

HYDROCARBON DEPOSITS AND THEIR ANOMALIES OF ACTIVE LAYER AND PERMAFROST THICKNESS

V. S. YAKUPOV

Heat anomalies were found in a majority of the oil and gas deposits. At permafrost areas they are expressed by the decrease of frozen rocks thickness and by the mosaic increase of the active layer thickness. These indications, which can be reliably ascertained by methods, may be used for the direct search for any type of hydrocarbon deposits.

Большинству месторождений нефти и газа сопутствуют положительные температурные аномалии. В области развития вечной мерзлоты они выражаются сокращением мощности (толщины) мерзлых толщ и мозаичным увеличением глубины сезонного протаивания. Эти признаки, надежно устанавливаемые методами электроразведки, можно использовать при прямых поисках залежей углеводородов любого типа.

ЗАЛЕЖИ УГЛЕВОДОРОДОВ И СОПУТСТВУЮЩИЕ ИМ АНОМАЛИИ ГЛУБИНЫ ЗАЛЕГАНИЯ ВЕРХНЕЙ И НИЖНЕЙ ГРАНИЦ МЕРЗЛЫХ ТОЛЩ

В. С. ЯКУПОВ

Якутский государственный университет

ВВЕДЕНИЕ

Углеводороды – нефть и газ – одни из важнейших полезных ископаемых. По мере истощения запасов старых месторождений обостряется проблема поиска и разведки новых. Область поиска все более смещается в относительно малоизученные и труднодоступные районы, в частности на север. При этом все более актуальной становится задача поиска трудно обнаруживаемых залежей углеводородов нетрадиционных типов или связанных с малоамплитудными антиклинальными структурами. По совокупности этих причин поиск и разведка залежей углеводородов становятся все дороже, поэтому важно развитие новых подходов, позволяющих сократить расходы хотя бы на каком-то этапе поисково-разведочных работ. В свое время громадный скачок в эффективности поисково-разведочных работ на нефть и газ был сделан за счет внедрения методов геофизики, главным образом сейсморазведки. Уже к концу 20-х годов это позволило снизить расходы на открытие одного месторождения нефти в среднем с нескольких миллионов до 50 тыс. долл. в ценах того времени. Надо признать, что это относилось к территориям с благоприятными геологическими условиями для применения сейсморазведки.

Однако сейсморазведочные работы достаточно дороги и удельный вес затрат на их производство из-за все более сложных геологических условий и возрастающей трудности обнаружения все менее различимых объектов поиска довольно быстро увеличивается, особенно в неосвоенных районах с неразвитой инфраструктурой. Поэтому развитие новых подходов к поиску и разведке залежей углеводородов остается актуальной задачей и в наши дни. Особое внимание привлекают различные возможности прямых поисков залежей углеводородов.

ТЕПЛОВЫЕ АНОМАЛИИ, СОПУТСТВУЮЩИЕ ЗАЛЕЖАМ УГЛЕВОДОРОДОВ

Результаты многочисленных исследований свидетельствуют, что во многих регионах мира месторождения нефти и газа соответствуют положительные температурные аномалии. Предполагается, что эти аномалии обусловлены главным образом протеканием экзотермических реакций в залежах углеводородов [1]. В работе [1] приведены результаты геотермических исследований над сходными водо- и нефтеносными структурами, из которых следует, что при прочих равных условиях аномалии температуры над нефтеносными структурами интенсивнее и зависят от общих запасов нефти. Таким образом, основная альтернативная гипотеза о фокусировании теплового потока антиклинальными складками, то есть складками, в ядре которых залегают более древние породы, объясняет лишь малую часть наблюдаемого эффекта. Существенно, что аномалии температурного поля над залежами углеводородов прослеживаются практически до дневной поверхности. На рис. 1 приведены результаты измерений температуры на глубине 1,4 м для нефтегазового месторождения Блэк Лейк в штате Луизиана (США) [2]. Контур залежи четко выделяется

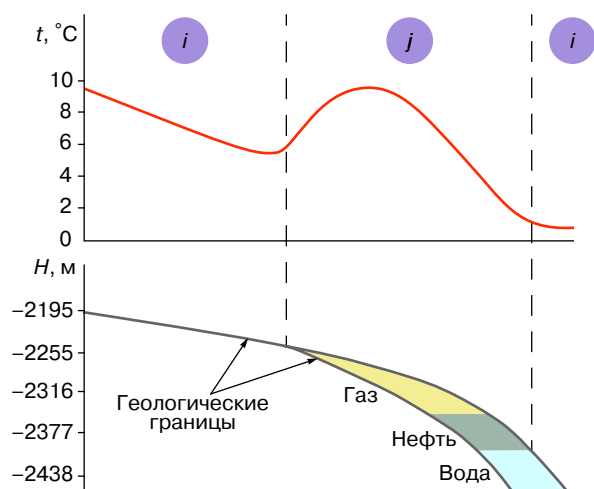


Рис. 1. Температура на глубине 1,4 м по профилю через нефтегазовое месторождение Блэк Лейк. *i* – Область проявления структурного эффекта; *j* – область проявления эффекта нефтегазовой залежи

аномалией температуры. Выделяется также повышение температуры, обусловленное структурным фактором (участки *i* температурных кривых на рис. 1).

АНОМАЛИИ МОЩНОСТИ МЕРЗЛЫХ ТОЛЩ НАД ЗАЛЕЖАМИ УГЛЕВОДОРОДОВ

В области развития вечной мерзлоты аномалии теплового поля над залежами углеводородов выражаются уменьшением мощности (толщины) мерз-

лых горных пород, что впервые было отмечено в конце 50-х годов [3]. Существование такого явления установлено и на некоторых вилюйских газоконденсатных месторождениях Якутии по данным бурения [4]. С практической точки зрения важно было установить возможность надежного обнаружения подобных аномалий мощности мерзлой толщи наземными методами геофизики из-за многократно меньших затрат труда на их производство. С этой целью позднее на Неджелинской, Мастахской, Толонской и частично Средне-Вилуйской структурах Хапчагайского поднятия Вилуйской синеклизы были проведены специальные работы методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ). Здесь толща осадков мелового возраста, в верхней части мерзлых, представлена в основном песками, перекрытыми четвертичными отложениями различного происхождения. Поверхностные образования в целом можно разделить на песчаные и суглинистые отложения, от состава которых и зависит тип ландшафтной фации: незакрепленные развееваемые пески (тукуланы), сосновые леса на песках, лиственничные леса на суглинках, смешанные леса на песках. На песках мощность мерзлой толщи по геотермическим измерениям достигает 450–550 м, на участках развития суглинков – 550–650 м и более (подмерзлотные воды пресные). На участках развееваемых песков идет оттаивание (деградация) мерзлых толщ и сверху и снизу. На участках с ранее развееваемыми, а ныне закрепленными растительностью заболоченными песками идет повторное промерзание пород.

Обнаружено, что над залежами углеводородов в названных структурах уменьшение мощности мерзлых толщ достигает сотен метров (рис. 2) и надежно устанавливается с помощью метода ВЭЗ. Участки наибольшего сокращения мощности мерзлой толщи примерно соответствуют наиболее продуктивным частям месторождений. Отсюда становятся возможными прямые поиски залежей углеводородов, по-видимому, любых типов по аномалиям мощности мерзлой толщи, определяемым наземными методами электроразведки. Область их применения ограничена территорией развития пресных подмерзлотных вод, поскольку для соленых подмерзлотных вод мощность мерзлой толщи определяется степенью их солености, которая резко меняется от участка к участку [5]. Области развития пресных и соленых подмерзлотных вод могут быть разделены по отсутствию или наличию корреляции между мощностью мерзлой толщи и проводимостью подмерзлотного горизонта [5]. На всех изучавшихся газоконденсатных месторождениях получены сходные результаты, поэтому приводятся данные по наиболее полно изученному Мастахскому месторождению.

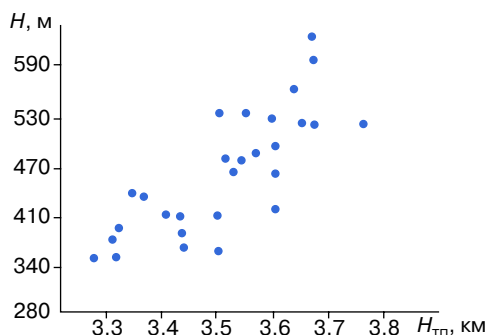


Рис. 2. Зависимость мощности мерзлой толщи H от глубины залегания отражающей границы триас–пермь $H_{тп}$ на Мастахском газоконденсатном месторождении (суглинистые поверхностные отложения)

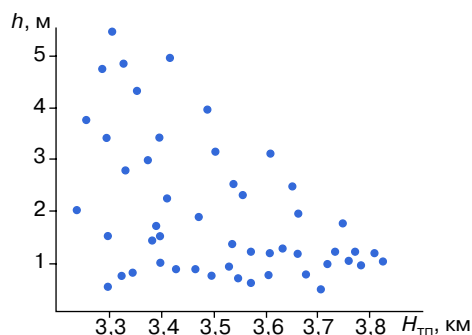


Рис. 3. Зависимость мощности сезонного слоя h от глубины залегания отражающей границы триас–пермь $H_{тп}$ на Мастахском газоконденсатном месторождении (суглинистые поверхностные отложения)

АНОМАЛИИ МОЩНОСТИ СЕЗОННОТАЛОГО СЛОЯ НАД ЗАЛЕЖАМИ УГЛЕВОДОРОДОВ

Территория развития соленых подмерзлотных вод занимает значительную и перспективную по нефти и газу часть Сибирской платформы. Поэтому привлекает внимание то обстоятельство, что аномалии температурного поля прослеживаются практически вплоть до дневной поверхности [2], поскольку в области развития вечной мерзлоты они могут быть причиной аномалий глубины сезонного протаивания.

В ходе работ методом ВЭЗ на перечисленных месторождениях определяли и глубину протаивания, значения которой на основе данных ближайших метеостанций при необходимости приводились ко времени максимального протаивания (середине сентября) и далее к одинаковым поверхностным условиям, наиболее распространенным. На Мастахской структуре это лиственничные леса на суглинках. Данные о мощности сезонного слоя (СТС) h в лиственничных лесах как функция глубины залегания отражающей границы триас–пермь, обрисовывающей антиклинальную складку кровли пермских отложений, представлены на рис. 3. Очевидно, что общая картина носит мозаичный характер: участки с большой и малой глубиной сезонного протаивания при прочих равных условиях перемежаются. Наибольшие значения мощности СТС возрастают от ~1,5 м на окраинах структуры до 5 м и более в сводовой ее части. Резко возрастает к своду структуры и разброс значений мощности СТС, то есть ее дисперсия. Таким образом, мощность СТС над залежами углеводородов резко возрастает не повсеместно, а лишь на отдельных участках и тем больше, чем эти участки ближе к своду структуры. Они тяготеют к наиболее продуктивной части месторождения. Отсюда следует, что описываемые аномалии локального возрастания мощности СТС над залежами углеводородов обязаны своим происхо-

ждением отдельным разрозненным поверхностным тепловым источникам.

На рис. 4 приведены гистограммы, из сравнения которых видно, что мощность СТС в пределах одной ландшафтной фации на газо- и негазоносных площадях Хапчагайского поднятия существенно различна не только по наибольшим ее значениям, диапазону изменения, медианным значениям (~1,7 и ~1,3 м, различие значимо), но и по закону статистического распределения: за пределами залежей мощности распределены по нормальному закону, а над самими залежами так распределены логарифмы мощностей (так называемое логнормальное распределение). На рис. 3 и 4 видно, что наименьшие значения мощности СТС в отличие от наибольших практически одинаковы над залежами и вне их (иногда слабо возрастают к своду структуры). Следовательно, вклад общего глубинного теплового

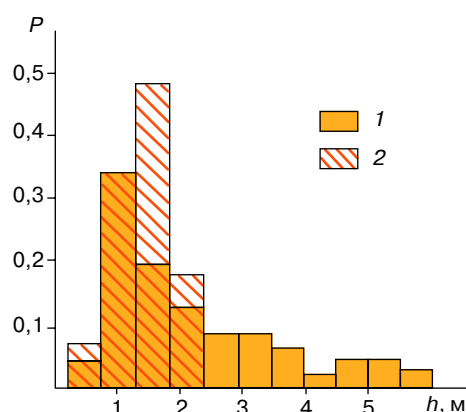


Рис. 4. Гистограммы мощности сезонного слоя h в лиственничных лесах на территории Хапчагайского поднятия (P – доля попадания значений h в данный интервал): 1 – в пределах и 2 – вне пределов контуров промышленной газоносности

источника, вызывающего сокращение мощности мерзлой толщи над залежами углеводородов, в величину глубины сезонного протаивания одинаков или почти одинаков на всей их площади.

Поверхностные источники тепла могут быть результатом протекающих с выделением тепла различных реакций и процессов жизнедеятельности микроорганизмов, в ходе которых окисляются углеводороды. Мозаичность общей картины сезонного протаивания и отсюда большая дисперсия мощности СТС могут быть объяснены неравномерным по площади поступлением молекул углеводородов в результате их диффузии из залежи в надмерзлотный слой и пестротой условий протекания экзотермических реакций и жизнедеятельности микроорганизмов в нем. Это согласуется с результатами геохимических исследований, которыми установлена более высокая величина дисперсии содержания углеводородов и углекислого газа в подпочвенном слое над месторождениями нефти и газа на фоне относительно равномерного их распределения за пределами последних. Наличие мерзлой толщи должно усиливать аномалии мощности СТС, поскольку инфильтрация насыщенных кислородом атмосферных осадков ограничивается оттаявшей частью сезонноталого слоя. В то же время уменьшение мощности мерзлых горных пород над залежами облегчает диффузию углеводородов из них в надмерзлотный слой и тем самым усиливает аномалии сезонного протаивания. Из обусловленности рассматриваемых аномалий мощности СТС локальными поверхностными источниками следует, что такие аномалии должны иметь место над залежами углеводородов любых типов в области развития как пресных, так и соленых подмерзлотных вод. В случае последних диффузия молекул углеводородов к дневной поверхности может облегчаться за счет меньшей мощности мерзлой толщи в целом. Возможно, что вследствие этого при прочих равных условиях аномалии глубины сезонного протаивания будут ярче.

Обнаруженное явление аномально глубокого сезонного протаивания мозаичного характера и аномально высокой дисперсии мощности СТС над изучавшимися залежами углеводородов, в частности, по-видимому, над наиболее продуктивными их участками должно наблюдаться так же широко, как и тепловые аномалии над месторождениями нефти и газа вне области развития вечной мерзлоты. Это явление можно использовать как поисковый критерий при прямых поисках залежей углеводородов любых типов в области развития вечной мерзлоты с подмерзлотными водами произвольной минерализации. На его основе возможно обследование значительных территорий в короткие сроки. Помехой могут быть участки с засоленными почвами, вообще имеющими крайне ограниченное распространение. В этом случае необходим учет минерализации надмерзлотных вод, легко осуществляемый по ве-

личине одновременно определяемой электропроводности грунтов оттаявшей части СТС.

Несомненный интерес представляет совместное рассмотрение данных о глубине сезонного протаивания и мощности мерзлых горных пород в виде комплексного параметра — отношения h/H в одной и той же точке (рис. 5). Очевидно, что аномалия h/H над залежью почти вдвое контрастнее, чем аномалии h и H порознь. Она выделяется и по наибольшему и по наименьшему значениям h/H . По наибольшему — из-за совместного вклада h и $1/H$, по наименьшему — из-за влияния уменьшения H к сво-

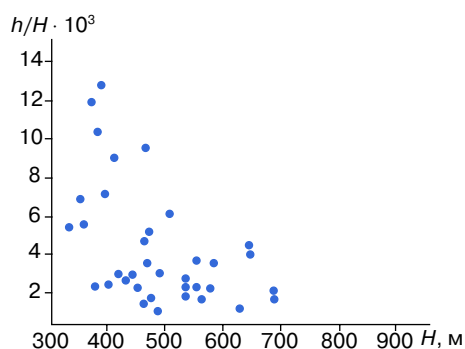


Рис. 5. Зависимость отношения h/H от мощности мерзлой толщи H (Мастахское месторождение, суглинистые поверхностные отложения)

Трудоемкость определения глубины протаивания и мощности мерзлых горных пород различаются более чем на порядок. Поэтому последовательность работ должна быть следующей: определение глубины сезонного протаивания на исследуемой площади; определение мощности мерзлой толщи на обнаруженной аномалии сезонного протаивания по более чем на порядок редкой сети наблюдений с выходом по двум-трем профилям за пределы аномалии; выполнение других, не требующих больших затрат специальных работ (геохимическая съемка) с целью получить комплекс данных, которые могли бы указывать на наличие залежи углеводородов и тем самым повысить достоверность поиска.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поведение верхней и нижней границ мерзлой толщи отражает наличие залежей углеводородов. Сопутствующие им аномалии глубины сезонного протаивания и мощности мерзлых толщ надежно устанавливаются наземными методами электроразведки, что может быть использовано для прямых поисков месторождений нефти и газа: в области развития пресных подмерзлотных вод по аномалиям мощностей СТС и мерзлых горных пород, а также их отношению; в области развития соленых

подмерзлотных вод по аномалиям глубины сезонного протаивания. Оценивая возможную эффективность указанных поисковых критериев, следует сказать, что, по-видимому, большинству залежей углеводородов соответствуют аномалии элементов залегания мерзлых толщ. Обратное верно далеко не всегда: подобные аномалии могут быть вызваны и другими причинами, кроющимися, например, в былых нарушениях поверхностных условий, след которых и после восстановления первоначального состояния сохранился в виде аномалий мощности мерзлой толщи. Степень соответствия залежей углеводородов аномалиям глубины сезонного протаивания, по-видимому, заметно выше, так как другие источники столь интенсивных аномалий и такой их пространственной организации просто трудно указать. Возможное наличие засоленных участков легко обнаруживается по ходу работ и поддается учету. Проведение работ в нужной последовательности и использование аномалий поведения верхней и нижней границ мерзлых толщ в комплексе с другими поисковыми признаками повысят эффективность прямых поисков залежей углеводородов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мехтиев Ш.Ф., Мирзаджанзаде А.Х., Алиев С.А.* Геотермические исследования нефтяных и газовых месторождений. М.: Недра, 1971. 215 с.
2. *Lasky В.Н.* // World Oil. 1967. Vol. 164, № 5. P. 92–99.
3. *Дьяконов Д.Н.* Геотермия в нефтяной геологии. М.: Гостоптехиздат, 1958. 277 с.
4. *Фотиев С.М., Данилова Н.С., Шевелева Н.С.* Геокриологические условия Средней Сибири. М.: Наука, 1974. 148 с.
5. *Калинин В.М., Якупов В.С.* Региональные закономерности поведения мощности мерзлых толщ. Якутск, 1989. 142 с.

* * *

Виль Сайдельевич Якупов, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, академик РАЕН. Главный научный сотрудник Института горного дела Севера СО РАН. Награжден медалью П.Л. Капицы. Область научных интересов: исследование вечной мерзлоты методами геофизики, разведочная геофизика, петрофизика. Автор более 200 научных работ, в том числе пяти монографий.