{C}_{121}\text{H}_{244}$	$\text{C}_{122}\text{H}_{246}$	$\text{C}_{123}\text{H}_{248}$	$\text{C}_{124}\text{H}_{250}$	$\text{C}_{125}\text{H}_{252}$	$\text{C}_{126}\text{H}_{254}$	$\text{C}_{127}\text{H}_{256}$	$\text{C}_{128}\text{H}_{258}$	$\text{C}_{129}\text{H}_{260}$	$\text{C}_{130}\text{H}_{262}$	$\text{C}_{131}\text{H}_{264}$	$\text{C}_{132}\text{H}_{266}$	$\text{C}_{133}\text{H}_{268}$	$\text{C}_{134}\text{H}_{270}$	$\text{C}_{135}\text{H}_{272}$	$\text{C}_{136}\text{H}_{274}$	$\text{C}_{137}\text{H}_{276}$	$\text{C}_{138}\text{H}_{278}$	$\text{C}_{139}\text{H}_{280}$	$\text{C}_{140}\text{H}_{282}$	$\text{C}_{141}\text{H}_{284}$	$\text{C}_{142}\text{H}_{286}$	$\text{C}_{143}\text{H}_{288}$	$\text{C}_{144}\text{H}_{290}$	$\text{C}_{145}\text{H}_{292}$	$\text{C}_{146}\text{H}_{294}$	$\text{C}_{147}\text{H}_{296}$	$\text{C}_{148}\text{H}_{298}$	$\text{C}_{149}\text{H}_{300}$	$\text{C}_{150}\text{H}_{302}$	$\text{C}_{151}\text{H}_{304}$	$\text{C}_{152}\text{H}_{306}$	$\text{C}_{153}\text{H}_{308}$	$\text{C}_{154}\text{H}_{310}$	$\text{C}_{155}\text{H}_{312}$	$\text{C}_{156}\text{H}_{314}$	$\text{C}_{157}\text{H}_{316}$	$\text{C}_{158}\text{H}_{318}$	$\text{C}_{159}\text{H}_{320}$	$\text{C}_{160}\text{H}_{322}$	$\text{C}_{161}\text{H}_{324}$	$\text{C}_{162}\text{H}_{326}$	$\text{C}_{163}\text{H}_{328}$	$\text{C}_{164}\text{H}_{330}$	$\text{C}_{165}\text{H}_{332}$	$\text{C}_{166}\text{H}_{334}$	$\text{C}_{167}\text{H}_{336}$	$\text{C}_{168}\text{H}_{338}$	$\text{C}_{169}\text{H}_{340}$	$\text{C}_{170}\text{H}_{342}$	$\text{C}_{171}\text{H}_{344}$	$\text{C}_{172}\text{H}_{346}$	$\text{C}_{173}\text{H}_{348}$	$\text{C}_{174}\text{H}_{350}$	$\text{C}_{175}\text{H}_{352}$	$\text{C}_{176}\text{H}_{354}$	$\text{C}_{177}\text{H}_{356}$	$\text{C}_{178}\text{H}_{358}$	$\text{C}_{179}\text{H}_{360}$	$\text{C}_{180}\text{H}_{362}$	$\text{C}_{181}\text{H}_{364}$	$\text{C}_{182}\text{H}_{366}$	$\text{C}_{183}\text{H}_{368}$	$\text{C}_{184}\text{H}_{370}$	$\text{C}_{185}\text{H}_{372}$	$\text{C}_{186}\text{H}_{374}$	$\text{C}_{187}\text{H}_{376}$	$\text{C}_{188}\text{H}_{378}$	$\text{C}_{189}\text{H}_{380}$	$\text{C}_{190}\text{H}_{382}$	$\text{C}_{191}\text{H}_{384}$	$\text{C}_{192}\text{H}_{386}$	$\text{C}_{193}\text{H}_{388}$	$\text{C}_{194}\text{H}_{390}$	$\text{C}_{195}\text{H}_{392}$	$\text{C}_{196}\text{H}_{394}$	$\text{C}_{197}\text{H}_{396}$	$\text{C}_{198}\text{H}_{398}$	$\text{C}_{199}\text{H}_{400}$	$\text{C}_{200}\text{H}_{402}$	$\text{C}_{201}\text{H}_{404}$	$\text{C}_{202}\text{H}_{406}$	$\text{C}_{203}\text{H}_{408}$	$\text{C}_{204}\text{H}_{410}$	$\text{C}_{205}\text{H}_{412}$	$\text{C}_{206}\text{H}_{414}$	$\text{C}_{207}\text{H}_{416}$	$\text{C}_{208}\text{H}_{418}$	$\text{C}_{209}\text{H}_{420}$	$\text{C}_{210}\text{H}_{422}$	$\text{C}_{211}\text{H}_{424}$	$\text{C}_{212}\text{H}_{426}$	$\text{C}_{213}\text{H}_{428}$	$\text{C}_{214}\text{H}_{430}$	$\text{C}_{215}\text{H}_{432}$	$\text{C}_{216}\text{H}_{434}$	$\text{C}_{217}\text{H}_{436}$	$\text{C}_{218}\text{H}_{438}$	$\text{C}_{219}\text{H}_{440}$	$\text{C}_{220}\text{H}_{442}$	$\text{C}_{221}\text{H}_{444}$	$\text{C}_{222}\text{H}_{446}$	$\text{C}_{223}\text{H}_{448}$	$\text{C}_{224}\text{H}_{450}$	$\text{C}_{225}\text{H}_{452}$	$\text{C}_{226}\text{H}_{454}$	$\text{C}_{227}\text{H}_{456}$	$\text{C}_{228}\text{H}_{458}$	$\text{C}_{229}\text{H}_{460}$	$\text{C}_{230}\text{H}_{462}$	$\text{C}_{231}\text{H}_{464}$	$\text{C}_{232}\text{H}_{466}$	$\text{C}_{233}\text{H}_{468}$	$\text{C}_{234}\text{H}_{470}$	$\text{C}_{235}\text{H}_{472}$	$\text{C}_{236}\text{H}_{474}$	$\text{C}_{237}\text{H}_{476}$	$\text{C}_{238}\text{H}_{478}$	$\text{C}_{239}\text{H}_{480}$	$\text{C}_{240}\text{H}_{482}$	$\text{C}_{241}\text{H}_{484}$	$\text{C}_{242}\text{H}_{486}$	$\text{C}_{243}\text{H}_{488}$	$\text{C}_{244}\text{H}_{490}$	$\text{C}_{245}\text{H}_{492}$	$\text{C}_{246}\text{H}_{494}$	$\text{C}_{247}\text{H}_{496}$	$\text{C}_{248}\text{H}_{498}$	$\text{C}_{249}\text{H}_{500}$	$\text{C}_{250}\text{H}_{502}$	$\text{C}_{251}\text{H}_{504}$	$\text{C}_{252}\text{H}_{506}$	$\text{C}_{253}\text{H}_{508}$	$\text{C}_{254}\text{H}_{510}$	$\text{C}_{255}\text{H}_{512}$	$\text{C}_{256}\text{H}_{514}$	$\text{C}_{257}\text{H}_{516}$	$\text{C}_{258}\text{H}_{518}$	$\text{C}_{259}\text{H}_{520}$	$\text{C}_{260}\text{H}_{522}$	$\text{C}_{261}\text{H}_{524}$	$\text{C}_{262}\text{H}_{526}$	$\text{C}_{263}\text{H}_{528}$	$\text{C}_{264}\text{H}_{530}$	$\text{C}_{265}\text{H}_{532}$	$\text{C}_{266}\text{H}_{534}$	$\text{C}_{267}\text{H}_{536}$	$\text{C}_{268}\text{H}_{538}$	$\text{C}_{269}\text{H}_{540}$	$\text{C}_{270}\text{H}_{542}$	$\text{C}_{271}\text{H}_{544}$	$\text{C}_{272}\text{H}_{546}$	$\text{C}_{273}\text{H}_{548}$	$\text{C}_{274}\text{H}_{550}$	$\text{C}_{275}\text{H}_{552}$	$\text{C}_{276}\text{H}_{554}$	$\text{C}_{277}\text{H}_{556}$	$\text{C}_{278}\text{H}_{558}$	$\text{C}_{279}\text{H}_{560}$	$\text{C}_{280}\text{H}_{562}$	$\text{C}_{281}\text{H}_{564}$	$\text{C}_{282}\text{H}_{566}$	$\text{C}_{283}\text{H}_{568}$	$\text{C}_{284}\text{H}_{570}$	$\text{C}_{285}\text{H}_{572}$	$\text{C}_{286}\text{H}_{574}$	$\text{C}_{287}\text{H}_{576}$	$\text{C}_{288}\text{H}_{578}$	$\text{C}_{289}\text{H}_{580}$	$\text{C}_{290}\text{H}_{582}$	$\text{C}_{291}\text{H}_{584}$	$\text{C}_{292}\text{H}_{586}$	$\text{C}_{293}\text{H}_{588}$	$\text{C}_{294}\text{H}_{590}$	$\text{C}_{295}\text{H}_{592}$	$\text{C}_{296}\text{H}_{594}$	$\text{C}_{297}\text{H}_{596}$	$\text{C}_{298}\text{H}_{598}$	$\text{C}_{299}\text{H}_{600}$	$\text{C}_{300}\text{H}_{602}$	$\text{C}_{301}\text{H}_{604}$	$\text{C}_{302}\text{H}_{606}$	$\text{C}_{303}\text{H}_{608}$	$\text{C}_{304}\text{H}_{610}$	$\text{C}_{305}\text{H}_{612}$	$\text{C}_{306}\text{H}_{614}$	$\text{C}_{307}\text{H}_{616}$	$\text{C}_{308}\text{H}_{618}$	$\text{C}_{309}\text{H}_{620}$	$\text{C}_{310}\text{H}_{622}$	$\text{C}_{311}\text{H}_{624}$	$\text{C}_{312}\text{H}_{626}$	$\text{C}_{313}\text{H}_{628}$	$\text{C}_{314}\text{H}_{630}$	$\text{C}_{315}\text{H}_{632}$	$\text{C}_{316}\text{H}_{634}$	$\text{C}_{317}\text{H}_{636}$	$\text{C}_{318}\text{H}_{638}$	$\text{C}_{319}\text{H}_{640}$	$\text{C}_{320}\text{H}_{642}$	$\text{C}_{321}\text{H}_{644}$	$\text{C}_{322}\text{H}_{646}$	$\text{C}_{323}\text{H}_{648}$	$\text{C}_{324}\text{H}_{650}$	$\text{C}_{325}\text{H}_{652}$	$\text{C}_{326}\text{H}_{654}$	$\text{C}_{327}\text{H}_{656}$	$\text{C}_{328}\text{H}_{658}$	$\text{C}_{329}\text{H}_{660}$	$\text{C}_{330}\text{H}_{662}$	$\text{C}_{331}\text{H}_{664}$	$\text{C}_{332}\text{H}_{666}$	$\text{C}_{333}\text{H}_{668}$	$\text{C}_{334}\text{H}_{670}$	$\text{C}_{335}\text{H}_{672}$	$\text{C}_{336}\text{H}_{674}$	$\text{C}_{337}\text{H}_{676}$	$\text{C}_{338}\text{H}_{678}$	$\text{C}_{339}\text{H}_{680}$	$\text{C}_{340}\text{H}_{682}$	$\text{C}_{341}\text{H}_{684}$	$\text{C}_{342}\text{H}_{686}$	$\text{C}_{343}\text{H}_{688}$	$\text{C}_{344}\text{H}_{690}$	$\text{C}_{345}\text{H}_{692}$	$\text{C}_{346}\text{H}_{694}$	$\text{C}_{347}\text{H}_{696}$	$\text{C}_{348}\text{H}_{698}$	$\text{C}_{349}\text{H}_{700}$	$\text{C}_{350}\text{H}_{702}$	$\text{C}_{351}\text{H}_{704}$	$\text{C}_{352}\text{H}_{706}$	$\text{C}_{353}\text{H}_{708}$	$\text{C}_{354}\text{H}_{710}$	$\text{C}_{355}\text{H}_{712}$	$\text{C}_{356}\text{H}_{714}$	$\text{C}_{357}\text{H}_{716}$	$\text{C}_{358}\text{H}_{718}$	$\text{C}_{359}\text{H}_{720}$	$\text{C}_{360}\text{H}_{722}$	$\text{C}_{361}\text{H}_{724}$	$\text{C}_{362}\text{H}_{726}$	$\text{C}_{363}\text{H}_{728}$	$\text{C}_{364}\text{H}_{730}$	$\text{C}_{365}\text{H}_{732}$	$\text{C}_{366}\text{H}_{734}$	$\text{C}_{367}\text{H}_{736}$	$\text{C}_{368}\text{H}_{738}$	$\text{C}_{369}\text{H}_{740}$	$\text{C}_{370}\text{H}_{742}$	$\text{C}_{371}\text{H}_{744}$	$\text{C}_{372}\text{H}_{746}$	$\text{C}_{373}\text{H}_{748}$	$\text{C}_{374}\text{H}_{750}$	$\text{C}_{375}\text{H}_{752}$	$\text{C}_{376}\text{H}_{754}$	$\text{C}_{377}\text{H}_{756}$	$\text{C}_{378}\text{H}_{758}$	$\text{C}_{379}\text{H}_{760}$	$\text{C}_{380}\text{H}_{762}$	$\text{C}_{381}\text{H}_{764}$	$\text{C}_{382}\text{H}_{766}$	$\text{C}_{383}\text{H}_{768}$	$\text{C}_{384}\text{H}_{770}$	$\text{C}_{385}\text{H}_{772}$	$\text{C}_{386}\text{H}_{774}$	$\text{C}_{387}\text{H}_{776}$	$\text{C}_{388}\text{H}_{778}$	$\text{C}_{389}\text{H}_{780}$	$\text{C}_{390}\text{H}_{782}$	$\text{C}_{391}\text{H}_{784}$	$\text{C}_{392}\text{H}_{786}$	$\text{C}_{393}\text{H}_{788}$	$\text{C}_{394}\text{H}_{790}$	$\text{C}_{395}\text{H}_{792}$	$\text{C}_{396}\text{H}_{794}$	$\text{C}_{397}\text{H}_{796}$	$\text{C}_{398}\text{H}_{798}$	$\text{C}_{399}\text{H}_{800}$	$\text{C}_{400}\text{H}_{802}$	$\text{C}_{401}\text{H}_{804}$	$\text{C}_{402}\text{H}_{806}$	$\text{C}_{403}\text{H}_{808}$	$\text{C}_{404}\text{H}_{810}$	$\text{C}_{405}\text{H}_{812}$	$\text{C}_{406}\text{H}_{814}$	$\text{C}_{407}\text{H}_{816}$	$\text{C}_{408}\text{H}_{818}$	$\text{C}_{409}\text{H}_{820}$	$\text{C}_{410}\text{H}_{822}$	$\text{C}_{411}\text{H}_{824}$	$\text{C}_{412}\text{H}_{826}$	$\text{C}_{413}\text{H}_{828}$	$\text{C}_{414}\text{H}_{830}$	$\text{C}_{415}\text{H}_{832}$	$\text{C}_{416}\text{H}_{834}$	$\text{C}_{417}\text{H}_{836}$	$\text{C}_{418}\text{H}_{838}$	$\text{C}_{419}\text{H}_{840}$	$\text{C}_{420}\text{H}_{842}$	$\text{C}_{421}\text{H}_{844}$	$\text{C}_{422}\text{H}_{846}$	$\text{C}_{423}\text{H}_{848}$	$\text{C}_{424}\text{H}_{850}$	$\text{C}_{425}\text{H}_{852}$	$\text{C}_{426}\text{H}_{854}$	$\text{C}_{427}\text{H}_{856}$	$\text{C}_{428}\text{H}_{858}$	$\text{C}_{429}\text{H}_{860}$	$\text{C}_{430}\text{H}_{862}$	$\text{C}_{431}\text{H}_{864}$	$\text{C}_{432}\text{H}_{866}$	$\text{C}_{433}\text{H}_{868}$	$\text{C}_{434}\text{H}_{870}$	$\text{C}_{435}\text{H}_{872}$	$\text{C}_{436}\text{H}_{874}$	$\text{C}_{437}\text{H}_{876}$	$\text{C}_{438}\text{H}_{878}$	$\text{C}_{439}\text{H}_{880}$	$\text{C}_{440}\text{H}_{882}$

Результаты бактериальной обработки проб

Нефть	№ опыта	Обработка нефти	Характеристика питательной среды			Межфазное натяжение, дин/см ²
			pH	ОВП	гН ₂	
Тихоновская	1	Стерильная	5,55	-155	10,51	42,24
		Нестерильная	5,95	-175	11,30	41,26
Бирючевская	2	Стерильная	5,65	-170	10,71	40,09
	3	Стерильная без микроорганизмов	4,85	-120	9,29	43,61
Исходная питательная среда	—	—	6,95	-245	13,06	44,40

пастообразная масса эмульсионного типа (нефть — вода — бензол). Первую фракцию освобождали от смеси вода — бензол на глицериновой бане при температуре не выше 100°. Вторую эмульсионную фракцию обрабатывали спирто-бензольной смесью 1:1, взятой в соотношении от 1:3 до 1:4,5. Растворы нефтей, пропущенные через специальные фильтры, освобождались от микроорганизмов. Первую и вторую фракции объединяли и очищали от следов растворителей под вакуумом (0,6 кг/см²) при температуре, не превышавшей 70°.

Очищенные от воды, солей и следов растворителей пробы доводили до постоянного веса при температуре не выше 100° (исходные нефти фракций, кипящих до 100°C, не содержали) и характеризовали по физико-химическим свойствам.

Методом посева определить количество клеток в нефти до разбивки водно-нефтяной эмульсии не представлялось возможным, так как разбивка эмульсии приводит к нарушению анаэробных условий и к гибели микробных клеток. Поэтому пришлось ограничиться определением количества клеток только в питательной среде.

Анализ показал, что количество клеток в среде после эксперимента уменьшилось от $4,5 \cdot 10^5$ до $1,0 \cdot 10^5$ (табл. 3). Возможно, это связано с тем, что количество клеток определяли только в питательной среде, тогда как основная масса микроорганизмов находилась на границе нефть — вода. Уменьшение количества клеток в питательной среде объясняется еще и тем, что возможен длительный период адаптации бактерий к новым условиям, когда увеличение количества бактерий может наблюдаться лишь к 16-му месяцу инкубирования [11].

По данным газо-хроматографического анализа, в результате воздействия микроорганизмов на стерильные пробы Тихоновской и Бирючевской нефтей отмечался прирост газов. Газообразование в опытах с Тихоновской нефтью составило 169 мл

Тихоновской и Бирючевской нефти

Таблица 3

Колич. клеток, л · 10 ⁸		Физико-химические свойства нефтяных проб							
до опыта	после опыта	d ₄ ²⁰	Молекулярный вес	v ₂₀ ²⁰ ост	Собщ. вес. %	Коэффициент светопоглощения (КСР), см ⁻¹	Фракционный состав		
							Кипящие до 200°	Кипящие при 200—300°	Кипящие при t выше 350°
2,5	0,2	0,9127	308,5	215,0	1,85	730	2,64	28,04	65,74
2,5	1,0	0,9126	290,3	215,8	1,73	730	9,92	25,75	58,72
4,5	1,0	0,9102	342,3	371,1	2,04	730	3,68	29,48	63,98
—	—	0,9331	320,3	388,9	1,75	723	4,03	28,34	66,07
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

на 300 мл нефти, что в три раза выше, чем в опытах с Бирючевской нефтью. К концу эксперимента в составе газовых проб, находившихся над стерильной Тихоновской нефтью, отмечалась убыль углеводородных компонентов С₁, С₂ и изо-С₄ на 2,59% объемных, прирост пропана на 11,4, а также примерно на 3% объемного содержания n-бутана. В составе вновь образованных компонентов газа находились УВ от пентана до гептана включительно. Прирост этих углеводородов составил около 6% объемных. Такой прирост газов — видимо, результат жизнедеятельности газообразующих бактерий, накопительная культура которых была внесена в питательную среду в начале эксперимента.

В газовой пробе, находящейся над нестерильной пробой Тихоновской нефти, отмечался некоторый прирост С₁, n-С₄, убыль компонентов от С₃ до n-С₄ примерно на 11% объемных, вероятно, в результате потребления пропана, и образование 3% УВ состава С₅—С₇. Примерно втрое возрастает количество водорода.

В результате воздействия биоценоза на Тихоновскую нефть (см. табл. 1) протекают восстановительные процессы, сопровождающиеся значительным выделением водорода и перераспределением УВ-компонентов газовой смеси. В опытах с нестерильными пробами нефтей азот, присутствующий в газовых пробах, внесен с пропаном.

Бирючевская нефть претерпела незначительные изменения под воздействием микроорганизмов (см. табл. 2, опыты 2, 3). В конце эксперимента со стерильной нефтью в составе газа отмечалось некоторое снижение содержания компонентов С₁—С₂ и прирост С₃—С₄ (на 9 об. %). Вновь образовались углеводороды от С₅ до С₇ (на 2,3%). К концу опыта с нестерильной Бирючевской нефтью в газовой пробе в три-четыре

раза повышается содержание C_1 , снижается содержание $C_2 - C_4$. Некоторый прирост отмечается нами в тяжелой части газов. В контрольных пробах с Бирючевской нефтью прироста газа совсем не наблюдается. Однако, судя по данным табл. 2, имело место изменение его углеводородного состава главным образом в результате новообразования углеводородов $C_5 - C_7$. В нестерильной пробе Бирючевской нефти это изменение носит иной характер, чем в стерильной (исчезают УВ $C_1 - C_2$).

Результаты воздействия микроорганизмов на физико-химические свойства нефти представлены в табл. 3. Внесенная накопительная культура пропанокисляющих бактерий в стерильную пробу Бирючевской нефти способствовала повышению ОВП и gH_2 , подщелачиванию среды и снижению межфазного натяжения на границе нефть — среда с 43,6 до 40,1 $дин/см^2$ (см. табл. 2). У нестерильных проб подщелачивание меньше выражено, однако межфазное натяжение снижается с 44,4 до 39,6. По-видимому, комплекс микроорганизмов, присутствующих в самой нефти в сочетании с искусственно введенной накопительной культурой пропанокисляющих бактерий, вызывает большее снижение межфазного натяжения.

Изменения в физико-химических свойствах Бирючевской нефти сопряжены, очевидно, с потерей при стерилизации некоторой части ее легких компонентов. В стерильной пробе более тяжелой Тихоновской нефти, как и в нестерильной, физико-химические показатели (плотность, молекулярный вес, вязкость, содержание серы, КСП и т. д.) заметно не изменились.

Выводы

1. Результаты газохроматографического анализа и определения физико-химических свойств нефти показали, что в опытах со стерильной Тихоновской нефтью наблюдается прирост газа. Однако рекомендовать искусственно созданный биоценоз, состоящий из накопительных культур водородных, пропанокисляющих и газообразующих бактерий, нецелесообразно, так как за шестимесячный период он не был достаточно активным, а его жизнедеятельность подавляется естественной микрофлорой, присутствующей в природной нефти.

2. Выделенные нами биоценозы не стимулируют интенсивного газообразования в парафино-нафтенных нефтях (Тихоновской и Бирючевской) и не могут быть рекомендованы как быстродействующие культуры для повышения нефтеотдачи пласта путем увеличения газообразования.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. Л. Андреевский. Труды ВНИГРИ, 131. Л., «Недра», 1959.
2. Е. И. Квасников, А. М. Гольденберг. Микробиол. ж., 1972, 4, 432.

3. В. М. Сеников, Э. М. Юлбарисов, Н. Н. Талдыкина, Е. П. Шишенина. Микробиология, 1970, 39, 4, 705.

4. M. Dastalek, M. Spurny. Působení mikroorganismu při uvolnování nafty z kalcitoru. II Práce vyzkumreha Ustavu Cs. naftavych-doly, 14, 49, 57. Praha, 1959.

5. D. C. Hitsman, Bartlesville, Okla. Waterflood bacterial viscosifier. US Pat., 1971, 3801, 502.

6. I. Jaranyi, L. Kiss, Gy. Szalanczy. Die Anwendbarkeit der mikrobiologischen Methode beider Erdöl- und Kalkstein-erdöllagerstätten verschiedener Permeabilität. Vorträge Intern. Symp. Erdölmikrobiologie, Abh. Deutschen. Acad. Wiss. Berlin, Acad. Verl., 1966.

7. J. Karaskiewicz. Lastosowanie metod microbiologicznych w intensyfikacji eksploatacji Karpackich, Jłöz Ropy Naftowe. Prace institute Naftawego. Wydawnich wa. Katakice, "Slask", 1974.

8. Э. Бирштехер. Нефтяная микробиология. М., Гостопиздат, 1957.

9. Е. П. Розанова, С. И. Кузнецов. Микрофлора нефтяных месторождений. М., «Наука», 1974.

10. Т. Л. Симакова, А. И. Горская, З. А. Колесник, О. П. Болотская, Н. И. Шмонова, Н. В. Стригалева. Труды ВНИГРИ, 128. Л., «Недра», 1958, с. 315.

11. Т. Л. Симакова, И. К. Воронова, З. И. Герасюто и др. Труды ВНИГРИ, 281. Л., «Недра», 1970, с. 90.

Э. М. ЮЛБАРISOV, Л. М. РУБИНШТЕЙН

ГЕОЛОГО-ФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПЛАСТА КАК СРЕДЫ ОБИТАНИЯ БАКТЕРИЙ ПРИ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДАХ ПОВЫШЕНИЯ ЕГО НЕФТЕОТДАЧИ

Биохимическая обработка залежи требует специальной интерпретации характеристик коллектора, нефти, воды и газов как среды обитания микроорганизмов.

Установлено, что наибольшее значение для нормальной жизнедеятельности бактерий в биосфере Земли имеют факторы, характеризующие физико-химические условия среды.

Наличие влаги. Без предварительного растворения в воде многие питательные вещества не могут проникнуть внутрь клетки.

Величина концентрации растворенных веществ. Высокие концентрации создают вокруг клетки физиологическую сухость, и в этом случае вода становится недоступной для микроорганизмов.

Температура. Определяет возможность и интенсивность развития бактерий. Большинство повсеместно распространенных микроорганизмов относится к мезофилам, наиболее активное развитие которых наблюдается при 20—35°C. Пределы развития: нижний — -3°C, верхний — +45—50°C.

Давление. Бактерии весьма устойчивы к этому фактору. Давление до 10 000 атм не оказывает отрицательного воздействия на клетку.

pH. Одни формы успешнее развиваются в щелочных средах, другие — в кислых.

Влияние кислорода. Потребность в условиях аэрации у микроорганизмов разная. Среди них есть облигатные аэробы и облигатные анаэробы, существуют промежуточные формы по отношению к кислороду воздуха (факультативные). Степень аэробности количественно характеризуется величиной окислительно-восстановительного потенциала (ОКВП). Водный раствор, насыщенный кислородом, имеет значение $H_2=41$, $H_2=0$

характеризует среду с резко выраженными восстановительными свойствами.

Влияние ОКВП. Регулируя ОКВП, можно стимулировать или ограничивать развитие отдельных групп, изменять их физиологическую активность и характер вызываемых превращений.

Исследования советских и зарубежных микробиологов позволили установить, что в нефтеносных пластах широко представлены бактерии, разлагающие нефть и органические вещества с выделением CO_2 , H_2S , NH_3 , N_2 , а также горючих газов — CH_4 , H_2 и высших углеводородов. Индивидуальные особенности, отличающие микрофлору нефтяных пластов от бактерий современных осадков, объясняются приспособлением бактерий к создающимся в погребенных осадках условиям существования (повышенные температуры, давление, минерализация, наличие углеводородов, битуминозных веществ и т. п.). Еще в тридцатых годах Т. Л. Гинзбург-Карагичевой было констатировано следующее:

1. Бактерии обитают главным образом в зоне соприкосновения нефти и воды (ВНК).

2. Ни относительно высокая температура, ни высокое пластовое давление не препятствуют жизнедеятельности бактерий.

3. Реакция среды в большинстве месторождений благоприятно влияет на жизнедеятельность микроорганизмов.

4. Микрофлора древних отложений в общем сходна с современной, в ней особенно широко распространены денитрифицирующие и сульфатвосстанавливающие микроорганизмы. Кроме них, в породах и пластовых водах встречены углеводородокисляющие, сбраживающие белки, клетчатку и другие бактерии.

Условия изолированности глубоких нефтеносных горизонтов предотвращают воздействие микроорганизмов и способствуют сохранности нефтяных залежей в течение геологически длительного времени. Только в случае попадания нефти в зону активного водообмена поверхностные микроорганизмы принимают участие в общем физико-химическом процессе изменения и разрушения нефти и ее компонентов [1—3].

Выявление активных жизнедеятельных бактерий в скважинах не зависит от стратиграфической принадлежности и глубины залегания вскрываемых горизонтов, оно связано с физико-химической обстановкой в пласте, которая может изменяться в результате вскрытия, эксплуатации и применения вторичных методов добычи нефти [1, 3, 4].

Большое значение для микробиологической деятельности имеет также содержание питательных элементов [5], химический состав пластовых нефтей и их удельный вес [1, 6—10]. Активная микрофлора обнаруживается в более тяжелых нефтях, легкие же — обсеменены значительно слабее, или совсем не обсеменены [11]. Распространение бактерий зависит от тем-

пературы и солености насыщающих пластовых вод и активной реакции среды — рН [5, 12—14].

В чисто нефтяных месторождениях, как правило, бактерии отсутствуют. Это вызвано тем, что безводная нефть — неблагоприятная среда для развития микроорганизмов. Встречаемая микрофлора в нефтяных пластах приурочена к водам, контактирующим с нефтью. Случай, когда в нефти обнаружены жизнедеятельные бактерии [15], относится к нефтям с рассеянной капельной водой [10].

Установлено симбиотическое взаимодействие отдельных групп микроорганизмов при различных окислительно-восстановительных реакциях. Выяснилось, что в водах нефтяных месторождений могут одновременно существовать не только строго анаэробные микроорганизмы, а также факультативно-анаэробные, т. е. ограниченно-анаэробные. Так, процесс восстановления сульфатов вызывается, как показали работы многих микробиологов [1, 16—21], жизнедеятельностью всего биоценоза бактерий.

В буровом растворе [22] обнаружены сульфатвосстанавливающие, разрушающие клетчатку, окисляющие метан, пропан, гептан, водород, метан- и водородобразующие бактерии. Эти исследования подтвердили возможность образования H_2 , CO_2 , H_2S и других биогенов за счет бактериальных процессов. Внесение антисептиков или искусственное доведение рН до 10 в растворе вызывало гибель бактерий, и образования газов не происходило. Для большинства микроорганизмов наиболее благоприятные водородные показатели близки к нейтральным.

Биоценозы, выделенные из различных месторождений, отличаются видовым составом, количественным соотношением различных физиологических групп и неодинаковой степенью активности бактерий. Другая особенность состоит в их относительной специфичности, выражающейся в избирательном усвоении определенных углеводов.

Достаточно много наблюдений проведено по выявлению активности микрофлоры нефтяных месторождений в зависимости от стадии разработки месторождений [3, 19, 23]. Расстояние между скважинами и интенсивность отбора нефти из них на ход распространения бактерий в залежи не влияют. Основным фактором, определяющим их распространение, является проницаемость коллектора в различных направлениях [24].

В последние два десятилетия большие усилия исследователей были направлены на выявление закономерностей изменения различных типов нефтей под воздействием биогенного фактора в анаэробных и аэробных условиях [3, 25, 26]. Если сам факт наличия распада нефтей в месторождениях с образованием газообразных продуктов можно считать установленным, то механизм бактериальных превращений нефти изучен мало.

Мнения большинства ученых сходятся на том, что все основные классы углеводов подвержены микробиологическому разложению и усвоению, но с различной скоростью и разными промежуточными продуктами [27]. Непредельные углеводы разрушаются легче и большим количеством микроорганизмов. Углеводороды с длинными цепями окисляются легче, чем с короткими.

Экспериментально доказано, что изменение нефтей в анаэробных условиях — результат совместной деятельности различных групп микроорганизмов: сульфатвосстанавливающих, денитрифицирующих, расщепляющих соли жирных кислот, бактерий, использующих легкорастворимые органические вещества и т. д. [28].

Отмечается, что в нефтях микроорганизмами могут использоваться все группы углеводов, при окислении которых образуется значительное количество водорастворимых веществ (кислота, спирт и др.), причем в анаэробных условиях изменяются более высокомолекулярные соединения, в аэробных — окислению подвергаются углеводороды с меньшим молекулярным весом; а также образуется белково-углеводная масса, представляющая собой скопление микроорганизмов и продуктов их автолиза.

Изучение геолого-физических условий пласта как среды обитания бактерий при микробиологических методах повышения его нефтеотдачи показывает, что эти факторы являются определяющими.

Однако для широкого применения данного метода требуется проведение работ как по адаптации самих бактерий к условиям пласта, так и по максимальному приближению физико-химических свойств пластовой системы к оптимальным для жизнедеятельности бактерий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Т. Л. Симанова, З. А. Колесник. Бактерии пластовых вод нефтей и пород. Л., Гостоптехиздат, 1962.
2. К. Б. Аширов, Н. В. Сазонова. Микробиология, 1962, 31, 860.
3. Е. П. Розанова, С. И. Кузнецов. Микрофлора нефтяных месторождений. М., «Наука», 1974.
4. И. В. Сазонова. Труды Ин-та микробиологии АН СССР, 1961, 9, 121.
5. З. А. Колесник. Труды ВНИГРИ, нов. сер., 1955, 83, 511.
6. Т. Л. Гинзбург-Карагичева. Очерки микробиологии нефти. М.—Л., ОНТИ НКТП СССР, 1936.
7. В. О. Таусон. Нефтяное хоз., 1928, 14, 220.
8. В. О. Таусон, С. Л. Шапиро. Основные положения растительной биоэнергетики. М., Изд-во АН СССР, 1950.
9. В. А. Экзерцев. Микробиология, 1951, 20, 4, 324.
10. С. И. Кузнецов. Изв. АН СССР, сер. биол., 1967, 6, 803.
11. С. Г. Рыбакова. Докл. АН СССР, 1957, 115, 4, 813.
12. С. Е. Zobell. Producer's Monthly, 1958, 22, 12.

13. З. И. Кузнецова. Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии. Труды Всесоюз. науч.-исслед. ин-та гидрогеологии и инженерной геологии, 18, 1959, 51.
14. В. А. Кузнецова. Микробиология, 1960, 29, 2, 408.
15. J. Heuer. Beobachtungen über das Wachstum von Bacterien in nichtwässrigen Medien. Vorträge Interny Sympos. "Erdölmikrobiologie". Brno. Berlin, Acad-Verlag, 1964.
16. Л. Д. Штурм. Микробиология, 1950, 19, 289.
17. Е. Н. Дутова. Труды Ин-та микробиологии АН СССР, 1961, 9, 101.
18. Э. Бирштехер. Нефтяная микробиология. М., Гостоптехиздат, 1957.
19. В. А. Кузнецова. Роль бактерий в процессе редукции сульфатов в нефтяных месторождениях. Автореф. канд. дисс. М., 1965.
20. Т. Л. Симакова, М. А. Ломова. О происхождении нефти в каменноугольных и пермских отложениях Волго-Уральской области. Труды ВНИГРИ, 1958, 117, 213.
21. Т. Л. Симакова, Н. В. Стригалева, З. А. Колесник и др. Геохим. сб., № 3. Труды ВНИГРИ, 1961, 174, 77.
22. З. С. Смирнова. Микробиология, 1957, 26, 745.
23. В. А. Кузнецова. Микробиология, 1964, 33, 1003.
24. М. Досталек. Биология (Чехословакия), 1953, 2, 6.
25. В. А. Кузнецова, В. М. Горленко. Прикладная биохимия и микробиология, 1965, 1, 6, 623.
26. С. И. Кузнецов, М. В. Иванов, Н. Н. Ляликова. Введение в геологическую микробиологию. М., «Наука», 1962.
27. Всесоюзная конференция по регуляции биохимических процессов у микроорганизмов. Тезисы докл. ИБФМ. Пушкино, 1972.
28. Н. В. Стригалева, Н. И. Шмонова, И. А. Шахс. Преобразование нефти микроорганизмами. Труды ВНИГРИ, 281. Л., «Недра», 1970, с. 69.

Г. А. МОГИЛЕВСКИЙ, В. М. БОГДАНОВА, Л. М. ЗОРЬКИН,
Е. В. СТАДНИК, З. П. ТЕЛЕГИНА, М. С. ТОН

РОЛЬ УГЛЕВОДОРОДОКИСЛЯЮЩИХ БАКТЕРИЙ В СНИЖЕНИИ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА И ТЯЖЕЛЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ В АТМОСФЕРЕ И ВОДОЕМАХ

Благодаря возрастающим темпам добычи горючих ископаемых, особенно наиболее подвижной их части — нефти и газа, извлекаемые запасы этих флюидов во всех странах из года в год существенно сокращаются. Одновременно увеличивается загрязнение углеводородами (УВ) окружающей среды. Поэтому задачи сбережения запасов горючих ископаемых, их экономного расходования и проблема борьбы с загрязнением околоземного пространства являются во многом взаимосвязанными.

Загрязнение околоземного пространства углеводородами может происходить и независимо от деятельности человека, и в результате нее. Второй вид загрязнения, как наиболее распространенный, представляет большую опасность для общества, поэтому методам борьбы с ним следует уделять особое внимание.

Происходящее околоземного пространства углеводородными и другими газами может происходить тремя различными путями: во-первых, путем эффузии и диффузии газов из нефтегазоносных скоплений, находящихся в недрах земли; во-вторых, путем загрязнения атмосферы, гидросферы, а также почвенных образований углеводородами, главным образом метаном за счет его генерации микроорганизмами; в-третьих, путем проявления различного рода вулканизма, в том числе извержений грязевых вулканов обычно сопутствующих газонефтяным месторождениям.

Загрязнение окружающей среды углеводородами в связи с деятельностью человека возникает в результате вскрытия углеводородных залежей, их эксплуатации, а также в процессе транспортировки нефти и газа, их дальнейшего потребления,

13. З. И. Кузнецова. Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии. Труды Всесоюз. науч.-исслед. ин-та гидрогеологии и инженерной геологии, 18, 1959, 51.
14. В. А. Кузнецова. Микробиология, 1960, 29, 2, 408.
15. J. Heuer. Beobachtungen über das Wachstum von Bacterien in nichtwasserigen Medien. Vorträge Interny Sympos. "Erdölmikrobiologie". Brno. Berlin, Acad-Verlag, 1964.
16. Л. Д. Штурм. Микробиология, 1950, 19, 289.
17. Е. Н. Дутова. Труды Ин-та микробиологии АН СССР, 1961, 9, 101.
18. Э. Бирштехер. Нефтяная микробиология. М., Гостоптехиздат, 1957.
19. В. А. Кузнецова. Роль бактерий в процессе редукции сульфатов в нефтяных месторождениях. Автореф. канд. дисс. М., 1965.
20. Т. Л. Симакова, М. А. Ломова. О происхождении нефти в каменноугольных и пермских отложениях Волго-Уральской области. Труды ВНИГРИ, 1958, 117, 213.
21. Т. Л. Симакова, Н. В. Стригалева, З. А. Колесник и др. Геохим. сб., № 3. Труды ВНИГРИ, 1961, 174, 77.
22. З. С. Смирнова. Микробиология, 1957, 26, 745.
23. В. А. Кузнецова. Микробиология, 1964, 33, 1003.
24. М. Досталек. Биология (Чехословакия), 1953, 2, 6.
25. В. А. Кузнецова, В. М. Горленко. Прикладная биохимия и микробиология, 1965, 1, 6, 623.
26. С. И. Кузнецов, М. В. Иванов, Н. Н. Ляликова. Введение в геологическую микробиологию. М., «Наука», 1962.
27. Всесоюзная конференция по регуляции биохимических процессов у микроорганизмов. Тезисы докл. ИБФМ. Пушкино, 1972.
28. Н. В. Стригалева, Н. И. Шмонова, И. А. Шахс. Преобразование нефтей микроорганизмами. Труды ВНИГРИ, 281. Л., «Недра», 1970, с. 69.

Г. А. МОГИЛЕВСКИЙ, В. М. БОГДАНОВА, Л. М. ЗОРЬКИН,
Е. В. СТАДНИК, З. П. ТЕЛЕГИНА, М. С. ТОН

РОЛЬ УГЛЕВОДОРОДОКИСЛЯЮЩИХ БАКТЕРИЙ В СНИЖЕНИИ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА И ТЯЖЕЛЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ В АТМОСФЕРЕ И ВОДОЕМАХ

Благодаря возрастающим темпам добычи горючих ископаемых, особенно наиболее подвижной их части — нефти и газа, извлекаемые запасы этих флюидов во всех странах из года в год существенно сокращаются. Одновременно увеличивается загрязнение углеводородами (УВ) окружающей среды. Поэтому задачи сбережения запасов горючих ископаемых, их экономного расходования и проблема борьбы с загрязнением околоземного пространства являются во многом взаимосвязанными.

Загрязнение околоземного пространства углеводородами может происходить и независимо от деятельности человека, и в результате нее. Второй вид загрязнения, как наиболее распространенный, представляет большую опасность для общества, поэтому методам борьбы с ним следует уделять особое внимание.

Происходящее загрязнение околоземного пространства углеводородными и другими газами может происходить тремя различными путями: во-первых, путем эффузии и диффузии газов из нефтегазоносных скоплений, находящихся в недрах земли; во-вторых, путем загрязнения атмосферы, гидросферы, а также почвенных образований углеводородами, главным образом метаном за счет его генерации микроорганизмами; в-третьих, путем проявления различного рода вулканизма, в том числе извержений грязевых вулканов обычно сопутствующих газонефтяным месторождениям.

Загрязнение окружающей среды углеводородами в связи с деятельностью человека возникает в результате вскрытия углеводородных залежей, их эксплуатации, а также в процессе транспортировки нефти и газа, их дальнейшего потребления,

переработки и хранения. В зоне угольных месторождений при разработке угленосных толщ шахтный и приповерхностный воздух в значительной мере обогащается метаном и углекислотой.

В районе промышленных площадей содержание углеводородных газов в атмосфере и подземных водах достигает десятых долей и даже целых процентов, тогда как по санитарным нормам допустимыми считаются следующие концентрации различных углеводородных газов: метана — 0,070, этана — 0,037, пропана — 0,025, бутана — 0,020%.

Восходящий поток мигрирующих углеводородов над залежами нефти и газа — один из важных источников загрязнения атмосферы метаном и его гомологами. Детальное изучение параметров диффузии проводилось П. Л. Антоновым [1]. По данным В. А. Соколова [2], через 1 км² в течение суток проходит около 0,4 м³ газа. За отсутствием других данных эта цифра принимается нами как отправная. Однако до разработки горючих ископаемых значительного накопления углеводородов в околонежном пространстве и гидросфере не наблюдается. Это объясняется широко развитой в природе газоокислительной деятельностью микроорганизмов. В частности, большую роль в уничтожении углеводородных газов играет группа бактерий, окисляющих метан и его гомологи, представленная в основном родами *Pseudomonos* и *Mycobacterium*. По данным С. И. Кузнецова с сотрудниками газобактериальной экспедиции [3,4] и Г. П. Славниной [5], клетка бактерий, окисляющих газообразные углеводороды, при 27—30°C потребляет за 1 ч от 2·10⁻¹³ до 5·10⁻¹² мл пропана и метана.

В настоящее время можно считать твердо установленным, что углеводородокисляющие микроорганизмы расселяются повсюду, где при наличии кислорода воздуха появляются газообразные или жидкие углеводороды [4, 6]. В числе сред обитания этих бактерий могут быть упомянуты подпочвенные отложения и подземные воды в зоне нефтяных и газовых месторождений и подземных газохранилищ, угольные толщи и вмещающие их породы, а также донные осадки и придонные воды морей и других водоемов, воздушные массы и, как стало известно в последнее время, снежный покров.

Развитие бактерий, окисляющих углеводороды, в отдельных случаях может быть настолько интенсивным, что весь мигрирующий углеводородный поток полностью уравнивается газопоглощительной деятельностью бактерий, образующей над залежью мощный бактериальный фильтр [4].

В качестве примера можно привести результаты комплексных исследований на площади небольшой газовой залежи «Стеклогаз», расположенной в Саратовском Заволжье (рис. 1). Газовая съемка, дважды проводившаяся по грунтам и водам над залежью «Стеклогаз», не установила углеводородных ано-

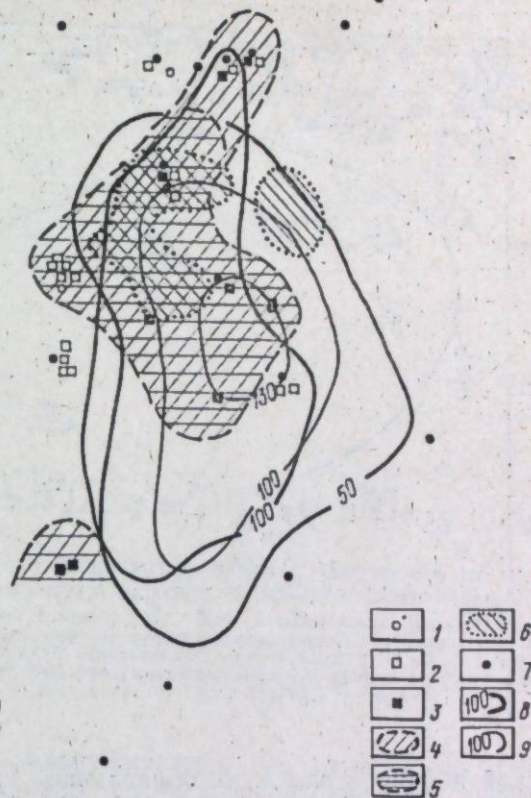
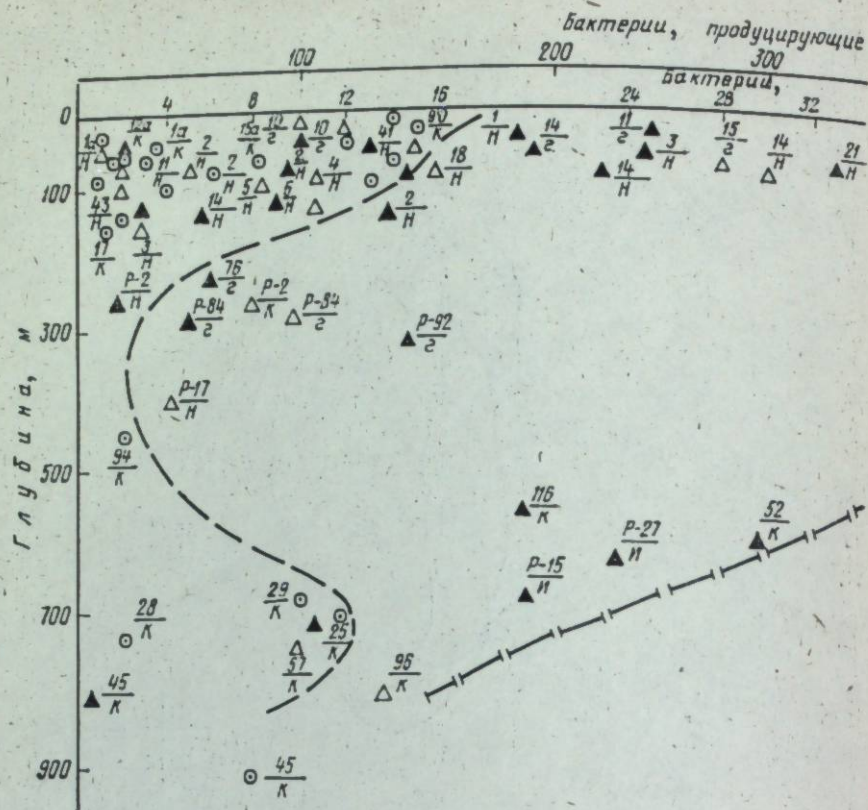


Рис. 1. Результаты водной съемки района газового месторождения «Стеклогаз».

1 — колодцы, обследованные в 1955 г.; 2 — родники, обследованные в 1955 г., со средней интенсивностью развития метан- и пропанокисляющих бактерий свыше 20 усл. ед.; 3 — то же, менее 20 усл. ед.; 4 — участки развития микрофлоры при интенсивности развития свыше 20 усл. ед.; 5 — то же, с учетом выбраковки результатов анализов; 6 — площади газового месторождения; 7 — колодцы, обследованные в 1962 г.; 8 — площадь развития метанокисляющих бактерий с интенсивностью развития более 100 усл. ед.; 9 — контуры равных содержаний микрофлоры, окисляющей пропан и бутан.

малый. В отличие от этого бактериальная съемка, также проводившаяся дважды, зафиксировала наличие хорошо развитого бактериального фильтра над газовой залежью. Отсюда может быть сделан вывод о том, что газопоглощительная способность микроорганизмов на данной площади соответствует объему диффундирующего газа [4].

Такое же исчезновение углеводородных проявлений в сводовой части нефтяного месторождения при наличии бактериальной аномалии установлено в Пермском Приуралье над Мазу-



нинской нефтяной залежью, обладающей сравнительно небольшим газовым фактором [7, 8].

За последние годы только бактериальные аномалии в подземных водах при отсутствии газовых выявлены также в Арзгиро-Мирненском районе Ставропольского края, а также в Удмуртии.

Данные многолетнего изучения микрофлоры подземных вод, проводившиеся лабораторией № 21 ВНИИЯГГ, позволяют судить о глубине распространения бактерий, окисляющих углеводороды, и бактерий, образующих метан и водород. Изучение микрофлоры подземных вод на площади действующих и проектируемых газохранилищ показывает (рис. 2), что наибольшая интенсивность процессов бактериального окисления углеводородов наблюдается в интервале первых 200—300 м.

В районах Северного Кавказа глубина распространения углеводородокисляющих микроорганизмов достигает 2500 и даже 3000 м, но наиболее активная толща ассимиляции метана и тяжелых углеводородов простирается до глубины 500—700 м.

В районах Волго-Уральской провинции бактерии, окисляю-

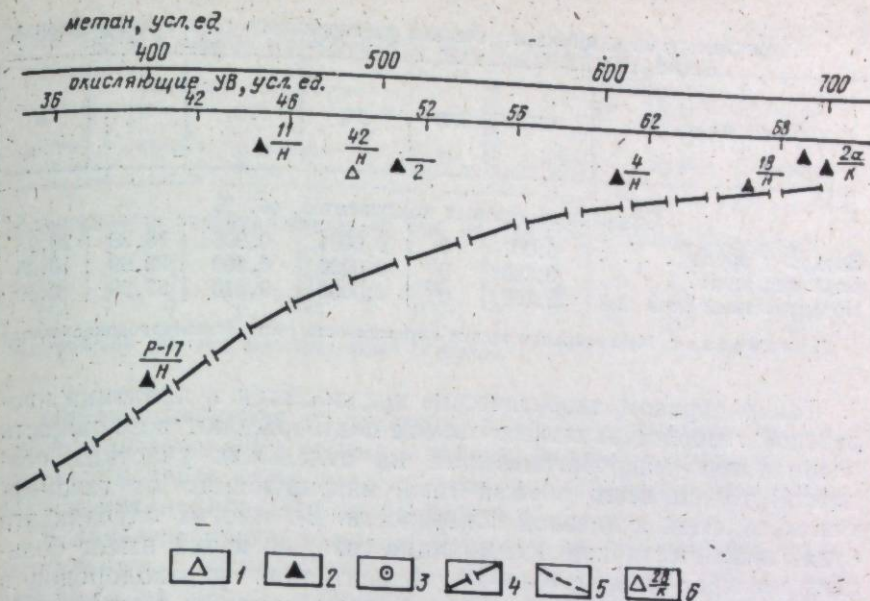


Рис. 2. График распределения микроорганизмов в зависимости от глубины на площади Гатчинского, Калужского и Невского газохранилищ.

1—3 — интенсивность развития бактерий, усл. ед.: 1 — окисляющих газообразные углеводороды; 2 — жидкие углеводороды; 3 — продуцирующих метан; 4 — граница распространения в подземных водах бактерий, использующих углеводороды; 5 — граница распространения в подземных водах бактерий, продуцирующих метан; 6 — номер водопункта и газохранилища (Г — Гатчинское, К — Калужское, Н — Невское).

щие углеводороды, обнаруживаются на глубине до 1000—1500 м, хотя наибольшая интенсивность окисления углеводородов отмечается от 0 до 300 м.

Количество бактерий, содержащихся в 1 см³ воды или в 1 г породы на больших глубинах, может варьировать в широких пределах [9, 10].

Если допустить, что содержание углеводородокисляющих бактерий в породах и водах 100 клеток на 1 мл воды (или на 1 г породы) и одна клетка в час ассимилирует 1·10⁻¹³ мл метана или пропана, а углеводородный поток по В. А. Соколову определяется в объеме 0,4 м³ в сутки на 1 км², то арифметические подсчеты показывают, что для уничтожения этого потока углеводородов мощность бактериального фильтра должна быть не менее 700 м. При содержании 1000 клеток тот же газоокислительный эффект будет достигнут при мощности бактериального фильтра 350—400 м. С. И. Кузнецов, рассматривая данные В. А. Соколова о масштабах миграционного потока углеводородов от газонефтяных залежей к дневной поверхности, в общей форме подтверждает вероятность окисления бактериями указанных количеств газа [11].

Характеристика химического состава растворенного газа и микрофлоры,

Объект изучения	CH ₄	ΣТУ	H ₂	CO ₂	N ₂	O ₂
Содержание газовых компонентов, об. %						
Воздух у пруда	0,001	0	0,0004	0,006	78,08	20,95
Вода над илом	0,390	0	0,0000	6,600	82,69	10,25
Поверхностный слой ила	32,600	0	0,0000	9,310	57,59	0,50

Примечание. Максимальная оценка интенсивности роста углеводородокисляющих

Таким образом, теоретические предпосылки и практика проведения газобактериальных съемок подтверждают возможность ассимиляции микроорганизмами на отдельных участках осадочной толщи всего объема газа, мигрирующего от газонефтяных залежей к дневной поверхности. Во многих случаях это будет лишь частичная ассимиляция газа, но и она имеет большое значение для снижения концентрации углеводородов в околоземном пространстве. На площади крупных месторождений и нефтегазоносных регионов деятельность бактерий может предотвратить поступление в атмосферу многих сотен и тысяч кубических метров газообразных углеводородов в год.

Процессы ассимиляции вулканических газов микроорганизмами специально не изучались. Известно, что огромные объемы горючих газов, извергаемых на локальных участках в результате вулканической деятельности, не могут быть окислены микроорганизмами, обитающими в атмосфере, в короткий срок.

Масштабы бактериальной генерации метана в природе огромны. По ориентировочным подсчетам различных авторов интенсивность процессов метанообразования в природе следующая, м³/год:

Почвы	51,8 · 10 ¹⁰
Реки (растворенный газ)	3,5 · 10 ⁹
Болота	
С поверхности	9,6 · 10 ⁴
Растворенный газ	1,5 · 10 ⁹
Озера	
С поверхности	9,8 · 10 ⁴
Растворенный газ	2,5 · 10 ⁹
Среднее	2,5 · 10 ¹¹

По данным С. С. Беляева [12], интенсивность бактериальной генерации метана в верхних горизонтах иловых отложений оз. Кузничиха Марийской АССР достигает 7,43—7,70 см³/л в сутки.

Таблица 1
обитающей в иловых отложениях и воде Измайловского пруда

метан	Бактерии, окисляющие			Бактерии, образующие газ на		
	пропан	пентан	гексан	ацетате	этаноле	глюкозе
Интенсивность развития бактерий, усл. ед. (аэробы) и баллы (анаэробы)						
0	0	0	0	—	—	—
172	0	20	200	10	10	15
170	0	150	200	15	10	15

бактерий 500 усл. ед.; газообразующих 15 баллов.

Однако, несмотря на широкое развитие процессов бактериального образования метана в почвах, болотах и водоемах, значительная часть этого газа до выхода в атмосферу перехватывается метаноокисляющими бактериями.

В качестве примера можно привести данные газовых и бактериальных исследований иловых отложений и придонной воды из пруда, расположенного в районе Измайловского лесопарка (г. Москва), проведенных лабораторией № 21 ВНИИЯГГ (табл. 1).

Данные, представленные в табл. 1, свидетельствуют об интенсивном развитии в иловых отложениях и воде из пруда бактерий, образующих метан, и бактерий, его окисляющих. При анализе газа, растворенного в иле и воде, обнаружено наличие метана. Концентрация его в иловых отложениях на два порядка выше, чем в толще воды над ними, что объясняется деятельностью метаноокисляющих бактерий. В составе воздуха, отобранного в районе пруда, метан практически отсутствует.

Среди искусственных источников загрязнения атмосферы и гидросферы углеводородами промышленные площадки и газохранилища занимают главное место. Это обусловлено тем, что ежедневно сотни тысяч кубометров газа поступают к промышленным и бытовым потребителям по разветвленной сети газопроводов.

В разных странах от 10 до 30% добываемого газа закачивается в подземные газохранилища, где он хранится в течение многих месяцев. После этого в периоды нагрузки вновь направляется в сеть потребителю. Все газохранилища характеризуются утечками различной интенсивности.

Один из способов локализации подземных утечек газа на площади подземных газохранилищ — это проведение газовой и бактериальной съемок по водоносным горизонтам [13].

Спустя менее года после закачки углеводородного газа в пласт-коллектор (а при наличии тектонических нарушений даже быстрее) в покровной толще пород и в верхних водонос-

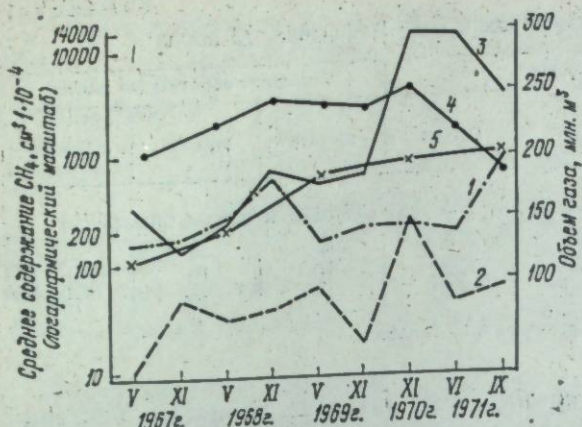


Рис. 3. График изменения содержания метана в водах, отобранных на Гатчинском газохранилище. 1 — кривая изменения содержания метана в водах отложений ордовика; 2 — то же, в водах четвертичных отложений; 3 — то же, в водах надляминартового горизонта; 4 — закачка газа; 5 — отбор газа.

ных горизонтах появляются разрозненные газопроявления, которые впоследствии образуют аномальные зоны, обогащенные углеводородными газами.

В пределах этих зон почти одновременно возникают скопления углеводородокисляющих микроорганизмов. В отдельных случаях бактериальные аномалии фиксируются раньше газовых и помогают обнаруживать зоны скопления блуждающих газов и также, что особенно важно, способствуют резкому снижению содержания метана и тяжелых углеводородов в толще покровных отложений.

В качестве примера можно взять Гатчинское и Колпинское газохранилища Ленинградской области, различные по своему геологическому строению и характеру происходящих утечек газа. Первое, расположенное на глубине около 400 м, приурочено к пологопадающим пластам; второе — к брахиантиклинальной складке и осложнено открытым грифонированием вследствие прорыва газа по стволу негерметичной скважины. Пласт-коллектор залегает на глубине около 250 м.

Многолетние съемки по водонсточникам показали, что газовые и бактериальные аномалии фиксируются на газохранилищах через несколько лет после закачки газа [13]. Существенно, что в местах развития бактериального фильтра наблюдается снижение газовых показателей.

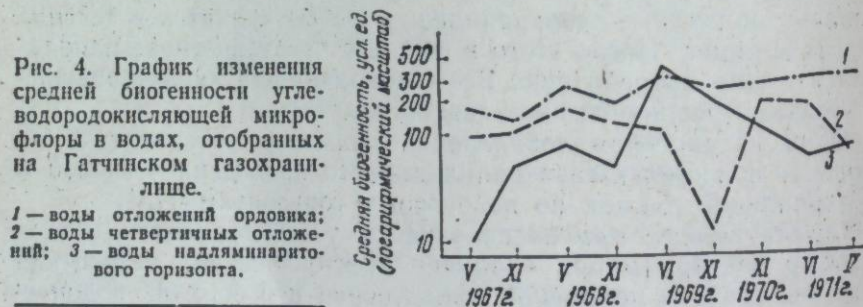


Рис. 4. График изменения средней биогенности углеводородокисляющей микрофлоры в водах, отобранных на Гатчинском газохранилище.

1 — воды отложений ордовика; 2 — воды четвертичных отложений; 3 — воды надляминартового горизонта.

Таблица 2
Изменение содержания метана в зависимости от биогенности вод, отобранных на Гатчинском газохранилище (для отложений ордовика)

Увеличение (+) или уменьшение (-) концентраций метана (М) и биогенности вод (Б); отсутствие биогенности (Б=0)	Колич. случаев изменений, происшедших между отборами			
	вторым—первым	третьим—вторым	четвертым—третьим	Всего, %
М+, Б+	3	4	3	10 (18,2)*
М-, Б+	5	3	4	
М+, Б-	7	11	9	
М-, Б-	3	0	2	
М+, Б=0	0	0	1	
М-, Б=0	0	0	0	

* В скобках — количество случаев изменений, %.

Таблица 3
Изменение содержания метана в зависимости от биогенности вод, отобранных на Колпинском газохранилище в 1967 и 1968 гг.

Увеличение (+) или уменьшение (-) концентраций метана (М) и биогенности вод (Б); отсутствие биогенности (Б=0)	Колич. случаев изменений, происходящих между отборами					
	вторым—первым	третьим—вторым	всего	вторым—первым	третьим—вторым	всего
	Четвертичные отложения			Надляминартовый горизонт		
М+, Б+	3	3	6 (37,50)*	2	2	4 (44,4)
М-, Б+	1	2	3 (18,75)	1	0	1 (6,1)
М+, Б-	1	1	2 (12,50)	0	1	1 (6,1)
М-, Б-	3	1	4 (25,00)	0	0	0
М+, Б=0	0	0	0	2	1	3 (33,4)
М-, Б=0	1	1	2 (6,25)	0	0	0

* В скобках — количество случаев изменений, %.

Таблица 4
Сопоставление усредненных данных интенсивности развития углеводородокисляющих бактерий (в усл. ед.) по результатам водной газобиохимической съемки Северо-Ставропольского и Пелагиадинского месторождений 1960 и 1961 гг.

№ сектора	1960 г.		1961 г.		1960 г.		1961 г.	
	Метаноокисляющие бактерии		Гептаноокисляющие бактерии		Углеводородные газы (концентрация, см ³ /л)			
I	17,2	25,0	65,5	83,3	1,15	0,17		
II	4,0	12,7	50,0	128,0	0,45	0,30		
III	5,0	11,2	49,7	40,3	0,60	0,20		
IV	0	1,0	40,0	16,5	0,50	0,45		
V	30,0	1,0	50,0	165,0	1,15	0,10		
Всего	56,2	50,9	255,2	433,1	3,85	1,22		

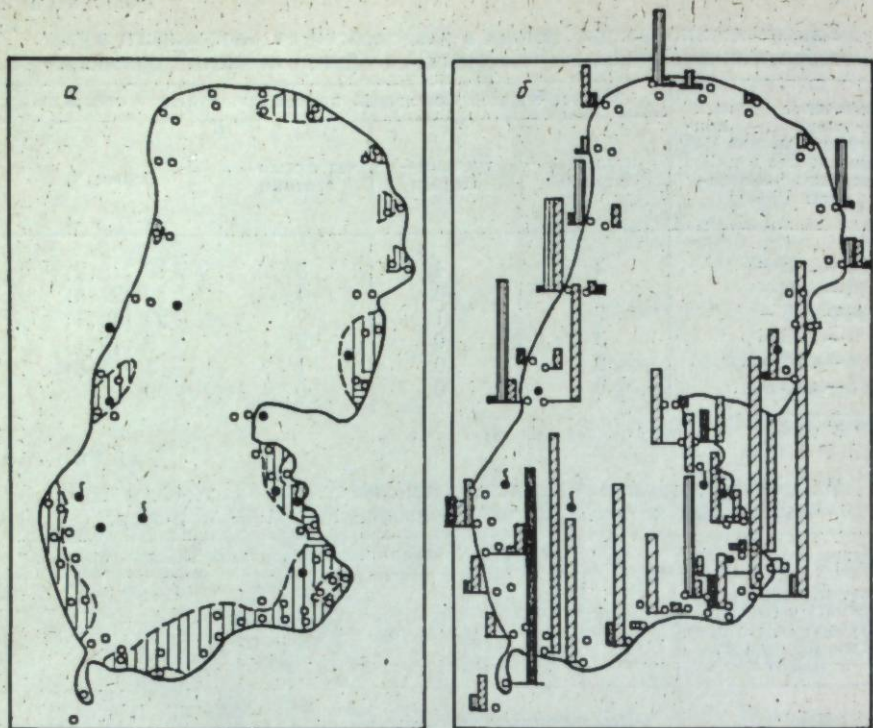


Рис. 5. Схематические карты распространения метана (а) и углеводород-окисляющих бактерий (б) в водах Сенгилеевского озера.

1 — зона концентраций метана свыше 0,01%; 2 — то же, при содержании менее 0,01%; 3 — зона развития бактерий, окисляющих метан; 4 — то же, бактерий, окисляющих пропан; 5 — то же, бактерий, окисляющих бутан; 6 — затопленные скважины; 7 — затопленные газифицирующие скважины.

По циклам закачки газа прослеживается тенденция согласованного поведения кривых газовых концентраций и интенсивности бактериального окисления (рис. 3, 4).

При статистической обработке газовых и бактериальных определений для четырех отборов по Гатчинскому газохранилищу высчитывалась разница в концентрации метана и общей биогенности вод, соответственно между вторым и первым, третьим и вторым, четвертым и третьим отборами. Как видно из табл. 2, наибольшее число случаев относится к такому соотношению газов и микрофлоры, когда содержание метана возрастает, а биогенность падает, и когда биогенность возрастает, содержание метана падает, что составляет 70% случаев (соответственно 49,1 и 21,8).

В отличие от Гатчинского газохранилища в Колпине, где наблюдаются открытые газопроявления, преобладают случаи,

когда одновременно увеличивается газовая фаза и насыщенность подземных вод бактериями. Такая группа случаев составляет 37,5% для четвертичных отложений и 44,4% для надляминаритового горизонта (табл. 3).

Заслуживают внимания результаты двухлетнего обследования пород и вод на площади Северо-Ставропольского газового месторождения, где в 1951 г. вследствие прорыва эксплуатационной колонны, в приповерхностные слои были выброшены миллионы кубометров углеводородных газов. Блуждающий газ распространился на 15—20 км от места утечки [14].

При сопоставлении съемок двух лет выяснилось, что активность микроорганизмов, окисляющих метан и гептан, возросла в среднем в 1,5 раза, а концентрация углеводородов в подземных водах упала в среднем в 3,1 раза (табл. 4).

В том же Ставропольском крае после прорыва газа из ранее пробуренных скважин на дне Сенгилеевского озера началось быстрое развитие углеводородокисляющих бактерий в толще озерной воды. В более глубоких слоях преобладало окисление метана, ближе к поверхности шло разрушение тяжелых углеводородов [6]. На прилагаемой схеме (рис. 5) показаны места отбора проб и результаты их анализов на присутствие бактерий, окисляющих углеводороды. Благодаря их деятельности вода Сенгилеевского озера, используемая для водоснабжения города, содержит растворенные углеводороды только в десятых долях процента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Микроорганизмы, окисляющие метан и тяжелые углеводороды, широко распространены в биосфере. Они развиваются достаточно активно в различных природных средах, где образуются углеводороды или куда они поступают из нефтяных, газовых или угольных залежей и непромышленных скоплений по законам диффузии и эффузии, а также в местах распространения блуждающих газов в результате их утечки из газопроводов, подземных газохранилищ и негерметичных скважин, предотвращая выход в атмосферу многих тысяч кубометров горючих газов. Этой группе микроорганизмов принадлежит важная роль в снижении концентраций метана и других углеводородов, содержащихся и образующихся в гидро- и литосфере.

ЛИТЕРАТУРА

1. П. Л. Антонов. Геохимические методы поисков нефти и газа и вопросы ядерной геологии. Труды ВНИИЯГГ, 8. М., «Недра», 1970, с. 51.
2. В. А. Соколов. Прямые геохимические методы поисков нефти. М., Гостоптехиздат, 1947, с. 82.
3. С. И. Кузнецов, В. А. Кузнецов, З. С. Смирнов. Гос. управление геологических фондов, № 3. М., Госгеолиздат, 1947, с. 75.

4. Г. А. Могилевский. Проблемы геохимических поисков нефтяных и газовых месторождений и вопросы ядерной геологии. Труды ВНИИЯГГ. М., «Недра», 1968, с. 157.

5. Г. П. Славина. Микробиология, 1961, 30, 6, 935.

6. Г. А. Могилевский, В. М. Богданова, С. Н. Кичатова, Г. П. Славина, З. П. Телегина, А. А. Филимонова, Б. С. Черкинская. Геохимические методы поисков нефти и газа и вопросы ядерной геологии. Труды ВНИИЯГГ, 8. М., «Недра», 1970, с. 211.

7. Г. А. Могилевский, А. А. Оборин. Геология и нефтегазоносность Пермского Прикамья. Труды Камского филиала ВНИГНИ, 65. Пермь, 1967, с. 267.

8. А. А. Оборин, Т. А. Катаева, А. В. Благинных. Микробиологическая промышленность, 1(121). М., ОНТИ ТЭИмикробиопром, 1975, с. 22.

9. Т. Л. Симакова, З. А. Колесник. Бактерии пластовых вод, нефтей и пород нефтяных месторождений СССР. Л., Гостоптехиздат, 1962.

10. В. А. Экзерцев. Микробиология, 1951, 20, 4, 324.

11. С. И. Кузнецов, М. В. Иванов, Н. Н. Ляликова. Введение в геологическую микробиологию. М., Изд-во АН СССР, 1962.

12. С. С. Беляев, М. В. Иванов. Микробиология, 1975, 44, 1, 166.

13. Г. А. Могилевский, Т. В. Токарева, М. С. Тон, Б. С. Черкинская. Результаты разработки и опробования прямых геохимических методов поисков месторождений нефти и газа. Труды ВНИИЯГГ, 10. М., «Недра», 1971, с. 167.

14. К. А. Белов, Г. А. Могилевский, А. Н. Сухова, Б. С. Черкинская. Геохимические и геомикробиологические методы поисков нефти и газа, сер. геол. М., 1963 (ЦНИИТЭнефтегаз), с. 44.

М. И. НОВОЖИЛОВА, Л. Е. ПОПОВА

РОЛЬ МИКРООРГАНИЗМОВ КАСПИЙСКОГО МОРЯ В РАЗЛОЖЕНИИ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

В связи с проблемой нефтяного загрязнения морских вод интерес к группе углеводородокисляющих бактерий резко возрос. Углеводородокисляющие микроорганизмы широко распространены в природе и играют существенную роль в круговороте углерода. Большинство работ по проблеме бактериального окисления углеводородов посвящено изучению микрофлоры нефтяных месторождений и пластовых вод в связи с генезисом нефти, горючих газов и выветриванием нефтей [1—7].

В процессах распада нефти, попавшей в водоем, наряду с физико-химическими факторами большую роль играют микроорганизмы. Распространение бактерий, окисляющих углеводороды в озерах, изучалось С. И. Кузнецовым [8]. В местах наиболее сильного нефтяного загрязнения р. Москвы [9] количество бактерий, окисляющих нефть, в десятки и сотни раз превышает количество бактерий, растущих на МПА, и доходит до 10 млн. в 1 мл. По данным М. В. Мосевич [10], в 1 мл воды р. Волги до ее зарегулирования находилось более 1 000 нефтеокисляющих бактерий. Водохранилища волжской системы обследовались И. Н. Дзюбан [11]. Ею было изучено распространение бактерий, окисляющих соляровое масло, керосин, парафин, нафталин. Наиболее часто встречались бактерии, окисляющие соляровое масло и керосин. Микобактерии Куйбышевского, Горьковского, Рыбинского, Угличского и Ивановского водохранилищ, их роль в окислении солярового масла подробно описаны И. Н. Дзюбан [12].

Распределению микроорганизмов, окисляющих углеводороды в воде Невской губы, посвящена работа И. Н. Поляковой [13]. Она отметила, что в р. Неве и в Невской губе широко распространены бактерии, утилизирующие углеводороды нефти и нефтепродуктов и способствующие очистке водоема. Максимум бактерий наблюдался в судоходной части реки и в поверхностном ее слое, где содержалось больше нефтяных отходов. Автором выделено 80 культур микроорганизмов, окисляющих

парафин, нафталин, соляровое масло, вазелиновое масло и керосин.

В водохранилищах рек Волги и Дона широко представлены бактерии, усваивающие углеводороды нефтяных загрязнений [14, 15]. В волжских водохранилищах их количество может достигать 10—100 тыс. в 1 мл. При этом в поверхностной пленке обнаружено в 10 раз больше микроорганизмов, окисляющих соляровое масло, чем в поверхностном горизонте воды. Бактерии, утилизирующие парафин и нафталин, встречались менее широко: 100—1000 клеток в 1 мл воды. Н. А. Гавришевой [16] приведены данные о широком распространении бактерий, ассимилирующих соляровое и машинное масла, в воде советского участка р. Дуная. Их численность составляет в среднем десятки тысяч клеток в 1 мл воды. Выделено 26 видов микроорганизмов, окисляющих углеводороды нефти. У части видов эта способность обнаружена впервые.

Исследование содержания углеводородокисляющих бактерий в р. Урал в районе г. Оренбурга показало, что бактерии, утилизирующие твердые углеводороды (парафин и нафталин), встречаются редко [17], тогда как бактерии, окисляющие соляровое масло, обнаруживались в водах реки в течение всего исследованного периода. Наибольшее количество их было отмечено в летне-осенний период.

22 штамма нефтеокисляющих бактерий, выделенных в р. Енисее, были изучены Т. В. Коронелли и В. Е. Голиббет [18] и отнесены ими к родам *Mycobacterium*, *Artrobacter*.

Сведения о распространении углеводородокисляющих бактерий в Мировом океане немногочисленны. Впервые широко и многосторонне распространение в морях бактерий, способных разлагать ряд углеводородов самого различного состава и строения, осветили Зо Белл и его сотрудники [19]. По их мнению, углеводородокисляющие бактерии широко распространены в водной толще и иловых отложениях морей до глубины 11 000 м, а процессы бактериального окисления могут происходить как в аэробных, так и в анаэробных условиях. Зо Белл, Грант и Хаасс [20] выделили из морской воды и илов бактерий, утилизирующие продукты переработки нефти, сырую нефть и многие чистые углеводороды. Количество бактерий в зоне фотосинтеза колебалось от 10 до 1 000 в 1 мл. Они были отнесены к родам *Actinomyces*, *Micromonospora*, *Mycobacterium*, *Pseudomonas*. В работах [21—24] отражена роль морских микроорганизмов в процессах окисления нефти и нефтепродуктов.

Малкинс-Филлипс и Стюарт [25] изучали распространение бактерий, использующих углеводороды, и их роль в расщеплении нефти в прибрежных водах и осадках Северной Атлантики. Такие бактерии составляли до 50% популяции гетеротрофов в районах, сильно загрязненных нефтью, а в открытых водах

их было значительно меньше. Показана связь между численностью углеводородокисляющих бактерий и степенью загрязнения морской воды нефтью [25]. Углеводородокисляющие бактерии были представлены родами *Nocardia*, *Pseudomonas*, *Flavobacter*, *Vibrio*, *Achromobacter*.

В Институте биологии Южных морей АН Укр. ССР в 1965 г. были начаты работы по изучению нефтеокисляющих микроорганизмов в Черном море в связи с загрязнением Черноморского бассейна нефтяными отходами. Была выделена большая группа углеводородокисляющих микроорганизмов [26]. На минеральной среде с нефтью из всех отобранных культур росло в среднем 40—60%. Самыми многочисленными по числу видов были роды *Bacterium* и *Pseudobacterium*, а по количеству выделенных культур *Pseudomonas sinuosa* и *Pseudomonas furcosum*. Численность углеводородокисляющих микроорганизмов уменьшалась по мере продвижения от глубины бухты к ее выходу в открытое море, составляя в среднем 100 клеток в 1 мл в зимние месяцы и 1000—100000 клеток в том же объеме летом.

Нефтеокисляющая микрофлора донных осадков юго-западной оконечности Черного моря в районе Крыма изучалась О. Г. Мироновым и М. И. Кучеренко [27]. Самыми распространенными видами, которые выделялись на всех станциях, были *Pseudomonas desmolyticum* и *Bacterium album*. Замечена прямая зависимость между содержанием в грунтах углеводородов и видовым разнообразием микроорганизмов, способных расти на нефти и ее производных.

О. Г. Миронов [28, 29] впервые приводит также данные об углеводородокисляющих микроорганизмах Средиземного, Красного морей, Индийского и Атлантического океанов, их способности использовать нефть и нефтепродукты. Установлена большая неравномерность в распределении углеводородокисляющих микроорганизмов, которая обуславливается, по его мнению, количеством нефтяного загрязнения. Наиболее распространенные виды, выделенные из большинства морей, относятся к *Bacterium album*, *Pseudomonas sinuosa*. Виды *Pseudobacterium furcosum*, *Ps. halosmophilum*, *Ps. desmolyticum*, *Bacterium halophilum*, *Vibrio percolans* встречались примерно в половине акватории. Высокая плотность нефтеокисляющих бактерий отмечена в портах и приустьевых зонах.

В поверхностной пленке гавани Одесского залива Черного моря были обнаружены окисляющие нефть микроорганизмы [30], численность которых колебалась от 100 до 10000 клеток в 1 мл. Доминирующие формы были идентифицированы как *Pseudomonas* sp. и *Mycobacterium* sp.

Исследования залива Продхо в нефтеносном районе на побережье Аляски [31] показали, что число углеводородокисляющих микроорганизмов в воде летом составляет 600—700 клеток

в 1 л и значительно увеличивается в толще воды под нефтяными сливами.

Выделенные из вод залива Аляски культуры углеводородоокисляющих бактерий [32] оказались представителями родов *Mycobacterium*, *Micrococcus*, *Chromobacterium*, *Bacillus*, *Bacterium*, *Pseudomonas*.

Грамотрицательные бактерии, разлагающие парафин, были выделены из воды Средиземного моря [33]. С. Ю. Сенцова [34] и М. В. Гусев [35], исследуя нефтеокисляющую микрофлору на 18 станциях арктических морей СССР, установили, что воды Енисейского залива, Карского моря и моря Лаптевых на протяжении Северного морского пути загрязнены нефтепродуктами. В качестве субстратов авторы использовали дизельное топливо и отработанное машинное масло. В поверхностном слое воды, часто покрытом льдом, количество углеводородоокисляющих бактерий было порядка 1500—7000 в 1 мл, с увеличением глубины до 40 м оно снижалось до 40—500 клеток в 1 мл, а глубже — составило единицы клеток в 10 мл. Отмечено, что число углеводородоокисляющих микроорганизмов коррелирует с уровнем нефтяных загрязнений и в портах в 10 раз больше, чем в пробах воды, взятых в открытом море.

Из воды и грунтов Каспийского моря М. А. Салмановым [36] выделено 164 штамма углеводородоокисляющих бактерий, способных к росту на различных углеводородных субстратах. Наиболее интенсивный рост бактерий наблюдался в сырой нефти и керосине. Количество штаммов, активно растущих на углеводородах, было больше, чем в водной толще.

По данным А. В. Цыбань [32], исследовавшей приповерхностный слой в основном прибрежной зоны Среднего и Южного Каспия, углеводородоокисляющие бактерии составляли одну из наиболее распространенных физиологических групп микроорганизмов. В прибрежных акваториях моря их численность колебалась в среднем от 10^2 до 10^6 клеток в 1 мл, тогда как в открытых водах — в среднем от 10^2 до 10^4 клеток в 1 мл. Среди культур углеводородоокисляющих бактерий, изолированных из прибрежных вод Каспийского моря, преобладали микроорганизмы родов *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Mycobacterium*, *Bacterium*, *Micrococcus*.

Количество углеводородоокисляющих бактерий в воде Рижского залива колебалось от 10 до 24 тыс. экз/мл [37] с наивысшей численностью в районе против устья р. Даугавы в верхнем слое воды глубиной 0,5 м (10400 клеток в 1 мл). В открытой части залива отмечено повышение углеводородоокисляющих микроорганизмов в придонном слое воды. Так, при численности в придонном слое 24000 клеток в 1 мл в верхнем слое воды отмечено только 120 клеток в 1 мл, что дало основание говорить о стойкости углеводородных компонентов нефтяного загрязнения Рижского залива.

Почти нет сведений о распространении в Каспийском море бактерий, способных использовать углеводороды нефти и саму нефть в качестве единственного источника углерода и энергии, о их видовом составе и способности роста на нефти и нефтепродуктах. Учитывая, что развитие нефтяной микрофлоры может служить показателем нефтяного загрязнения и что углеводородоокисляющие микроорганизмы играют важную роль в самоочищении водоема, мы изучали распределение углеводородоокисляющих микроорганизмов по акватории Каспийского моря, установили их видовое разнообразие и определили способность их роста на нефти и ее производных.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Количество углеводородоокисляющих микроорганизмов определяли методом титров на среде А. А. Ворошиловой и Е. В. Диановой [9] со следующими простерилизованными источниками углерода: эмбенской нефтью, соляровым, вазелиновым, парафиновым маслом и керосином. О наличии роста углеводородоокисляющих микроорганизмов судили по образованию бактериальной пленки, мути или осадка в среде. Посевы просматривали в течение месяца и затем производили рассев на чашки с МПА из тех пробирок, где наблюдался интенсивный рост углеводородоокисляющих микроорганизмов. После инкубации проводили отсев на косяки колоний углеводородоокисляющих микроорганизмов, которые впоследствии проверяли вторичным посевом на среду Ворошиловой и Диановой с одним из вышеуказанных углеводородов. Давшие рост культуры отсевали для последующего изучения. Видовую идентификацию углеводородоокисляющих бактерий проводили по определителям Н. А. Красильникова [38] и Бердже [39], а также использовали описание морских микроорганизмов в монографиях А. Е. Крисса [40, 41] и А. В. Цыбань [42].

ЧИСЛЕННОСТЬ, ВИДОВОЙ СОСТАВ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛЕВОДОРОДОКИСЛЯЮЩИХ МИКРООРГАНИЗМОВ В МОРЕ

Известно, что показателем интенсивности нефтяного загрязнения является численность углеводородоокисляющих бактерий. Проведенные исследования показали, что распределение численности этой группы бактерий в море неравномерно и подчинено влиянию загрязнения (рис. 1). Так, интенсивный рост углеводородоокисляющих бактерий, достигающий в наиболее загрязненных местах 10000—100000 кл/мл, наблюдался в Южном Каспии в акваториях, прилегающих к местам нефтедобычи. На разрезе о-в Жилой — мыс Куули численность микроорганизмов, окисляющих нефть, парафиновое, соляровое и вазелиновое масло, составила 10^4 — 10^5 клеток в 1 мл. Далее, по мере

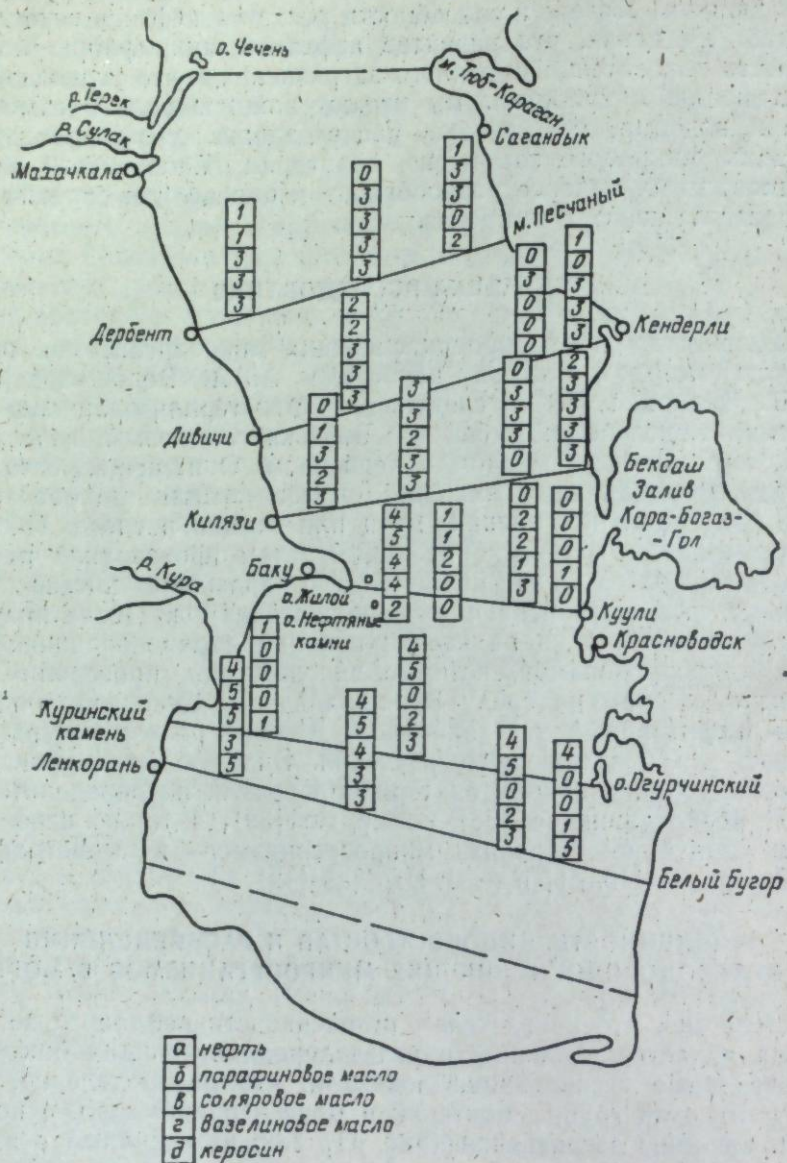


Рис. 1. Количественное распределение углеводородокисляющих микроорганизмов в поверхностной воде Каспийского моря.

а — нефть; б — парафиновое масло; в — соляровое масло; г — вазелиновое масло; д — керосин. Цифры — разведения, в которых наблюдался рост микроорганизмов.

продвижения на восток по разрезу, количество их снизилось на два-три порядка, а в некоторых пробах рост изучаемой группы родоокисляющих бактерий характерно для численности углеводорода Ленкорань — Белый Бугор, что обусловлено особенностями циркуляции вод в этой части моря и заносом органических веществ нефтяного характера. Количество углеводородокисляющих бактерий в Среднем Каспии на один-два порядка ниже, загрязнения в этой части моря, о более чистой воде. По определению титра углеводородокисляющих бактерий на различных нефтепродуктах в море можно судить о наличии нефти и организмами и самоочищающей способности различных частей моря.

В Каспийском море наряду с изучением распространения нефтеокисляющих микроорганизмов представляло большой интерес изучение их видового состава с тем, чтобы выявить активные штаммы. Всего из воды и грунтов на 64 станциях Северного, Среднего и Южного Каспия было выделено 846 штаммов углеводородокисляющих микроорганизмов, из которых 305 росло на минеральной среде с нефтью и нефтепродуктами. До вида было определено 277 штаммов, из которых неспорозных палочек насчитывалось 228, спорозных 3, кокков 46 культур. Культуры, изученные нами, были отнесены к 36 видам, 31 разновидности и к шести родам: *Pseudomonas*, *Pseudobacterium*, *Bacterium*, *Chromobacterium*, *Bacillus*, *Micrococcus*.

Исследования по распределению углеводородокисляющих бактерий в Каспийском море показали, что эта группа микроорганизмов широко распространена в водоеме (рис. 2, 3). В западной части Северного Каспия, где интенсивно развито судоходство и вследствие этого имеется влияние антропогенных факторов, углеводородокисляющие микроорганизмы, окисляющие сырую эмбенскую нефть, парафиновое, соляровое, вазелиновое масло и керосин, обнаружены на семи станциях из 17 (см. рис. 2). Реже встречаются углеводородокисляющие микроорганизмы, использующие только сырую нефть, однако соляровое масло и керосин, входящие в состав горючего для морского транспорта, утилизируются на большем количестве станций. В северной части моря углеводородокисляющие микроорганизмы были отнесены нами к 15 видам и семи разновидностям. Большая часть видов была изолирована из грунтов станций 323, 348, 402, 403, 423 и 460. К ним относятся *Pseudomonas radiobacter*, *Ps. desmolyticum*, *Ps. calcis*, *Ps. fluorescens*, *Bacterium aliphaticum*, *B. album*, *Chromobacterium naphthalani*. В грунте одной станции обнаруживалось до двух и более видов.

В средней части моря углеводородокисляющие микроорганизмы встречались на 33 станциях из 38, причем в пробах, ото-

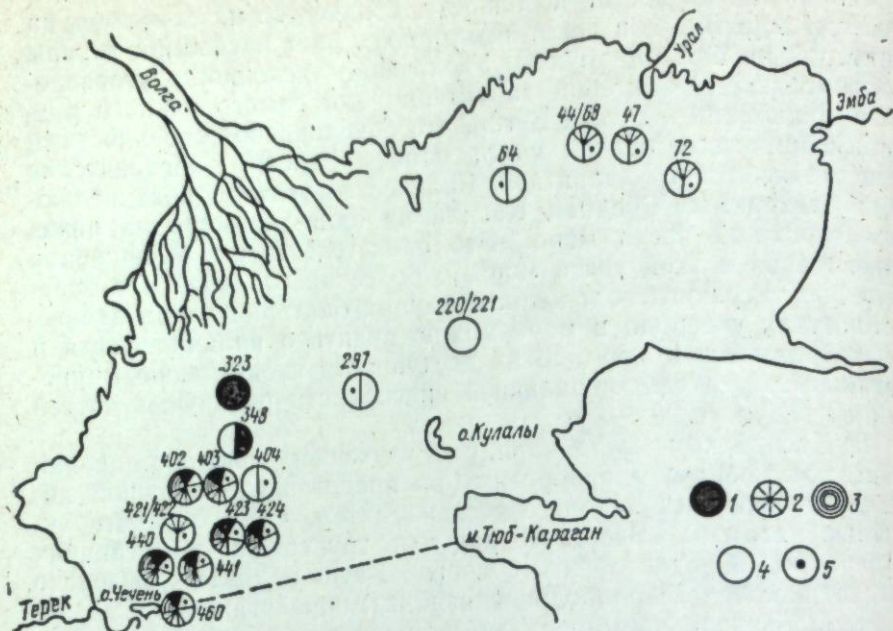


Рис. 2. Распределение микроорганизмов в воде и грунтах Северного Каспия, окисляющих нефть (1); парафиновое масло (2); вазелиновое масло (3); соляровое масло (4); керосин (5).

бренных на 18 станциях, росли на всех испытанных углеводородах (станции 481, 668, 643, 698, 694, 693 и др.). На станциях 463, 503, 451, 605/606, 849/850, 851 наблюдался рост на всех углеводородах, кроме парафинового масла. Только на четырех станциях отмечен рост углеводородокисляющих бактерий на трех и двух источниках углерода и лишь на одной станции — только на соляровом масле (см. рис. 3). Углеводородокисляющие микроорганизмы в Среднем Каспии отнесены к 31 виду и 26 разновидностям. Необходимо отметить, что в качественном отношении углеводородокисляющие бактерии в этой части моря более разнообразны по сравнению с Северным Каспием. Такие виды, как *Pseudomonas radiobacter*, *Ps. desmolyticum* с двумя разновидностями *Ps. sinuosa*, *Ps. calcis*, *Bacterium aliphaticum*, *Bact. album*, *Chromobacterium naphthalani*, *Micrococcus pseudo-sarcina*, *Micrococcus cinnabareus*, были многочисленны и с одинаковой частотой встречались как в водной толще от поверхности до глубины 600 м, так и в грунтах. Довольно широкое распространение в Среднем Каспии имели виды *Pseudomonas liquefaciens*, *Ps. calcis*, *Bacterium cycloclastes*, *Micrococcus aurantiacus*, подвид *Micr. rubescens*. Несколько реже встречались виды *Pseudobacterium rosea* — *album*, *Pseudomonas rubra*, *Bacterium album* подвид *guttatum*, *Chromobacterium flavum*,

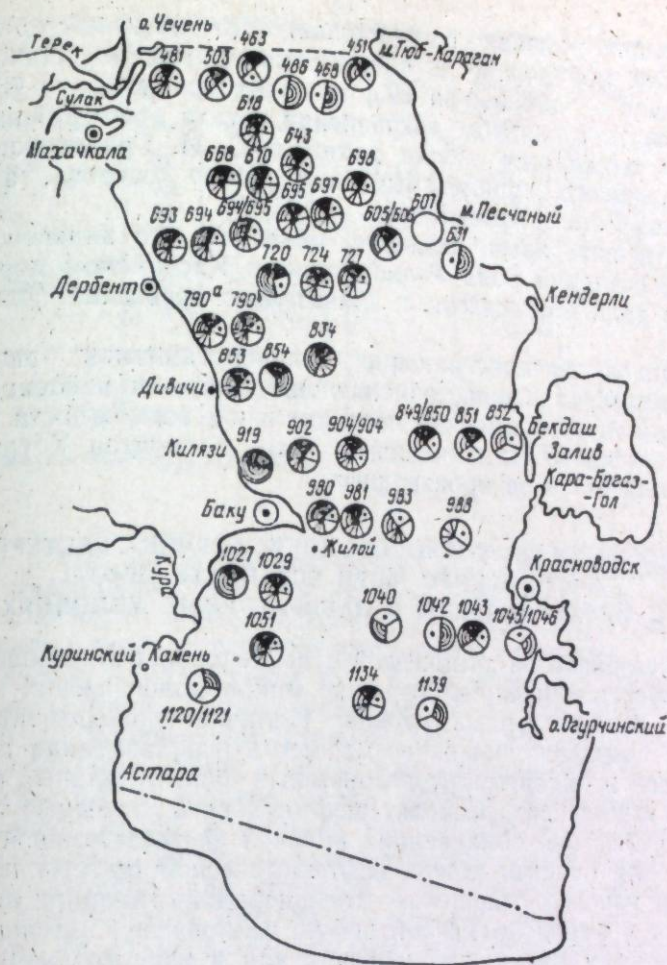


Рис. 3. Распределение углеводородокисляющих микроорганизмов в воде и грунтах Среднего и Южного Каспия. Усл. обозн. те же, что на рис. 2.

Chr. miniaceum. *Chr. miniaceum*, их находки относились лишь к грунтам средней части моря, тогда как многие виды кокков преимущественно были найдены в его водной толще.

Достаточно полно углеводородокисляющие бактерии представлены и в Южном Каспии. Они обнаружены в воде и грунте 14 станций из 16 исследуемых и отнесены к 15 видам и семи разновидностям. Следует отметить, что большая часть этих видов выделена из водной толщи: *Pseudomonas calcis*, *Ps. sinuosa*, *Bacterium aliphaticum* и его разновидность *Bact. liquefaciens*, *Bact. album*, *Chromobacterium naphthalani*, *Micrococcus aurantiacus*, *Mic. sarcinoideus*; реже они встречаются и в грун-

тах. Распространение видов *Pseudomonas radiobacter* и *Ps. des-tolyticum* приурочено к илам Южного Каспия. Нахождение этих видов в районе о-ва Нефтяные Камни (станция 981) свидетельствует о сильном загрязнении грунта этого района моря, что подтверждается также данными С. И. Грановского [43], обследовавшего прибрежные зоны этого острова, а также островов Жилого, Артема и др.

Полученные нами сведения показали, что видовое разнообразие бактерий рода *Pseudomonas* в Каспийском море больше, чем рода *Micrococcus*, и значительно превышает род *Bacterium*.

Широкое распространение микроорганизмов различных систематических групп, окисляющих нефть и нефтепродукты, свидетельствует о высокой потенциальной возможности процесса естественного самоочищения воды и грунтов Каспийского моря от нефти и ее производных.

СПОСОБНОСТЬ УГЛЕВОДОРОДОКИСЛЯЮЩИХ БАКТЕРИЙ КАСПИЙСКОГО МОРЯ УСВАИВАТЬ НЕФТЬ И НЕФТЕПРОДУКТЫ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Бурное развитие химической и нефтеперерабатывающей промышленности привело к созданию микробиологических методов очистки промышленных стоков. Наличие экспериментальных данных, подтверждающих возможность использования конкретных родов и видов микроорганизмов в виде отдельных культур либо их комплексов, позволит рекомендовать известные таксоны микроорганизмов, обладающих высокой ферментативной активностью, для очистки стоков нефтехимической промышленности.

Нами изучено отношение углеводородокисляющих микроорганизмов к сырой эмбенской нефти, соляровому, вазелиновому, парафиновому маслу и к керосину как к единственным источникам углерода и энергии. Результаты этих исследований приведены в таблице. Углеводородокисляющие микроорганизмы родов *Pseudomonas* (98 штаммов), *Bacterium* (98 штаммов), *Micrococcus* (44 штамма), *Chromobacterium* (30 штаммов), *Bacillus* (три штамма), *Sarcina*, *Pseudobacterium* (два штамма) были способны к окислению почти всех предложенных углеводородов. Однако эта способность была неодинаковой у представителей различных родов и видов. Бактерии рода *Pseudomonas* проявили наибольшую способность к росту на среде с вазелиновым маслом (26,5%) и сырой нефтью (21,4%). Одинаковое количество штаммов выросло на керосине и парафиновом масле (19%), тогда как на соляровом масле этот показатель был наименьшим (13%).

Примерно таким же числом штаммов представлен род *Bacterium*, в этом случае процент культур, растущих на нефти, был самым высоким для этого рода и достигал 35,7%; 20,4%

Количество углеводородокисляющих бактерий на различных углеводородах

Род	Всего	Нефть	Соляровое масло	Вазелиновое масло	Парафиновое масло	Керосин
<i>Pseudomonas</i>	98	21 (21,4)*	13 (13,3)	26 (26,5)	19 (19,4)	19 (19,4)
<i>Bacterium</i>	98	35 (35,7)	20 (20,4)	14 (14,3)	16 (16,4)	13 (13,2)
<i>Micrococcus</i>	44	16 (36,4)	8 (18,2)	10 (22,8)	5 (11,3)	5 (11,3)
<i>Chromobacterium</i>	30	7 (23,3)	6 (20,0)	9 (30,0)	5 (16,7)	3 (10,0)
<i>Bacillus</i>	3	—	—	1 (33,3)	2 (66,6)	—
<i>Pseudobacterium</i>	2	2 (100,0)	—	—	—	—
<i>Sarcina</i>	2	1 (50,0)	—	1 (50,0)	—	—
Итого	277	82 (29,6)	47 (16,9)	61 (22,0)	47 (17,0)	40 (14,5)

* В скобках — количество культур, %.

культур росли на соляровом масле, 16,4% — на парафиновом масле. Вазелиновое масло и керосин утилизировали примерно одинаковое число штаммов. Бактерии из рода *Micrococcus* также хорошо окисляли все предложенные углеводороды. На нефть процент культур составил 36,4; 22,8% культур утилизировало вазелиновое масло. Парафиновое масло и керосин окислялись одинаковым количеством штаммов (по 11,3%). Штаммы рода *Chromobacterium* лучше окисляли вазелиновое масло (30,0%), нефть (23,3%), соляровое масло (20,0%), несколько хуже — парафиновое масло и керосин (16,7 и 10,0% соответственно). Избирательность по отношению к углеводородам нефти и самой нефти характерна для штаммов родов *Bacillus*, *Pseudobacterium* и *Sarcina*. Род *Bacillus* не окислял нефть и соляровое масло, а род *Pseudobacterium* был активен только по отношению к нефти. Нефть и вазелиновое масло были доступны видам рода *Sarcina*.

Кроме того, установлено, что способностью утилизировать нефть и ее производные обладают не только углеводородокисляющие микроорганизмы, но также и гетеротрофные бактерии, растущие на МПА, мицеллярные микроскопические грибы и дрожжи. Грибы и углеводородокисляющие бактерии имеют более высокую активность, чем дрожжи и гетеротрофные бактерии.

Выводы

1. Анализ количественного распределения углеводородокисляющих микроорганизмов Каспийского моря позволил выявить районы с повышенным содержанием органических веществ антропогенного характера.

2. В Каспийском море описано 36 видов и 31 разновидность углеводородокисляющих бактерий; среди них доминировали виды: *Bacterium aliphaticum*, *Chromobacterium naphthalani*, *Pseudomonas liquida*, *Ps. radiobacter*, *Ps. desmolyticum*, реже встречались *Pseudobacterium furcosum*, *Pseudomonas rubra*, *Chromobacterium rubidum*, *Chr. flavum*, *Micrococcus flavus*, *M. aureus*, *Sarcina albida*.

Количество видов углеводородокисляющих микроорганизмов донных отложений Каспийского моря имеет сходство с видами грунтов Черного моря; однако водная толща Каспия уступает видовому разнообразию таких микроорганизмов Черного, Средиземного, Красного морей, а также Индийского и Атлантического океанов.

3. Нефть, соляровое, парафиновое, вазелиновое масла и керосин являются пригодными источниками углерода для микроорганизмов Каспийского моря. Среди гетеротрофных, растущих на МПА, углеводородокисляющих бактерий, микроскопических мицелиальных грибов и дрожжей выделен ряд штаммов, активно окисляющих нефть и нефтепродукты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Т. Л. Гнзбург-Карагичева. Азербайджанское нефтяное хозяйство, 1926, 6, 30.
2. L. Bushnell, H. Naas. J. Bact., 1941, 41, 653.
3. С. И. Кузнецов. Микробиология, 1957, 26, 6, 651.
4. Л. К. Осницкая. Микробиология, 1942, 11, 81.
5. Л. К. Осницкая. Микробиология, 1958, 27, 478.
6. Е. П. Розанова. Успехи микробиологии, 1967, 4, 61.
7. Е. П. Розанова, С. И. Кузнецов. Микрофлора нефтяных месторождений. М., «Наука», 1974.
8. С. И. Кузнецов. Микробиология, 1947, 16, 5, 429.
9. А. А. Ворошилова, Е. В. Дианова. Микробиология, 1952, 21, 4, 408.
10. М. В. Мосевич. Труды проблемного и тематического совещания Зоол. ин-та АН СССР, вып. 7. Куйбышев, 1957, с. 53.
11. И. Н. Дзюбан. Бюлл. Ин-та биологии водохранилищ АН СССР, 1958, 1, 45.
12. И. Н. Дзюбан. Там же, 1959, 5, 102.
13. И. Н. Полякова. Микробиология, 1962, 31, 6, 1076.
14. Г. А. Марголина. Труды Ин-та биологии внутренних вод АН СССР, 1967, 15(18), 39.
15. Г. А. Марголина. Флора, фауна и микроорганизмы Волги. М., 1974 (Ин-т биологии внутренних вод АН СССР), с. 28.
16. Н. А. Гавришева. Гидробиол. ж., 1969, 5, 3, 40.
17. Г. Н. Соловух. Биологические процессы круговорота органического вещества в реке Урал. Автореф. канд. дисс. Алма-Ата, 1974.
18. Т. В. Коронелли, В. Е. Голимбет. Микробиологические методы борьбы с загрязнением окружающей среды. Пушино, 1975, с. 106.
19. С. Е. Zo Bell, D. Q. Anderson. Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 1936, 20, 258.
20. С. Е. Zo Bell, G. W. Grant, H. F. Naas. Which oxidize petroleum hydrocarbons. Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 1943, 27, 1, 1175.
21. С. Е. Zo Bell. Advances Enzymology, 1950, 10, 444.

22. С. Е. Zo Bell, L. F. Procop. Allg. Microbiologia, 1966, 6, 143.
23. I. Le Petit, M. H. Barthelemy. Ann. J. Inst. Pasteur., 1968, 2, 114.
24. R. I. Midet, C. H. Oppenheimer, H. J. Kator, P. L. La Rock. Microbial degradation of normal paraffin hydrocarbons in crude oil. 2 Proc. Joint. Conf. Prevention Control Spills, Amer. Petrol. Inst., 1968.
25. G. J. Mulkins-Phillips, J. E. Stewart. Can. J. Microbiol., 1974, 20, 7, 955.
26. О. Г. Миронов. Микробиология, 1969, 38, 4, 7.
27. О. Г. Миронов, М. И. Кучеренко. Вопросы морской болезни. Тезисы докладов II Всесоюзного симпозиума молодых ученых. Киев, 1969, с. 73.
28. О. Г. Миронов. Нефтеокисляющие микроорганизмы в море. Киев, «Наукова Думка», 1971.
29. О. Г. Миронов, Л. Н. Кирюхина, М. И. Кучеренко, Э. П. Тархова. Самоочищение в прибрежной акватории Черного моря. Киев, «Наукова Думка», 1975.
30. Н. А. Красильников, А. В. Цыбань, Т. В. Коронелли. Океанология, 1973, 13, 5, 877.
31. R. M. Atlas, E. A. Schofield. Petroleum biodegradation in the Arctic. In: Impact of the use of microorganism on the use of aquatic environment. Washington, 1975.
32. А. В. Цыбань. Морской бактериоценоз. Автореф. докт. дисс. М., 1976.
33. M. Kopovaltschikoff-Mazoyer, I. C. Senez. Extract Ann. Inst. Pasteur, 1956, 91, 36.
34. С. Ю. Сенцова, Т. В. Коронелли, М. В. Гусев. Тезисы докладов V съезда Всесоюз. микробиол. об-ва. Ереван, 1975, с. 50.
35. М. В. Гусев, С. Ю. Сенцова, Т. В. Коронелли, В. В. Ильинский, В. Д. Федоров. Биологические науки. М., 1977, № 8, с. 110.
36. М. А. Салманов, С. Н. Алиев, З. Н. Шахматова. Микробиологические методы борьбы с загрязнением окружающей среды. Тезисы докладов конференции. Пушино, 1975, с. 105.
37. С. О. Апине, С. Я. Марцинкевич. III съезд Всесоюзного гидробиологического общества. Тезисы докладов, т. I. Рига, «Зинатне», 1976, с. 135.
38. Н. А. Красильников. Определитель бактерий и актиноциетов. М., Изд-во АН СССР, 1949.
39. D. H. Bergey. Manual Determinative Bacteriology, VIII edition. Baltimore, USA, The Williams and Wilkins company, 1974.
40. А. Е. Крисс. Морская микробиология (глубоководная). М., Изд-во АН СССР, 1959.
41. А. Е. Крисс, И. Е. Мишустина, И. Н. Мицкевич, Э. В. Земцова. Микробное население Мирового океана (видовой состав, географическое распространение). М., Изд-во АН СССР, 1964.
42. А. В. Цыбань. Бактериоценоз и бактериопланктон шельфовой части Черного моря. Киев, «Наукова Думка», 1970.
43. С. И. Грановский. Программа и материалы научной конференции выпускников биологического факультета, посвященной 50-летию Азербайджанского Гос. ун-та. Баку, 1969, с. 68.

Г. В. ПОСТОНОГОВА

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
НЕФТЕОКИСЛЯЮЩИХ МИКРООРГАНИЗМОВ ПОЧВ
И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОЕМОВ
НА УЧАСТКАХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ
В РАЙОНЕ ФЕДОРОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В проблеме охраны окружающей среды одно из ведущих мест занимает борьба с нефтяными загрязнениями. Ведущую роль в природных процессах окисления нефти играют микроорганизмы [1—4]. Естественная деградация нефти — медленно

Родовой состав нефтеокисляющих микроорганизмов

№ пробы	Колич. штаммов нефтеокисляющих				
	<i>Mycobacterium</i>	<i>Pseudomonas</i>	<i>Arthrobacter</i>	<i>Bacillus</i>	<i>Micrococcus</i>
Водная проба у факела					
1	1	1		1	
2		3			
3		2			
4				2	
5			1		
Почва у факела					
6			1	1	
7		1	1		
Почва у факела					
8			1		
9				1	
10				4	1
Всего . . .	1 (2,7)*	7 (18,9)	4 (10,9)	9 (24,3)	1 (2,7)

* В скобках — количество культур, %.

протекающий процесс, поэтому важно изучение активных форм микроорганизмов, которые можно было бы использовать для интенсивного уничтожения нефтяных загрязнений [5]. С этой целью нами исследованы пробы воды и почв с участков нефтяных загрязнений в районе Федоровского месторождения, расположенного в центральной части Западно-Сибирской низменности.

Нефтеоокисляющие микроорганизмы выделялись методом накопительной культуры. Для культивирования использовалась синтетическая среда состава, г/л: KNO_3 4; KH_2PO_4 0,6; $NaHPO_4 \cdot 12H_2O$ 1,4; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0,8, в которой в качестве источника углерода применялась нефть в количестве 1% на 1 л среды. Культуры инкубировались при 30° в течение 3 недель в стационарных условиях. Рост чистых культур проверялся на индивидуальных углеводородах: *n*-пентане, *n*-гексане, *n*-гептане, *n*-октане, *n*-гексадекане, циклогексане, бензоле, толуоле и ксилоле.

Данные, полученные в ходе предварительных исследований по выделению нефтеусваивающих микроорганизмов, представлены в табл. 1. Всего выделено 37 штаммов нефтеокисляющих микроорганизмов. Большинство культур относится к роду *Bacillus* (24,3%). Многочисленная группа представлена формами рода *Pseudomonas* (18,9).

Таблица 1. Кроме них, выделено четыре представителя рода *Arthrobacter*, два — *Neisseria* и по одному представителю от родов *Mycobacterium*, *Micrococcus*, *Actinomyces*, окисляющих сырую нефть. Как известно, появление спороспособных форм указывает на преобладание в среде трудноокисляемых органических соединений. Изучение распространения нефтеусваивающих микроорганизмов в водных пробах и грунтах показало, что в последних микроорганизмов больше, чем в воде (62,1% от общего числа выделенных микроорганизмов).

микроорганизмов			Общее колич. культур
<i>Neisseria</i>	<i>Actinomyces</i>	Неидентифицированные формы	
месторождения			
			2
1		1	4
		1	4
			2
			2
месторождения			
		4	6
		5	7
Товарного Парка			
1		1	2
	1		2
			6
2 (5,4)	1 (2,7)	12 (32,4)	37 (100)

Изучение роста микроорганизмов на чистых углеводородах показало, что все отобранные культуры потребляют парафины с пря-

Таблица 2

Рост нефтеокисляющих микроорганизмов на различных углеводородах

Штамм	Парафины с прямой цепью					Нафтен (циклогексан)	Ароматические углеводороды		
	Пентан	Гексан	Гептан	Октан	Гексадекан		Бензол	Толуол	Ксилол
<i>Mycobacterium</i> sp. 1	—	+	+	+	+	+	—	—	—
<i>Pseudomonas</i> sp. 3	—	+	+	+	+	+	—	—	—
То же 5	—	—	+	—	+	+	—	—	—
» 7	—	—	—	—	+	+	—	—	—
» 9	+	—	—	+	—	+	—	—	—
» П-1	+	+	+	+	+	+	—	—	—
» 11	—	—	—	—	+	+	—	—	—
» 37	—	+	+	—	—	+	—	—	—
<i>Arthrobacter</i> 8	+	+	+	+	+	+	+	—	+
То же 24	+	+	+	+	+	+	—	—	—
» 25	+	+	+	+	+	+	+	—	+
» 34	+	+	+	+	+	+	—	—	—
<i>Neisseria</i> 12	+	+	+	+	+	+	—	—	—
То же 36	+	—	+	+	+	+	+	+	+
<i>Micrococcus</i> 42	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Actinomyces</i> 38	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Bacillus</i> 6	+	+	+	+	+	+	+	+	+
То же 16	—	—	—	—	+	+	+	+	+
» 18	—	+	+	+	+	+	+	+	+
» 28	—	+	+	+	+	+	—	—	—
» 36	—	—	—	—	+	—	—	—	—
<i>Bacillus</i> 39	+	+	+	+	+	+	+	+	+
То же 40	+	+	+	+	+	+	+	+	+
» 41	+	+	+	+	+	+	—	+	—
» 43	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Неидентифицированы 11	—	+	+	+	+	—	—	—	—
То же 28-1	—	+	+	—	—	+	—	—	—
» 25	+	—	—	+	+	+	—	—	—
» 25-1	—	—	—	—	+	+	—	—	—
» 27	—	—	+	—	+	—	—	—	—
» 29	+	+	—	—	—	—	—	—	—
» 29-1	—	—	—	—	+	+	—	—	—
» 30	+	+	+	+	+	—	—	—	—
» 31-1	—	—	—	—	+	—	—	—	—
» 32	+	—	—	+	+	—	—	—	—
» 35	—	—	—	+	—	+	—	—	—
» 26-2	+	+	+	+	+	+	—	—	—
Всего...	20	23	25	25	30	24	10	9	10

Примечание. (+) — наличие роста; (—) — отсутствие.

мой цепью, за исключением *Bacillus* sp. 16, усваивающего только ароматические углеводороды (табл. 2). Нафтеносые углеводороды (циклогексан) потребляют всего 24 штамма. Что касается ароматических углеводородов, то они более устойчивы к микробиологическому воздействию, чем алканы и нафтены, и окисляются значительно медленнее. Только 10 культур, относящихся к девяти культурам — толуол. *Micrococcus* sp. 42, *Actinomyces* sp. 38 и пять штаммов рода *Bacillus* оказались способными усваивать все использованные углеводороды. Микроорганизмы проявляют избирательность при окислении углеводородов в зависимости от их химической структуры. Так, *Pseudomonas* sp. 11-1 потребляет только парафины с прямой цепью, начиная с пентана, в то время как *Pseudomonas* sp. 7-1 — только гексадекан и циклогексан.

Проведенные исследования дали возможность отобрать штаммы нефтеокисляющих микроорганизмов для дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Ворошилова, Е. В. Дианова. Микробиология, 1950, 19, 3, 203.
2. Т. В. Коронелли. Прикладная биохимия и микробиология, 1974, 10, 4, 573.
3. Т. В. Коронелли, В. Е. Голимбет. Микробиологические методы борьбы с загрязнением окружающей среды. Пушкино, 1975, с. 106.
4. Т. В. Коронелли, В. Е. Голимбет. Научн. докл. высшей школы. Биологические науки, 1976, 1, 105.
5. R. M. Atlas. CRC Critical Reviews in Microbiology, 1977, 5, 4, 371.

В. М. КОЛОТОВ, А. Г. НИКОЛАЕВ, Р. А. ПШЕНИЧНОВ

ОЦЕНКА МУТАГЕННОГО ЭФФЕКТА
ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД СУРГУТСКОГО
НЕФТЕНОСНОГО РАЙОНА КОНТАКТНЫМ СПОСОБОМ
НА МИКРОБНЫХ ТЕСТ-СИСТЕМАХ

В настоящее время разработка способов и оценка дисгенетических влияний различных загрязнений окружающей среды на уровне клетки и целого органа особенно актуальны. Объектом таких исследований становятся как отдельные компоненты природных биогеоценозов, так и регионы, меняющиеся под влиянием антропогенных воздействий. К числу наиболее частых загрязнителей, обладающих мутагенным эффектом, относят нефть, продукты ее переработки и биодеградациии. Попадая в воздух, в воду, на почву, они существенно меняют их органолептические свойства, обуславливают наведенную токсичность для ряда компонентов биоценозов. В литературе отсутствуют сведения о возможном повышении мутагенных (дисгенетических) свойств почвенных вод и вод открытых водоемов, загрязненных нефтью и ее продуктами, что послужило основанием для проведения нами предварительных наблюдений.

Для первичной оценки мутагенной активности различных объектов внешней среды наибольший интерес представляют системы, связанные с использованием микроорганизмов. Удобным объектом для этой цели служат индикаторные штаммы *Salmonella typhimurium*, полученные Эймсом с соавторами¹. Эти штаммы содержат одну из четырех мутаций гистидинового оперона, у них отсутствует система эксцизионной репарации и повышена проницаемость клеточной стенки. Проверка активности ряда мутагенов и канцерогенов на тестерных штаммах *Salmonella* выявила их повышенную чувствительность к этим агентам по сравнению с другими бактериальными системами.

Настоящая работа посвящена изучению возможного мута-

¹ В. N. Ames, J. Mc Cann, E. Yamasaki. «Mutation Research», 1975, 31, 347.

генного действия воды открытых водосточников газонефте-промыслового района при ее прямом действии на бактериальную культуру.

МАТЕРИАЛЫ

Бактериальные штаммы

В работе использованы индикаторные штаммы *Salmonella*, полученные из коллекции Эймса с соавторами, ТА 1535 rfa, Δ uv B his G 46; ТА 1537 rfa, Δ uv B, his C 3076 и ТА 1538 rfa, Δ uv B his D 3052. Штамм ТА 1535 способен регистрировать мутации типа замены пар оснований, штаммы ТА 1537 и ТА 1538 — сдвиг рамки считывания.

Пробы воды

Три пробы воды получены из разных открытых водосточников Сургутского нефтяного месторождения Тюменской области. Пробы различались по цвету и степени нефтяного загрязнения: проба № 1 — бесцветная с небольшим хлопчатом осадком коричневого цвета; проба № 2 — желтоватого цвета с осадком (коричневого цвета) в виде хлопьев и с мелкими частицами земли; проба № 3 — желтого цвета с мелкими и крупными частицами земли.

Среды

Солевой раствор (СР), г на 1 л H₂O (рН 7,0): цитрата 2, K₂HPO₄·3H₂O 42, KH₂PO₄ (безводного) 18, (NH₄)₂SO₄ 4. Для нижнего слоя плотных сред использовали 1,5%-ный мясо-пептонный агар (МПА) и 2%-ный голодный агар (1000 мл 2%-ного агара, 330 мл СР, 13 мл 1%-ного MgSO₄ и 16 мл 40%-ной глюкозы). Верхний слой агара: 250 мл СР, 550 мл H₂O, 6 г бакто-агара, 100 мл 0,5 μМ L солянокислого гистидина и 100 мл 0,5 μ M биотина.

МЕТОДИКА

Для анализа использовались безмикробные фильтраты проб воды. Последние дважды подвергались префильтрации: вначале для освобождения от крупных частиц — через ватно-марлевый фильтр, а затем — через стеклянные фильтры.

На заключительном этапе очистки проб воды обеспложивались пропусканием их через мембранно-коллоидные фильтры с величиной пор 0,25—0,5 μ.

Стерильность полученных фильтратов контролировалась за-севаем их на мясо-пептонный бульон (МПБ) с последующим термостатированием при 37°C в течение 24 ч.

Кратность превышения индуцированных ревертантов над спонтанными

№ пробы	Эксперимент				Пролонгированное действие	Эксперимент				Пролонгированное действие	
	I	II	III	Среднее		I	II	III	Среднее		
Штамм ТА 1535						Штамм ТА 1537 (ТА 1538)					
1	7,1	4,8	2,4	4,8	2,7	6,1	7,5	2,8	5,5	2,0	
2	4,9	3,1	1,8	3,3	1,5	1,4	2,8	1,4	1,9	1,3	
3	2,5	4,8	2,8	3,2	2,4	1,5	3,3	2,0	2,3	1,5	

Трех-, четырехчасовые культуры штаммов микроорганизмов, выращенные в МПБ до концентрации $2 \cdot 10^8$ клеток/мл, осаждались при 5000 об/мин в течение 10 мин и ресуспендировались физиологическим раствором до концентрации $2 \cdot 10^9$ клеток/мл.

Контактные смеси содержали 2 мл одного из микробных штаммов и 2 мл исследуемых фильтратов. Контрольные образцы готовились сведением 2 мл бактериальных культур с равными объемами физиологического раствора, приготовленного на бидистилляте водопроводной воды. Опытные и контрольные смеси инкубировались 30 мин при температуре 37°C, затем центрифугировались при 5000 об/мин в течение 10 мин, осадки ресуспендировались до первоначального объема микробных взвесей физиологическим раствором. Ресуспендированные взвеси опытных и контрольных проб, разведенные до 10^{-6} , высевались на МПА для определения числа выживших клеток и на голодный агар для подсчета колоний спонтанных и индуцированных ревертантов.

Для выяснения возможного пролонгированного мутагенного действия исследуемых проб воды в методику экспериментов были внесены следующие изменения. Для приготовления голодного агара использовались 10%-ный агар с последующим его разбавлением (после расплавления) до 2%-ного фильтра-тами исследуемых проб воды и соответствующего количества химических ингредIENTов.

Все чашки с МПА инкубировались 20—24 ч, а с голодным агаром — 48 ч при 37°C. Частота мутаций определялась как доля ревертантов от всех выживших клеток².

Результаты изучения мутагенного действия (как обычным контактным способом, так и пролонгированным вариантом) проб воды Сургутского нефтеносного района Тюменской области представлены в таблице. Эти данные выражены через кратность превышения количества индуцированных ревертантов над числом спонтанных мутантов.

² Л. М. Фонштейн, Л. М. Калинина, Г. Н. Полухина, С. К. Абилов, А. А. Шапиро. «Тест-система оценки мутагенной активности загрязнителей среды на *Salmonella* (Методическое указание)». М., 1977, с. 52.

Выводы

1. Проведенные исследования показали возможность постановки экспериментов по индуцированному мутагенезу (контактным способом) для оценки открытых водоемов в полевых условиях с использованием передвижной автолаборатории.

2. Выявлена мутагенная активность исследованных проб воды из открытых водосточников Сургутского нефтяного месторождения, общий уровень дисгенетических влияний которых может быть оценен как слабый. По выраженности мутагенного эффекта анализируемые образцы воды представлены в убывающем порядке следующим образом: пробы № 1,3 и 2. Механизм мутационных изменений, вызываемый всеми образцами, очевидно, был представлен и заменой пар оснований и сдвигом рамки считывания.

3. Пролонгированное действие изученных проб воды не усиливало мутагенного эффекта исследованных образцов.

Н. И. ПОДЧАС, Г. В. ЯХЛАКОВА, В. М. КОЛОТОВ,
И. А. ЕГОРОВ, А. Г. НИКОЛАЕВА, Р. А. ПШЕНИЧНОВ

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОГО БАКТЕРИЦИДНОГО И МУТАГЕННОГО ДЕЙСТВИЯ БЕНЗПИРЕНА МЕТОДОМ ПРЯМОГО КОНТАКТА НА МИКРОБНЫХ ТЕСТ-СИСТЕМАХ

Научно-техническая революция преобразует среду обитания человека. Еще несколько десятилетий назад биосферу рассматривали как среду, способную неограниченно поглощать отходы промышленности, сельского хозяйства, гигантские разливы нефти. Существовало также представление, что действию загрязнений, связанных с производственной деятельностью, подвергается только население индустриальных стран. В настоящее время на земном шаре практически нет мест, где человек не соприкасался бы с искусственно созданными источниками радиации и химическими соединениями [1, 2].

Среди разнообразных химических веществ выявлено много соединений, обладающих мутагенной активностью. В этом отношении представляет интерес бензпирен ($C_{20}H_{12}$), который часто присутствует в продуктах каменноугольного производства и является сильным канцерогеном. Это вещество выделено из каменноугольной смолы и присутствует в некоторых видах нефти.

Учитывая возможность прямого воздействия веществ на живую клетку, задачей настоящей работы мы выдвинули изучение бактерицидного и мутагенного действия бензпирена на индикаторные штаммы *Salmonella typhimurium*.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Возможное бактерицидное и мутагенное действие бензпирена проверялось на модели индикаторных бактериальных штаммов.

Наличие мутагенного эффекта регистрировалось путем учета обратных мутаций от аукотрофности по гистидину к прототрофизму. Штамм TA 1535 позволял обнаружить мутагенную ак-

тивность химических соединений, действующих по типу замены пар оснований. Штамм TA 1538 ревертирует к прототрофности путем сдвига рамки считывания. Работа проводилась согласно методическому указанию, разработанному Институтом общей генетики АН СССР и НИИ по биологическим испытаниям химических соединений Министерства медицинской промышленности СССР [3].

Испытывались рабочие растворы бензпирена в концентрациях 100 мкг/мл и 1000 мкг/мл. В отличие от методического указания приготовленные растворы бензпирена и суспензия индикаторных штаммов соединялись в пробирках в соотношении 1:1, помещались в термостат при 37° на 30 мин, после чего центрифугировались при 5000 об/мин в течение 25 мин. Осадок ресуспендировался в 0,85% NaCl и использовался в работе.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты испытаний бактерицидной активности бензпирена, проведенных контактным способом в концентрациях 50 и 500 мкг/мл на штаммах *Salmonella typhimurium* TA 1535 и TA 1538, приведены в таблице.

Как видно из таблицы, при прямом контактом действии бензпирена на штаммы *Salmonella typhimurium* выживаемость клеток в опыте по сравнению с контролем снизилась до 43—51%.

Результаты оценок мутагенного действия бензпирена на индикаторные штаммы (на примере трехкратных опытов) следующие:

Концентрация вещества, мкг/мл	Частота спонтанных мутаций	Частота ревертантов	Кратность превышения результатов опытов над контролем
Штамм 1535			
50	$5 \cdot 10^{-8}$	$4,2 \cdot 10^{-8}$	0,82
	$5,5 \cdot 10^{-8}$	$1,28 \cdot 10^{-8}$	0,23
	$7,8 \cdot 10^{-7}$	$6,7 \cdot 10^{-7}$	0,85
500	$5 \cdot 10^{-8}$	$1,32 \cdot 10^{-8}$	0,26
	$5,5 \cdot 10^{-8}$	$1,75 \cdot 10^{-8}$	0,31
	$17 \cdot 10^{-8}$	$2,5 \cdot 10^{-8}$	0,15

Процент выживаемости клеток в опытах

Опыты	Действующая концентрация бензпирена, мкг/мл			
	50	500	50	500
Штамм 1535				
1	20	57	70	55
2	55	17	21	44
3	68	61	65	11
4	65	24	32	98
5	50	20	56	49
6	40	61	18	45
7	33	76	41	31
8	78	44	43	85
Штамм 1538				
Среднее	51	45	43	51

Концентрация вещества, мк.г/мл	Частота спон- танных мутаций	Частота ревертантов	Кратность превы- шения результатов опытов над контролем
Штамм 1538			
50	$7,8 \cdot 10^{-8}$	$1,7 \cdot 10^{-8}$	0,23
	$4,3 \cdot 10^{-8}$	$3,3 \cdot 10^{-8}$	0,76
	$6,4 \cdot 10^{-8}$	$1,78 \cdot 10^{-8}$	0,27
500	$7,5 \cdot 10^{-8}$	$0,8 \cdot 10^{-8}$	0,10
	$4,3 \cdot 10^{-8}$	$1,8 \cdot 10^{-8}$	0,42
	$6,4 \cdot 10^{-8}$	$0,84 \cdot 10^{-8}$	0,13

Как видно из представленных данных, мутагенная активность бензпирена при прямом контактном действии на бактерии в указанных концентрациях не обнаружена, так как кратность превышения частоты ревертантов в опытах по сравнению с контролем была менее единицы, что характерно для веществ, не обладающих мутагенной активностью.

Выводы

1. При прямом контакте бензпирена со штаммами *Salmonella typhimurium* выявлено бактерицидное действие в концентрациях 50 и 500 мк.г/мл.

2. В исследуемых концентрациях бензпирен при прямом контакте с бактериальной клеткой, на примере примененных штаммов, не обладает мутагенной активностью.

3. Сделанные выводы не могут быть распространены на более сложные организмы. Необходимы опыты с использованием иных тест-систем или вариантов с предварительной метаболической активацией исследуемого вещества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дубинин Н. П. Мутагены среды и наследственность человека. Генетические последствия загрязнения окружающей среды. М., «Наука», 1977.
2. Дубинин Н. П., Пашин Ю. В. Мутагены окружающей среды. М., «Знание», 1977, № 5.
3. Фонштейн Л. М., Калинина Л. М., Полухина Г. Н., Абелев С. К., Шапиро А. А. Тест-штамм оценки мутагенной активности загрязнителей среды на *Salmonella*. (Методическое указание). Генетические аспекты проблемы «Человек и биосфера». М., 1977.

ОПЫТ ПРОТОЧНОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ СУЛЬФАТВОССТАНАВЛИВАЮЩИХ БАКТЕРИЙ

В. К. КОРОЛЕВ, А. Н. ХОРОШАВИН, А. В. СИРОТЕНКО,
И. В. КАТАЕВА

Изучение сульфатвосстанавливающих бактерий представляет значительный интерес для решения практических задач нефтепромышленной микробиологии¹. Для повышения эффективности научно-экспериментальных исследований с целью изучения физиолого-морфологических, экологических особенностей и экстремальных условий существования этой специфической группы микроорганизмов при заданных параметрах нами был поставлен опыт их культивирования на протоке на специально сконструированном аппарате. За последние годы метод непрерывно проточного культивирования микроорганизмов, имеющий ряд преимуществ по сравнению со статическим методом, получил всеобщее признание.

Созданная авторами установка удовлетворяет специфическим требованиям культивирования сульфатвосстанавливающих бактерий: объем культурной среды 0,15 л, температура термостатирования 4—40°C, рабочее давление 0,1—0,7 кгс/см², пределы регулирования рН 2—7, технологический газ СО₂.

Основной частью аппарата (см. рисунок) является дисперсно-аэрационный ферментер (камеры К1, К2; обратные клапаны ОК1, ОК-2; таймеры ТМ1, ТМ2, компрессорная установка автономного типа) с высокими массообменными характеристиками, обеспечивающий выращивание клеток в сравнительно «мягких» гидромеханических условиях, так как он не имеет перемешивающих устройств и перекачивающих насосов, которые травмируют клетки.

Дисперсно-аэрационный ферментер действует следующим образом. Сжатый газ из бактериального фильтра поступает на вход электромагнитного зажима, который работает от таймера ТМ1 так: открывает вход левой камеры А и выход правой Г, причем выход Б и вход В соответственно закрыты. Культурная

¹ Е. П. Розанова, С. И. Кузнецов. «Микрофлора нефтяных месторождений». М., «Наука», 1974.

с одновременным отбором урожая в сосуд СУ через открытый зажим В2 перистальтическим насосом ПН1. Приводы перистальтических насосов подключены к таймеру ТМ2, работающему по заданной программе или от датчика оптической плотности. Оба насоса могут работать и в непрерывном режиме. В этом случае таймеры отключаются.

Малые размеры аппарата позволяют вести стерилизацию в автоклаве АГ-100 всех его блоков одновременно без разгерметизации жидкостно-газовых магистралей и емкостей. Перед стерилизацией силиконовые трубопроводы вынимаются из гнезд электромагнитного зажима ЭМЗ и из приводов перистальтических насосов ПН1 и ПН2. Питательная среда в сосуде СПС, а также сосуды СА и СУ стерилизуются совместно с блоками аппарата. После стерилизации аппарат сразу монтируется в камере холодильника ХЛ, термостатирующего аппарат.

Культивирование сульфатвосстанавливающих бактерий производилось так. Сосуд СПС объемом 6 л заполнялся питательной средой Таусона (элективная питательная среда для сульфатвосстанавливающих бактерий), инокулированной 300 мл накопительной культуры сульфатвосстанавливающих бактерий с плотностью 10^9 бактериальных клеток в 1 мл.

В течение первых двух суток в статических условиях шло накопление биомассы. В последующие сутки установка круглосуточно работала в проточных условиях со скоростью протока 200 мл/ч и заданной плотностью культуры. Ферментация проводилась при 18°C .

Наблюдения за развитием сульфатвосстанавливающих бактерий велись визуально (по появлению черного осадка FeS) и по приросту биомассы. Количественная оценка развития бактерий давалась на основании результатов микроскопирования препаратов и подсчета бактерий (метод прямого счета).

Прирост биомассы определялся каждые сутки. Результаты микробиологического анализа следующие:

	Колич. бак- териальных клеток в 1 мл
Начало опыта	10^7
Статистические условия	10^8
Проточные условия	
через 1 сутки	10^9
через 2 суток	10^9
через 3 суток	10^9

Установлено, что плотность бактериальной суспензии в начале работы аппарата составляла 10^7 в 1 мл. В течение первых суток плотность бактериальной культуры возросла до 10^8 в 1 мл. При переходе к проточному культивированию, в условиях которого установка постоянно пополнялась питательной средой,

плотность культуры составляла 10^9 бактериальных клеток в 1 мл. В последующие сутки плотность бактериальной культуры сохранялась на этом уровне.

Первые испытания установки показали, что использование проточного культивирования сульфатвосстанавливающих бактерий позволяет значительно повысить выход биомассы и тем самым интенсифицировать научные исследования в этой области.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
А. А. Оборин, В. К. Королев, М. В. Бердичевская, Г. В. Постоногова. Современные задачи нефтяной микробиологии	3
Е. П. Розанова. Интенсивность сульфатредукции в заводяемых карбонатных нефтяных коллекторах	12
Г. А. Могилевский, Е. В. Стадник, А. А. Оборин, В. М. Богданова, З. П. Телегина, М. С. Тон. Газобактериальная съемка по снежному покрову — новый вид поисковых работ на нефть и газ	21
А. А. Оборин, И. Б. Ившина, М. В. Бердичевская. О природных экологических факторах, влияющих на жизнедеятельность углеводородокисляющей микрофлоры	30
Г. К. Михайлов, А. Л. Балдина, Т. А. Косогорова. К экологии углеводородокисляющей микрофлоры подземных вод Колво-Вишерского края	39
Т. В. Крашенинникова. Влияние растворенной углекислоты на распространение углеводородокисляющих бактерий	48
И. Б. Ившина, Г. И. Владимирцев. Сравнительная характеристика углеводородокисляющей микрофлоры грунтовых вод Пермского Предуралья и Ставрополя	51
М. А. Шишкин, Б. А. Бачурин, Ю. В. Терновой, В. А. Гусев, В. И. Белый. О результатах грунтовой газобиохимической съемки в Арзгиро-Мирненской зоне Ставропольского края	53
Б. А. Бачурин, М. А. Шишкин, В. И. Белый. Информативность газобиохимических и газогидрохимических показателей при оценке нефтегазоносности локальных структур в пределах Верхнекамской впадины	64
Е. В. Стадник, Г. А. Могилевский, Т. Н. Бабничева, Г. А. Юрин. Геомикробиологические и газогидрохимические поиски нефти и газа на территории Тунгусского бассейна	76
А. И. Трипонис. Количественная характеристика важнейших газобиохимических аномалий Южной Прибалтики и их сопоставление с результатами нефтеразведочного бурения	84
Н. Н. Кеворков, И. Б. Ившина, В. Л. Поносков, Г. И. Спектор. Сравнительный серологический и иммунохимический анализ антигенов <i>Mycobacterium lacticolum</i> и <i>Bacillus circulans</i>	91
А. З. Гарейшина, В. И. Козюро, А. В. Бикмухаметова, Л. И. Яюс, Т. А. Кузнецова, Р. Г. Хамитова. К вопросу об использовании микробиоценозов для повышения нефтеотдачи пласта	95
Э. М. Юлбарисов, Л. М. Рубинштейн. Геолого-физические условия пласта как среды обитания бактерий при микробиологических методах повышения его нефтеотдачи	104
Г. А. Могилевский, В. М. Богданова, Л. М. Зорькин, Е. В. Стадник, З. П. Телегина, М. С. Тон. Роль углеводородокисляющих бактерий в снижении концентрации метана и тяжелых углеводородов в атмосфере и водоемах	109
М. И. Новожилова, Л. Е. Попова. Роль микроорганизмов Каспийского моря в разложении нефти и нефтепродуктов	121

Г. В. Постоногова. Краткая характеристика нефтеокисляющих микроорганизмов почв и поверхностных водоемов на участках загрязнений в районе Федоровского месторождения	134
В. М. Колотов, А. Г. Николаев, Р. А. Пшеничников. Оценка мутагенного эффекта вод поверхностных водоемов Сургутского нефтяного района контактным способом на микробных тест-системах	138
Н. И. Подчас, Г. В. Яхлакова, В. М. Колотов, И. А. Егоров, А. Г. Николаева, Р. А. Пшеничников. Изучение возможного бактерицидного и мутагенного действия бензпирена методом прямого контакта на микробных тест-системах	142
В. К. Королев, А. Н. Хорошавин, А. В. Сиротенко, И. В. Катаева. Опыт проточного культивирования сульфатвосстанавливающих бактерий	145

УДК 576.8.004.14:553.982

Современные задачи нефтяной микробиологии. Обороин А. А., Королев В. К., Бердичевская М. В., Постоногова Г. В. «Геомикробиология поиска и разработки нефтяных месторождений». Свердловск, 1979 (УНЦ АН СССР).

Основными проблемами нефтяной микробиологии в десятой пятилетке являются дальнейшее совершенствование технологических процессов микробиологического синтеза белково-витаминных концентратов на углеводородной основе, разработка микробиологического способа повышения коэффициента нефтеотдачи пласта и подавления бактериальной сульфатредукции при разработке газо-нефтяных месторождений, совершенствование и внедрение в практику нефтепоисковых работ газобактериальных методов, изучение роли бактериальных процессов в геохимии углеводородов биосферы в свете проблемы охраны окружающей среды.

Библиогр. 11 назв.

УДК 543.9.622.323

Интенсивность сульфатредукции в заводняемых карбонатных нефтяных коллекторах. Розанова Е. П. «Геомикробиология поиска и разработки нефтяных месторождений». Свердловск, 1979 (УНЦ АН СССР).

Полученные автором данные подтверждают гипотезу В. А. Кузнецовой и В. М. Горленко об образовании сероводорода в заводняемом пласте за счет использования сульфатредуцирующими бактериями окисленного органического вещества, формирующегося в процессе окисления углеводородов растворенным в нагнетаемых водах кислородом.

Скорость распространения сульфатредукции в изученных коллекторах регулируется быстротой возникновения и миграции этого окисленного органического вещества.

Таблиц 2. Библиогр. 20 назв.

УДК 550.84

Газобактериальная съемка по снежному покрову — новый вид поисковых работ на нефть и газ. Могилевский Г. А., Стадник Е. В., Оборин А. А., Богданова В. М., Телегина З. П., Тон М. С. «Геомикробиология поиска и разработки нефтяных месторождений». Свердловск, 1979 (УНЦ АН СССР).

Лабораторными экспериментами подтверждена возможность развития психрофильных форм углеводородокисляющих бактерий. Установлено, что среди них преобладают окисляющие жидкие гомологи метана — пентан и гексан.

Результаты применения газобактериальных исследований снежного покрова на участках нефтяных месторождений в различных районах Советского Союза и над подземными газохранилищами доказывают нефтепоисковую информативность этого нового геохимического метода поиска газонефтеносных залежей. Определены перспективы широкого применения газобактериальной съемки по снежному покрову для значительной территории Советского Союза с продолжительным зимним периодом.

Намечен ряд методических и теоретических вопросов, требующих дальнейшего изучения и постановки режимных наблюдений.

Таблиц 2. Илл. 3. Библиогр. 17 назв.

УДК 576.8.093

О природных экологических факторах, влияющих на жизнедеятельность углеводородокисляющей микрофлоры. Оборин А. А., Ившина И. Б., Бердичевская М. В. «Геомикробиология поиска и разработки нефтяных месторождений». Свердловск, 1979 (УНЦ АН СССР).

В подземных водах и породах нефтяных месторождений наиболее часто встречаются микроорганизмы из родов *Pseudomonas*, *Mycobacterium*, *Desulfotribrio*. Видовой состав и наличие определенных физиологических групп находится в прямой зависимости от экологических условий данного местобитания. Для углеводородокисляющей микрофлоры наиболее важными факторами, определяющими ее распространение и разнообразие, являются состав углеводородных газов, литологический состав пород, температура, pH среды, солевой состав вод и радиоактивность пород и вод.

Таблиц 4. Илл. 4. Библиогр. 15 назв.

УДК 576.8.093

К экологии углеводородокисляющей микрофлоры подземных вод Колво-Вишерского края. Михайлов Г. К., Балдина А. П., Косогорова Т. А. «Геомикробиология поиска и разработки нефтяных месторождений». Свердловск, 1979 (УНЦ АН СССР).

Комплексное биогеохимическое изучение подземных вод показало, что подток глубинных газов и водорастворенных органических веществ к земной поверхности — главный экологический фактор формирования выявленных микробиологических аномалий в изученном районе, которые авторами оцениваются как перспективные в нефтегазописковом отношении.

Таблиц 2. Илл. 1. Библиогр. 16 назв.

УДК 576.8.093

Влияние растворенной углекислоты на распространение углеводородокисляющих бактерий. Крашенинникова Т. В. «Геомикробиология поиска и разработки нефтяных месторождений». Свердловск, 1979 (УНЦ АН СССР).

Исследованиями установлено, что повышенные концентрации углекислоты в подземных водах тормозят развитие углеводородокисляющих бактерий.

Таблица 1. Библиогр. 10 назв.

УДК 576.8.093

Сравнительная характеристика углеводородокисляющей микрофлоры грунтовых вод Пермского Предуралья и Ставрополя. Ившина И. Б., Владимирцев Г. И. «Геомикробиология поиска и разработки нефтяных месторождений». Свердловск, 1979 (УНЦ АН СССР).

Приведены некоторые данные изучения закономерностей естественного распространения в грунтовых водах нефтегазо-

носных районов Ставрополя и Пермского Предуралья бактерий, ассимилирующих газообразные углеводороды в качестве единственного источника углерода.

Таблица 1. Библиогр. 4 назв.

УДК 550.846

О результатах грунтовой газобиохимической съемки в Арзгиро-Мириенской зоне Ставропольского края. Шишкин М. А., Бачурин Б. А., Терновой Ю. В., Гусев В. А., Белый В. А. «Геомикробиология поиска и разработки нефтяных месторождений». Свердловск, 1979 (УНЦ АН СССР).

При совместной интерпретации количественного содержания и качественного соотношения углеводородных газов и окисляющих их бактерий намечены перспективные участки, заслуживающие внимания при заложении поисково-разведочных скважин.

Таблиц 3. Илл. 4. Библиогр. 8 назв.

УДК 576.8.004.14:622.276.013.34

Информативность газобиохимических и газогидрохимических показателей при оценке нефтегазоносности локальных структур в пределах Верхнекамской впадины. Бачурин Б. А., Шишкин М. А., Белый В. И. «Геомикробиология поиска и разработки нефтяных месторождений». Свердловск, 1979 (УНЦ АН СССР).

Рассмотрены особенности распределения газобиохимических и газогидрохимических показателей для нефтяных месторождений и «пустых» структур. Оценена их информативность и предложено комплексное использование для повышения надежности поисково-разведочных работ на нефть и газ.

Таблица 1. Илл. 4. Библиогр. 9 назв.

УДК 550.84:550.87:550.98

Геомикробиологические и газогидрохимические поиски нефти и газа на территории Тунгусского бассейна. Стадник Е. В., Могилевский Г. А., Бабинцева Т. Н., Юрин Г. А. «Геомикробиология поиска и разработки нефтяных месторождений». Свердловск, 1979 (УНЦ АН СССР).

Обсуждаются результаты опытно-методических исследований по изучению поисковой информативности геомикробиологической и газогидрохимической съемки в пределах Восточно-Енисейской ступени на Верхне-Тохомской и Средне-Вельминской площадях и в центральных районах Тунгусской синеклизы.

Предлагается рациональный комплекс и последовательность геохимических работ на прогнозно-рекогносцировочной и поисково-оценочной стадии для труднодоступных районов Сибири.

Илл. 2. Библиогр. 8 назв.

УДК 550.84:550.87:550.98

Количественная характеристика важнейших газобиохимических аномалий Южной Прибалтики и их сопоставление с результатами нефтегазразведочного бурения. Трипонис А. И. «Геомикробиология поиска и разработки нефтяных месторождений». Свердловск, 1979 (УНЦ АН СССР).

Разведочное бурение в пределах ранее выделенных газобиохимических аномалий подтвердило эффективность сделанных прогнозов на 81%. Полученные результаты позволяют рекомендовать широкое применение газобиохимических методов для выявления нефтяных залежей неструктурного типа в рифовых отложениях верхнего силура прибортовой части Балтийской синеклизы.

Библиогр. 2 назв.

УДК 576.8.093

Сравнительный серологический и иммунохимический анализ антигенов *Mycobacterium lacticolum* и *Bacillus circulans*. Кеворков Н. Н., Ившина И. Б., Попосов В. Л., Спектор Г. И. «Геомикробиология поиска и разработки нефтяных месторождений». Свердловск, 1979 (УНЦ АН СССР).

В работе исследовалась иммуногенность убитых вакцин *Myc. lacticolum* ВКМ-854 и *Bacillus circulans* ВКМ-729 и выявлялась возможность наличия общих антигенных детерминант у бактериальных клеток указанных культур. Постановкой перекрестной реакции микробной агглютинации и реакции иммунодиффузии в агаре между антисыворотками и белковыми экстрактами бактериальных клеток показана значительная антигенная общность двух штаммов бактерий (ВКМ-853 и ВКМ-854) и полное отсутствие общих антигенных детерминант между исследуемыми штаммами микробактерий и микробными клетками *Bac. circulans* ВКМ-729.

Таблица 1. Илл. 1. Библиогр. 5 назв.

УДК 663.18

К вопросу об использовании микробиоценозов для повышения нефтеотдачи пласта. Гарейшина А. З., Козюро В. И., Бикмухаметова А. В., Яюс Л. И., Кузнецова Т. А., Хамитова Р. Г. «Геомикробиология поиска и разработки нефтяных месторождений». Свердловск, 1979 (УНЦ АН СССР).

Лабораторные испытания показали, что искусственный биоценоз из накопительных культур водородных, пропанокисляющих и газообразующих бактерий не стимулирует интенсивное газообразование на нефтях парафино-лафтенного типа и подавляется естественной микрофлорой, присутствующей в природной нефти.

Таблиц 3. Библиогр. 11 назв.

УДК 576.8.093

Геолого-физические условия пласта как среды обитания бактерий при микробиологических методах повышения его нефтеотдачи. Юлбарисов Э. М., Рубинштейн Л. М. «Геомикробиология поиска и разработки нефтяных месторождений». Свердловск, 1979 (УНЦ АН СССР).

Краткий обзор литературы о влиянии геолого-физических факторов на распространение микрофлоры в нефтяных месторождениях, которые необходимо учитывать при выборе объекта для микробиологической обработки залежи с целью повышения нефтеотдачи.

Библиогр. 28 назв.

УДК 576.8.093

Роль углеводородокисляющих бактерий в снижении концентрации метана и тяжелых углеводородов в атмосфере и водоемах. Могилевский Г. А., Богданова В. М., Зорькин Л. М., Стадник Е. В., Телегина З. П., Тон М. С. «Геомикробиология поиска и разработки нефтяных месторождений». Свердловск, 1979 (УНЦ АН СССР).

Микроорганизмы, окисляющие метан и тяжелые углеводороды, широко распространены в биосфере и активно развиваются в различных природных средах, где углеводороды образуются или поступают из газо-нефтяных или угольных залежей, а также из газопроводов, газохранилищ и негерметичных скважин в результате утечки. Эта группа микроорганизмов играет большую роль в снижении концентраций газообразных углеводородов, содержащихся и образующихся в гидро- и литосфере.

Таблиц 4. Илл. 5. Библиогр. 14 назв.

УДК 581.526.325+551.48(548.6)

Роль микроорганизмов Каспийского моря в разложении нефти и нефтепродуктов. Новожилов М. И., Попова Л. Е. «Геомикробиология поиска и разработки нефтяных месторождений». Свердловск, 1979 (УНЦ АН СССР).

Освещаются вопросы распространения углеводородокисляющих микроорганизмов в морях, озерах, водохранилищах и реках.

Изучена численность, видовой состав, распространение углеводородокисляющих микроорганизмов в водной толще и грунтах Каспийского моря. Кроме того, приводятся данные о способности этой группы микроорганизмов усваивать сырую нефть, вазелиновое, соляровое, парафиновое масла и керосин в лабораторных условиях.

Таблица 1. Илл. 3. Библиогр. 43 назв.

УДК 576.8+631.461

Краткая характеристика нефтеокисляющих микроорганизмов почв и поверхностных водоемов на участках загрязнений в районе Федоровского месторождения. Постоногова Г. В. «Геомикробиология поиска и разработки нефтяных месторождений». Свердловск, 1979 (УНЦ АН СССР).

Методом накопительной культуры выделено 37 штаммов нефтеокисляющих микроорганизмов и произведена их разовая идентификация.

Таблиц 2. Библиогр. 5 назв.

УДК 576.8+575.24

Оценка мутагенного эффекта поверхностных водоемов Сургутского нефтеносного района контактным способом на микробных тест-системах. Колотов В. М., Николаев А. Г., Пшеничников Р. А. «Геомикробиология поиска и разработки нефтяных месторождений». Свердловск, 1979 (УНЦ АН СССР).

На модели индикаторного штамма *Salmonella typhimurium* произведена оценка мутагенного эффекта проб, отобранных

из поверхностных водоемов с различной степенью нефтяного загрязнения.

Таблица 1. Библиогр. 2 назв.

УДК 576.8+575.24

Изучение возможного бактерицидного и мутагенного действия бензпирена методом прямого контакта на микробных тест-системах. Подчас Н. И., Яхлакова Г. В., Колотов В. М., Егоров И. А., Николаев А. Г., Пшеничников Р. А. «Геомикробиология поиска и разработки нефтяных месторождений». Свердловск, 1979 (УНЦ АН СССР).

На модели индикаторных штаммов *Salmonella typhimurium* показано бактерицидное действие бензпирена. Его мутагенного влияния на указанные штаммы методом прямого контакта не выявлено. Сделанные выводы не могут быть распространены на более сложные организмы. Необходимы опыты с использованием иных тест-систем или вариантов, предусматривающих предварительную метаболическую активацию исследуемого вещества.

Таблица 1. Библиогр. 3 назв.

УДК 576.8.093.33

Опыт проточного культивирования сульфатовосстанавливающих бактерий. Королев В. К., Хорошавин А. Н., Сиротенко А. В., Катаева И. В. «Геомикробиология поиска и разработки нефтяных месторождений». Свердловск, 1979 (УНЦ АН СССР).

Рассматривается конструкция аппарата и эксперимент по непрерывному культивированию сульфатовосстанавливающих бактерий.

Илл. 1. Библиогр. 2 назв.

ИМЕЕТСЯ В ПРОДАЖЕ

сборник научных статей
сотрудников Института
экологии растений и животных
УНЦ АН СССР

Популяционная экология и изменчивость животных. 10 п. л.
Цена 1 р.

Обсуждаются проблемы популяционной изменчивости животных как в пространственном, так и во временном аспектах, освещаются новые данные по экологии ряда видов. Основное внимание уделено изучению изменчивости морфологических, морфофизиологических, кариологических и экологических признаков животных, особенностям приспособления мелких млекопитающих к горным условиям, структуре и динамике популяций в различных регионах и некоторым подходам к изучению изменчивости.

Сборник представляет интерес для зоологов широкого профиля, экологов и студентов биологических факультетов.

Заявки направлять по адресу:

г. Свердловск, ГСП-169,
ул. Первомайская, 91.
РИСО УНЦ АН СССР.

ВЫХОДИТ В СВЕТ

сборник научных статей
сотрудников Института
экологии растений и животных
УНЦ АН СССР

Применение количественных методов в экологии. 10 п. л.
Цена 1 руб.

Обсуждены вопросы выбора признаков, сбора и анализа материала в экологической работе. На конкретном материале показано применение оригинальных или новых для экологии методов: последовательного анализа и вычисления Махаланобиса для черепных признаков песцов из разных фаз численности, определения характера связи между варьирующими признаками, определения объема мозга млекопитающих и связи его с весом тела, простых методов изучения поведения грызунов, определения погрызов листьев и вычисления индексов биоценологического сходства.

При обсуждении ряда методических вопросов, таких, как выбор показателя для оценки метаболизма животных, использование так называемых «эпигенетических» признаков черепа и оценка сочетанности функций по сезонным колебаниям признаков, затронуты вопросы общепрофильного характера.

Сборник представляет интерес для экологов и зоологов широкого профиля.

Заявки направлять по адресу:

г. Свердловск, ГСП-169,
ул. Первомайская, 91.
РИСО УНЦ АН СССР.

**ГЕОМИКРОБИОЛОГИЯ
ПОИСКА И РАЗРАБОТКИ
НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИИ**

Труды Института экологии
растений и животных
УИЦ АН СССР, вып. 124

Утверждено к печати
Редакционно-издательским советом
Уральского научного центра АН СССР

Редактор Т. П. Бондарович
Обложка художника М. Н. Гарипова
Техн. редактор Н. Р. Рабинович
Корректоры С. А. Дымшаков, О. П. Естишина

РИСО УИЦ № 929—15(79). Сдано в набор 26.01.79.
НС 14176. Подписано к печати 13.11.79. Усл.-печ. л. 10.
Уч.-изд. л. 10,5. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага типографская
№ 1. Тираж 700. Заказ 122. Цена 1 р.

РИСО УИЦ АН СССР, г. Свердловск, ГСП-169
Первомайская, 91
Типография изд-ва «Уральский рабочий»
Свердловск, просп. Ленина, 49

Господи