

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЧЕХЛА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

В.С. Старосельцев
(СНИИГиМС)

Огромная (около 3,5 млн км²) территория между Енисеем на западе и Леной на востоке представляет собой единую древнюю Сибирскую платформу, нефтегазоносность которой наиболее подробно охарактеризована в опубликованной 20 лет назад монографии [1]. На начало 2000 г. углеводородный потенциал чехла платформы оценивается в 95 млрд т УУВ при возможности извлечения около 40 млрд т.

Длительная, начиная с рифея, история развития платформы определила важные для ее нефтегазоносности геологические условия. Чехол Сибирской платформы от чехла Русской и других древних платформ отличается существенно большей стратиграфической полнотой. Если, например, на Русской платформе после локализованного в сети рифтогенных структур рифейско-вендского осадконакопления на большей части ее территории наступил длительный (до начала девона) перерыв в формировании чехла, то на Сибирской в это же время практически повсеместно накапливались преимущественно карбонатные осадки суммарной толщиной более 3 км.

Более широким распространением на Сибирской платформе по сравнению с Русской отличались и рифейские осадки, которые, помимо накопления в Иркинское-Чадобецкой и Уринской рифтогенных зонах, перекрывали более 50 % ее территории в виде пологозалегающих в нижней части терригенных отложений, а выше — преимущественно карбонатных пород суммарной толщиной до 2 км и более.

Накопление девонско-нижнекаменноугольных осадков на Сибирской платформе происходило далеко не повсеместно. Наиболее обширной областью осадконакопления являлась ее северо-западная часть, где на площади около 800 тыс. км² сформировалась толща терригенно-карбонатных пород суммарной толщиной от нескольких десятков метров на юге до 1,0...1,5 км на севере. Кроме того, существовало несколько обособленных областей, иногда раскрывающихся в сторону смежных обрамляющих платформу зон прогибания на ее востоке, юге и юго-западе. Наибольшая по объему накопившихся осадков область была расположена на территории бассейна среднего течения р. Вилюй на востоке Сибирской платформы. Суммарная толщина накопившихся здесь терригенно-карбонатных соленосных пород достигала 3 км и более.

Кратко охарактеризованы основные геологические особенности чехла Сибирской платформы, влияющие на его нефтегазоносность. Основное внимание уделено его стратиграфическому диапазону и толщине в пределах основных структур, трапповому магматизму, неотектонике.

The basic geological features of a cover of the Siberian platform, influencing on its oil and gas content, are briefly characterized. The basic attention is given to stratigraphic range and thickness of cover within the limits of basic structures, trap magmatism, neotectonics.

Следующий, позднепалеозойский, этап накопления чехла Сибирской платформы знаменовался сменой преимущественно карбонатных и карбонатно-терригенных осадков терригенными угленосными при общем значительном расширении площади их распространения по сравнению с девонско-нижнекаменноугольными. Но достигнутой в венд-силурийское время

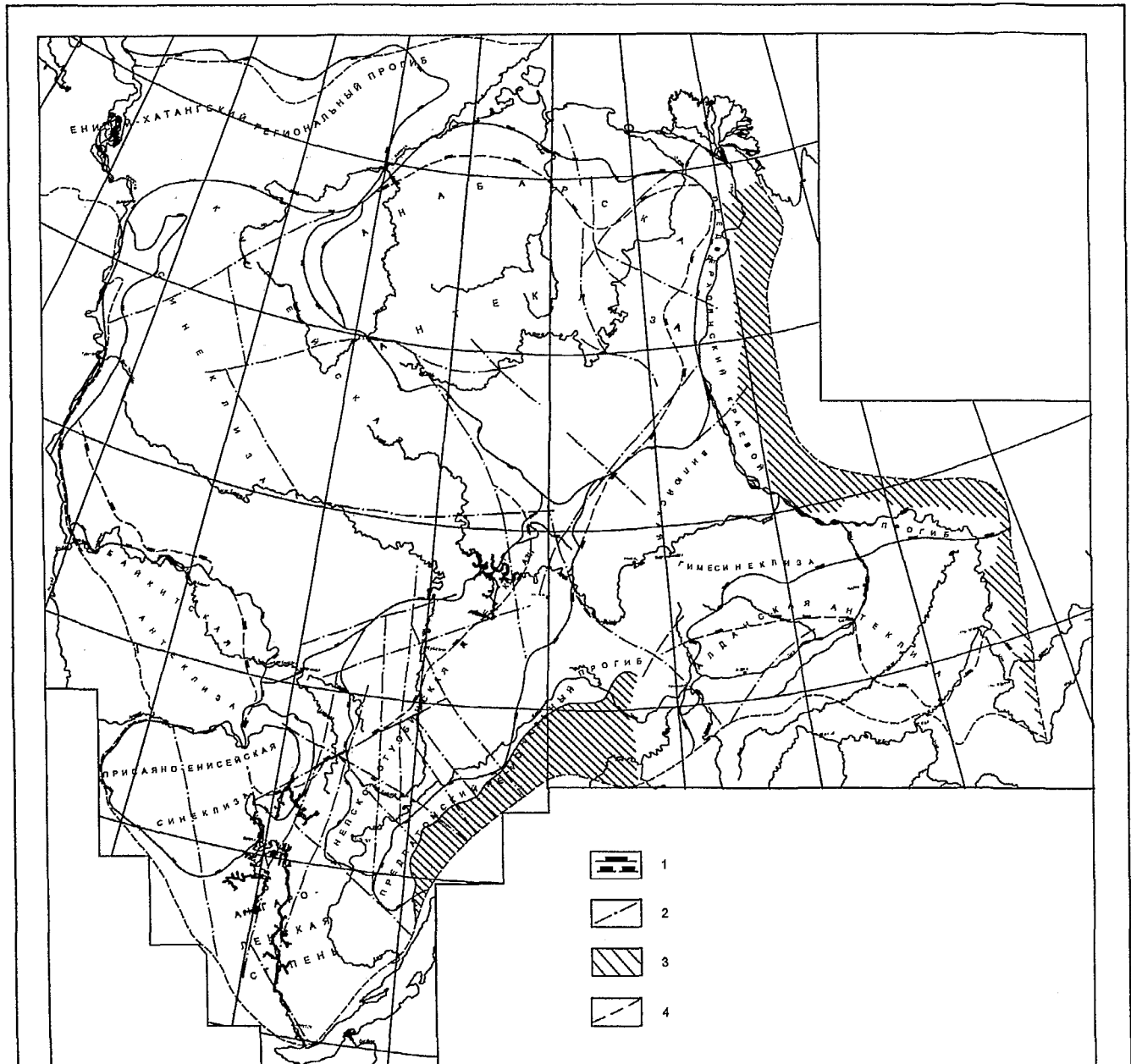
полноты охвата территории платформы осадконакоплением в позднем палеозое не произошло. Основное по площади (более 1,5 млн км²) поле распространения верхнепалеозойских отложений на Сибирской платформе приурочено к западной ее половине. Суммарная их толщина изменяется от 300...500 м на юге и в центре этой территории до 800...1000 м в Приенисейской зоне и до 2...3 км на крайнем севере. На восточном краю платформы верхнепалеозойские отложения распространены относительно узкой полосой с некоторым расширением к западу на территории бассейна нижнего течения р. Вилюй. Их суммарная толщина в осевой зоне прогибания превышает 4 км.

В конце перми — начале триаса запад Сибирской платформы был охвачен интенсивным трапповым магматизмом. В результате на территории около 1,5 млн км² накопился компенсирующий прогибание комплекс туфогенно-эффузивных пород суммарной толщиной от 0,6 км на юге до 3,5 км на крайнем северо-западе платформы. На ее востоке в это время накапливались терригенные осадки, содержащие отдельные горизонты с примесью туфогенного материала.

Начиная со среднего триаса и до конца мела, на северной и восточной окраинах Сибирской платформы происходило глубокое прогибание, компенсированное терригенными осадками суммарной толщиной до 7...10 км. Кроме того, от бассейна р. Вилюй на востоке до правых притоков р. Енисей на юго-западе через всю платформу протягивался неглубокий прогиб, в котором накапливались терригенные осадки юры суммарной толщиной до 100...200 м. В более позднее, палеоген-неогеновое, время на всей Сибирской платформе существовали лишь две небольшие обособленные области прогибания — в низовьях р. Алдан и в среднем течении р. Котуй, компенсированные терригенными осадками суммарной толщиной соответственно около 1000 и 200 м.

Таким образом, чехол Сибирской платформы формировался в целом практически непрерывно от рифея до кайнозоя. В течение столь длительного времени тектонический режим на ее территории неоднократно изменялся, что находило отражение в изменении контуров областей седиментации, амплитуды их прогибания и дислоцированности. В результате к настоящему времени суммарная толщина чехла и его стратиграфическая полнота на различных участках платформы существенно различаются, что позволяет провести тектоническое районирование, представленное на рисунке. Расположенные на северной и восточной окраинах Сибирской платформы депрессии (Енисей-Хатангский региональный и Предверхо-

янский краевой прогибы, находящиеся между ними структуры первого порядка, а также центральная часть Вилюйской гемисинеклизы) выполнены мезозойскими осадками суммарной толщиной более 3... 5 км, с которыми и связаны все открытые до сих пор газовые и газоконденсатные месторождения. Поэтому их современные контуры проведены по базальным горизонтам мезозоя. На остальной территории платформы перспективные на нефть и газ мезозойские осадки практически отсутствуют и оконтуривание основных структур выполнено по базальным стратиграфическим уровням венда — нижнего кембрия, которые максимально близко расположены к наиболее нефтегазоперспективным горизонтам.



Тектоническая схема нефтегазоносных территорий Сибирской платформы:

1 — контуры надпорядковых структур — региональных и краевых прогибов, ступеней (пунктиром показаны контуры наложенных отрицательных структур); 2 — основные региональные разломы по геолого-геофизическим данным; 3 — зоны шарьяжных перекрытий; 4 — границы нефтегазоносных провинций

Каждая из выделенных крупнейших надпорядковых структур характеризуется определенным набором нефтегазоперспективных комплексов.

Наиболее полный их набор прогнозируется по совокупности геолого-геофизических данных на крайнем северо-западе Сибирской платформы, в пределах Енисей-Хатангского регионального прогиба (см. рисунок). Суммарная толщина платформенного чехла здесь может превышать 20 км, а стратиграфический диапазон включает разрез от рифея до верхнего мела с незначительными перерывами на рубеже рифея — венда, раннего — среднего карбона, триаса — юры. В целом этот прогиб может рассматриваться как один из основных очагов генерации углеводородов на Сибирской платформе. На его территории в меловых и частично юрских терригенных отложениях открыты преимущественно газовые месторождения. Вполне вероятны скопления углеводородов на осложняющих Енисей-Хатангский региональный прогиб поднятиях до глубин 4...5 км в подсолевых силурийско-девонских преимущественно органогенно-карбонатных трещинно-каверновых горизонтах. Залегающие на больших глубинах рифейско-палеозойские в основном карбонатные и мезозойские терригенные породы, скорее всего, следует рассматривать как потенциальные генераторы нефти и газа для вышележащих резервуаров самого прогиба и смежных крупных поднятий.

На севере юрско-меловые отложения Енисей-Хатангского регионального прогиба частично перекрывают палеозойско-триасовые образования Таймырской складчатой области. Южнее его расположена самая крупная отрицательная структура чехла Сибирской платформы — Курейская синеклиза. Ее площадь превышает 800 тыс. км², а суммарная толщина чехла — 10 км. Собственно Курейскую синеклизу образуют венд-нижнекаменноугольные преимущественно карбонатные и терригенно-карбонатные отложения, которые подстилаются либо рифейскими карбонатными или (реже) терригенными породами, либо породами кристаллического фундамента. Перекрываются они верхнепалеозойскими терригенными угленосными отложениями, которые вместе с вышележащими нижнетриасовыми туфогенно-эффузивными образованиями основного состава образуют Тунгусскую синеклизу площадью около 1,2 млн км², уходящую далеко на юг за пределы Курейской синеклизы.

Северные районы Курейской и Тунгусской синеклиз на протяжении всей палеозойской и раннетриасовой истории и развития характеризовались глубоким устойчивым прогибанием, что обусловило накопление огромных объемов преимущественно карбонатных и терригенно-карбонатных осадков. Их последовательное вхождение в зону интенсивного нефтеобразования способствовало постоянной реализации генерационного потенциала. Кроме того, значительные массы углеводородов продолжали поступать в эти районы синеклизы в результате латеральной

миграции по трещинно-поровым коллекторам венда и среднего ордовика из активно погружающейся в юрско-меловое время территории Енисей-Хатангского регионального прогиба. Поэтому вероятность формирования на севере Курейской синеклизы крупных скоплений углеводородов чрезвычайно велика [2], хотя из-за крайне слабой изученности этой территории сейсморазведкой и глубоким бурением пока еще не подтверждена.

Следующей по суммарному объему осадочного выполнения является расположенная на востоке Сибирской платформы Виллюйская гемисинеклиза площадью около 150 тыс. км² (см. рисунок), раскрывающаяся в сторону Предверхоанского краевого прогиба. Суммарная толщина платформенного чехла в ее пределах достигает 14 км, из которых половина приходится на мезозойские терригенные отложения. Именно в них открыт ряд крупных и средних по размерам газовых и газоконденсатных месторождений. Подстилающие мезозой верхнепалеозойские также терригенные угленосные отложения суммарной толщиной до 3,5 км по всему разрезу битуминозны, но не содержат концентрированных углеводородных скоплений. Вопрос о стратиграфическом диапазоне подстилающих верхний палеозой отложений является дискуссионным, не исключено, что они представлены лишь нижнепалеозойскими, преимущественно карбонатными, породами. Среди последних в западной половине гемисинеклизы прогнозируется северо-западная зона кембрийских рифогенных образований, с которыми могут быть связаны промышленно значимые нефтяные скопления. Малообъемные сейсморазведочные работы и бурение пока не привели к их обнаружению.

Несколько меньшая по объему осадочного выполнения, но большая по площади (около 180 тыс. км²) отрицательная структура — Присяжно-Енисейская синеклиза — расположена на юго-западе платформы (см. рисунок). Суммарная толщина платформенного чехла в ее пределах достигает 6,5 км, а стратиграфический диапазон охватывает рифейские, венд-кембрийские, ордовикские, а также силурийские, девонские, верхнепалеозойские и юрские породы небольшой толщины. Для нефтегазоносности наибольший интерес представляют развитые на всей территории синеклизы вендские терригенные и частично перекрывающие их соленосно-карбонатные нижнекембрийские отложения суммарной толщиной около 4 км. Редкие глубокие скважины, пробуренные в ее пределах, не достигли наиболее перспективных в нефтегазоносном отношении горизонтов.

На юге Сибирской платформы расположена еще одна очень крупная (площадью более 350 тыс. км²) отрицательная структура — Предпатомский региональный прогиб (см. рисунок). Ее своеобразие заключается в том, что юго-восточная окраина прогиба перекрыта шарьяжно-надвиговыми пластинками Байкало-Патомской складчатой зоны и пока еще слабо изучена. Поэтому суммарная толщина платформенного

чехла в его пределах может быть оценена лишь предварительно. Скорее всего, она превышает 4...5 км, а стратиграфический диапазон нефтегазоперспективных отложений охватывает в основном рифей — кембрий. Поднадвиговая часть прогиба в пределах Байкало-Патомского нагорья в нефтегазоносном отношении практически не изучена. Вдоль северо-западного его борта и на востоке открыт ряд средних по размерам месторождений нефти и газа в терригенных горизонтах венда и трещиноватых местами органических карбонатах рифея и нижнего кембрия.

Все описанные выше крупнейшие отрицательные структуры чехла Сибирской платформы на разных этапах геологической истории являлись депоцентрами компенсированного осадками прогибания и последующей крупнообъемной генерации углеводородов. В прогибаниях, расположенных на Присаяно-Енисейской, Предпатомской и Предверхожанской окраинах платформы, мощным дополнительным источником углеводородов являлись соответственно рифейские и в последнем случае верхнепалеозойские осадочные комплексы структур складчатого ее обрамления.

Примыкающие к очагам генерации углеводородов крупнейшие (антеклизы) и крупные (своды, мегавалы) положительные структуры находились в условиях, наиболее благоприятных для концентрации скоплений нефти и газа. Среди них в первую очередь следует назвать (см. рисунок) Непско-Ботуобинскую (площадью около 300 тыс. км²) и Байкитскую (более 140 тыс. км²) антеклизы, а также соединяющую их Катангскую седловину. На первой из них уже открыты крупные и крупнейшие скопления нефти и газа в терригенных вендских и карбонатных венд-нижнекембрийских горизонтах, а на второй, как и на Катангской седловине, — в трещинно-каверновых карбонатах рифея и частично в терригенном венде. Две более крупные антеклизы — Анабарская (площадью более 700 тыс. км²) и Алданская (350 тыс. км²) — имеют существенно меньшие перспективы формирования крупных скоплений углеводородов из-за практически не осложненного крупными поднятиями регионального подъема нефтегазоперспективных горизонтов к дневной поверхности у выходов кристаллических пород фундамента соответственно на Анабарском массиве и Алданском щите.

Среди крупнейших структур одна — Ангаро-Ленская региональная ступень — по знаку является промежуточной. Она занимает самый южный угол платформы, ограниченный складчатыми сооружениями Восточных Саян и Байкало-Патомского нагорья. В строении платформенного чехла в ее пределах принимают участие повсеместно венд-нижнекембрийские, а вблизи складчатого обрамления — и рифейские породы. Их суммарная толщина достигает 2,5...3,0 км, увеличиваясь в сторону Присаяно-Енисейской синеклизы, Предпатомского прогиба и поднадвиговых зон складчатого обрамления. К настоя-

щему времени в вендских терригенных горизонтах выявлено несколько месторождений, основным из которых является гигантское Ковыктинское газовое.

Основной интерес для поисков крупных скоплений углеводородов представляют поднятия первого порядка, расположенные внутри Присаяно-Енисейской синеклизы, Енисей-Хатангского регионального прогиба, Вилуйской гемисинеклизы и особенно Курейской синеклизы. В мезозойских отложениях таких поднятий в пределах Енисей-Хатангского регионального прогиба и Вилуйской гемисинеклизы уже открыты газовые и газоконденсатные месторождения. На крупных поднятиях Курейской и Присаяно-Енисейской синеклиз перспективные на нефть и газ горизонты пока не вскрыты.

Кроме описанных структурно-вещественных геологических особенностей чехла Сибирской платформы, на его нефтегазоносность существенное влияние оказал широко проявившийся в западной ее половине в конце перми — начале триаса трапповый магматизм [2]. В целом это обусловило дополнительный, хотя и кратковременный, его прогрев с соответствующим возрастанием активности процессов нефтегазообразования. Температурное воздействие трапповых интрузий было далеко не равномерным и в основном определялось их суммарным объемом в различных стратиграфических интервалах разреза в зависимости от палеоструктурной позиции. Количество и суммарная толщина трапповых силлов в целом увеличивались вверх по разрезу чехла по мере продвижения трапповой магмы от преобладающих мест внедрения в отрицательных крупных структурах к смежным поднятиям. В результате температурного воздействия трапповых интрузий на вмещающие их породы, которое обычно является существенным для органического вещества на расстоянии, соизмеримом с толщиной интрузивного тела, в платформенном чехле возникали аномалии интенсивности катагенетических изменений вплоть до перевернутой глубинной зональности.

Влияние траппового магматизма не ограничивалось прямым температурным воздействием на процессы нефтегазообразования. При внедрении трапповая магма использовала те же системы раскрывающихся в результате общего растяжения субвертикальных и субгоризонтальных трещин, что и мигрирующие флюиды, включая углеводороды. Следовательно, тектоническая обстановка периода внедрения трапповой магмы способствовала резкой активизации миграционных процессов в углеводородных системах, что приводило к существенному переформированию их скоплений. Большое влияние на миграцию и формирование залежей нефти и газа оказал каркас интрузивных тел и после их застывания, что было обусловлено повышенной трещиноватостью их эндо- и экзоконтактных зон и относительной монолитностью центральной части. В результате последняя по существу являлась флюидоупором в окружении активных миграционных потоков. Это приводило при определенных сочетаниях пластовых и подводящих

субвертикальных трапповых тел [2] к формированию специфических ловушек нефти и газа на моноклиналях и пликвативно незамкнутых поднятиях. Количество таких тектоно-магматических ситуаций в западной половине Сибирской платформы огромно, что может обеспечить значительное число дополнительных зон накопления и локальных ловушек нефти и газа.

Важным для нефтегазоносности чехла Сибирской платформы является также его неотектоническое развитие, характеризующееся, за исключением мезозойских краевых депрессий (Енисей-Хатангский региональный прогиб, Вилюйская гемисинеклиза и др.), значительными (до 1000 м и более) амплитудами восходящих движений. Вопреки обычно негативному влиянию подобной ситуации на нефтегазоносность, на Сибирской платформе в связи с относительно глубоким залеганием перспективных горизонтов и наличием надежных флюидоупоров (пластов соли, ангидритов, трапповых пластовых интрузий, туфогенно-эффузивного комплекса на севере Курейской синеклизы) вполне можно рассчитывать на существование крупных скоплений углеводородов. Особенно ярким подтверждением такого предположения является открытие Ковыктинского гигантского газового месторождения в условиях резко расчлененного рельефа и новейших воздыманий с амплитудой около 1000 м.

Завершая характеристику основных геологических условий формирования нефтегазовых скоплений на Сибирской платформе, необходимо подчеркнуть большое разнообразие сочетаний главных их параметров (типов пород-коллекторов, пород-флюидоупоров, ловушек, состава углеводородных

флюидов) и факторов, осложняющих их освоение (суровый климат, расчлененный рельеф, отсутствие инфраструктуры, включая дороги и трубопроводы). Поэтому экономические показатели освоения даже крупных скоплений нефти и газа далеко не оптимальны. В связи с этим важно иметь в виду, что Сибирская платформа, помимо углеводородного сырья, богата многими твердыми полезными ископаемыми (алмазами, золотом, медно-никелево-платиновыми и свинцово-цинковыми рудами, исландским шпатом, железом, фосфоритами и др.). Кроме того, при разработке нефтегазовых месторождений целесообразно попутно осваивать богатейшие содержания гелия в свободном газе, лития, цезия, рубидия, бора и других ценных компонентов в пластовых высокоминерализованных рассолах. Комплексное освоение всех видов минерального и энергетического сырья позволит существенно снизить суммарные затраты на создание единой инфраструктуры и тем самым значительно повысить экономические показатели промышленного использования природных богатств Сибирской платформы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геология нефти и газа Сибирской платформы / Под ред. А.Э. Конторовича, В.С. Суркова, А.А. Трофимука — М.: Недра, 1981. — 552 с.
2. Старосельцев В.С. Тектоника базальтовых плато и нефтегазоносность подстилающих отложений. — М.: Недра, 1989. — 258 с.

УДК 553.98:556.3 (571.5)

ОСНОВЫ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО ПРОГНОЗА НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

В.И. Вожов
(СНИИГГиМС)

Оценка нефтегазоносности бассейнов сложного геологического развития на основе гидрогеологических критериев регионального и локального уровня является важной составной частью научного обоснования и выбора главных направлений нефтегазопроисловых работ в наиболее крупных добывающих районах Сибирской платформы.

На основе разработанной методики комплексного опробования скважин и оптимального комплекса аналитических определений неорганических, органи-

На основе традиционных и новых гидрогеологических критериев и выявленных гидрогеодинамических, геотермических, геокриологических и гидрогеохимических закономерностей выполнен региональный прогноз нефтегазоносности Сибирской платформы, в том числе в районах распространения криолитозоны, насыщения осадочного чехла интрузиями и засоления проницаемых горизонтов.

Regional forecast of petroleum potential of the Siberian Platform including the regions of cryolithozone occurrence, sedimentary cover saturation with intrusions and permeable horizon salting was accomplished based on conventional and new hydrogeological criteria as well as revealed hydrogeodynamic, geothermal, geocryological and hydrogeochemical regularities.

ческих компонентов, микрокомпонентов подземных вод и рассолов были созданы методические основы гидрогеологических исследований для решения задач регионального и локального прогноза и поисков нефти и газа.

Объектом регионального прогнозирования нефтегазоносности является район, который соответствует надпорядковой структуре или тектоническому элементу первого порядка в плане и

резервуару или комплексу в разрезе. Применительно к методам, используемым в нефтегазовой гидрогео-