УДК 551.333

Г.И.ГРИВА, *д-р геол-минерал. наук*, *grivag@mail.ru*
А.В.БРУШКОВ, *д-р геол-минерал. наук*, *brouchkov@hotmail.com*
В.П.МЕЛЬНИКОВ, *академик РАН*, *melnikov@ikz.ru*
Тюменский научный центр СО РАН
В.В.САМСОНОВА, *канд. геогр. наук*, *algama@rambler.ru*
Тюменский государственный нефтегазовый университет

G.I.GRIVA, *Dr. in geol. & min. sc.*, *grivag@mail.ru*
A.V.BROUSHKOV, *Dr. in geol. & min. sc.*, *brouchkov@hotmail.com*
V.P.MELNIKOV, *Academician RAS*, *melnikov@ikz.ru*
The Tumen research center SO RAS
V.V.SAMSONOVA, *PhD in geog.*, *algama@rambler.ru*
The Tumen State Oil-Gas University

ФАКТОРЫ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО РИСКА ПРИ РАЗРАБОТКЕ БОВАНЕНКОВСКОГО НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА ПОЛУОСТРОВЕ ЯМАЛ

Рассмотрены геолого-структурные особенности территории; систематизированы факторы техногенного изменения геологической среды при разработке месторождения и их геоэкологические последствия; предложена концепция геодинамического мониторинга как инструмента обеспечения эксплуатационной надежности объектов добычи газа.

***Ключевые слова*:** разработка месторождения, геодинамические риски, вечная мерзлота.

FACTORS OF GEODYNAMIC RISK IN EXPLORATION OF THE BOVANENKOVSK OIL-GAS CONDENSATE FIELD AT THE JAMAL PENINSULAR

Geological-structural peculiarities of territory are considered; factors of human impact on geological environment and their geoecological consequences while field development are systematized; the concept of geodynamic monitoring as a tool of maintenance of operational reliability of gas producing facilities is offered.

***Key words*:** field development, geodynamic risks, permafrost.

К настоящему времени на п-ове Ямал открыты 26 различных по запасам и фазовому состоянию углеводородов месторождений. Наиболее крупным и подготовленным к разработке является Бованенковское нефтегазоконденсатное месторождение (БНГКМ), освоение которого позволит обеспечить энергоресурсами внутренних потребителей и поддержать экспортный потенциал страны.

В геологическом строении территории БНГКМ принимают участие породы от палеозойского до четвертичного возраста, образующие два мегакомплекса отложений: домезозойский, преимущественно метаморфический и мезозойско-кайнозойский осадочный. Кровля консолидированного фундамента залегает на глубине 8 км. Нефтегазоносный комплекс имеет терригенный состав, юрско-меловой возраст и состоит из трех ярусов-коллекторов: раннесреднеюрского, баррем-готеривского и апт-сеноманского, разделенных флюидоупорами.

Месторождение располагается в пределах северо-восточного склона Нурминского мегавала Ямало-Гыданской мегаседловины, которая отличается значительной дислоцированностью мезокайнозойского чехла и максимальной для Западной Сибири плотностью крупнейших структур. Бованенковское куполовидное поднятие, вмещающее месторождение, представляет собой антиклинальную структуру-ловушку, имеет ярко выраженный долгоживущий характер – от рифея до кайнозоя, и прослеживается в пликативных и дизъюнктивных дислокациях различного знака во всех этажах. Разрывная составляющая этой структуры представлена разрывами первого порядка в фундаменте, распадающимися на разрывы второго и третьего порядка в соответствующих структурных этажах. Определяющую роль играет разлом в фундаменте северо-западного простирания, просматривающийся благодаря своим составляющим вплоть до современного рельефа.

Оперяющие региональные и локальные разрывы в верхнем структурном этаже являются существенным фактором тектонического контроля и свидетельствуют о том, что толща рыхлых пород платформенного чехла в недостаточной степени гасит тектонические напряжения, радиально транслируемые к поверхности от подвижных блоков фундамента. Подавляющее большинство разломов северо-западного и северо-восточного простирания. Повышенная частота разрывных нарушений установлена для юрского структурного яруса и палеозоя.

Важной особенностью месторождения является широкое распространение зон аномально высокого пластового давления с коэффициентами превышения до 15 %. Широкое распространение этих зон в совокупности с недостаточно изученными аномалиями теплового поля у подошвы многолетнемерзлой толщи, а также в связи со слабой изученностью разломной тектоники разных структурных уровней, представляет особую опасность непредсказуемых и необратимых техногенно-тектонических эффектов при начале разработки Бованенковского НГКМ.

Совместный анализ комплекса геолого-геофизической информации и данных дистанционного зондирования позволил отчетливо выделить проявляемую в элементах орогидрографии морфологически правильную и фракталоподобную ромбовидную решетку линеаментов, к которой приурочены геодинамически активные зоны. К последним отнесены границы морфоблоков с различными знаками новейших тектонических движений, разуплотненные зоны повышенной проницаемости горных пород, зоны аномально высокого пластового давления, линейно ориентированные участки аномального расчленения рельефа и другие линеаменты, представляющие трансляционное отражение проявлений долгоживущих разломов.

О повышенной эндогенной активности линейно-ориентированных зон свидетельствуют установленные геофизическими методами аномалии магнитного и гравитационного полей, а также выявленные поверхностные геохимические и температурные аномалии.

Планируемые интенсивные темпы отбора газа в столь сложных геодинамических условиях определяют возможность резкого нарушение термобарофлюидальных условий в недрах, изменения напряженно-деформированного состояния горных пород, опасность неравномерных вертикальных осадок земной поверхности и развития связанных с ними опасных геологических процессов. Нами выполнена оценка оседания поверхности территории БНГКМ в результате отбора газа из апт-сеноманских залежей; выделены, систематизированы и рассмотрены другие факторы техногенного изменения геологической среды и их геоэкологические последствия (см. таблицу).

С учетом высокой степени дислоцированности структур территории, которая отражает напряженно-деформированное состояние горных пород и определяет повышенные скорости современных вертикальных движений земной коры, указанные техногенные геомеханические и теплофизические процессы в недрах будут развиваться не

Факторы геодинамического риска при разработке Бованенковского НГКМ

Группы факторов		Последствия воздействия на геологическую среду
природные	техногенные	
Продолжение неотектонических подвижек в современную эпоху	Неравномерное оседание земной поверхности при отборе газа	Усиление современных вертикальных движений земной коры
Широкое распространение зон аномально высокого пластового давления	Нарушение температурных условий	Возрастание наведенной техногенной сейсмической опасности
Высокая плотность разноамплитудных тектонических нарушений во всех структурных этажах	Перераспределение полей давления	Усиление нестационарности геотермического режима
Аномалии теплового поля у подошвы мерзлой толщи	Изменение напряженно-деформированного состояния горных пород	Миграция и метаморфизм криопэгов
Наличие разуплотненных зон с повышенной проницаемостью пород		Повышенная дегазация недр
Повышенная эндогенная активность геодинамически нестабильных зон		Деградация полигенетических подземных льдов
		Затопление морскими водами низких геоморфологических уровней
		Изменение общего базиса эрозии и активизация экзогенных физико-геологических процессов

равномерно по всей площади месторождения, а локализоваться в определенных зонах разгрузки лимитирующих динамических градиентов. Это неизбежно приведет к изменениям экзогеодинамической обстановки территории и развитию комплекса опасных геоэкологических, в первую очередь – геодинамических, процессов. Наиболее опасным последствием будет активизация комплекса криогенных процессов и явлений, развитие которых определяет инженерно-геологические условия территории.

Обеспечение эксплуатационной надежности объектов добычи и транспорта углеводородов в столь сложных горно-геологических условиях возможно только на основе детальной информации об изменении состояния геологической среды, для получения которой необходима организация режимных геодинамических наблюдений как составной части системы комплексного геоэкологического мониторинга территории месторождения. Результаты мониторинга геодинамических процессов в процессе разработки месторождений необходимы для решения следующих основных задач:

1) районирование территории по степени сейсмодеформационного риска;

2) прогнозирование геодинамических явлений (активизация глубинных разломов, перемещения по ним блоков земной коры и др.) и связанных с ними геоэкологических последствий;

3) контроль за движениями приповерхностных и глубинных слоев земной коры и осадками земной поверхности в условиях снижения пластового давления и уплотнения пород;

4) учет вертикальных движений земной коры, активности разломов и аномальных зон повышенного давления при составлении проектной и технологической документации на дальнейшую доразведку и разработку месторождения;

5) оценка пространственно-временной изменчивости режима экзогенных геологических процессов и разработка мероприятий по обеспечению эксплуатационной надежности инженерных сооружений.

Концепция создания геодинамического мониторинга базируется на следующих основных принципах: а) комплексирование геодезических, геофизических, гидрометеорологических и других методов; б) размещение измерительных комплексов с повышенной пространственно-временной детальностью наблюдений в районах с максимальными тензочувствительностью среды и уровнями техногенных нагрузок; в) сочетание профильных, обсерваторских и

дистанционных геодинамических наблюдений.

Режимные наблюдения в рамках комплексного мониторинга геологической среды территории Ямальских месторождений предусматривают следующие виды работ:

• высокоточные повторные геодезические наблюдения за разрывными тектоническими смещениями;

• режимные гравиметрические наблюдения;

• газово-эманационную съемку;

• изучение сейсмического режима территории;

• режимные термометрические наблюдения;

• режимные наблюдения за очагами развития экзогенных физико-геологических процессов.

Реализация системы мониторинга позволит контролировать изменение геодинамического состояния территории в процессе разработки месторождений, свести к минимуму риски, связанные с возникновением техногенно-индуцированных опасных геологических процессов, и в целом – обеспечить надежность эксплуатации объектов добычи и транспорта газа.