

УДК 551.2;539.3

**Прогнозные оценки оседания земной поверхности при разработке
Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения**

Ю. В. Васильев, М. С. Мимеев*, Д. А. Мисюрёв

*Западно-Сибирский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики
им. А. А. Трофимука СО РАН, г. Тюмень, Россия*

**e-mail: mimeevms@ipgg.sbras.ru*

Аннотация. Добыча углеводородного сырья сопряжена с изменением физико-механических свойств коллекторов нефти и газа под влиянием горного и пластового давлений. Деформирование коллектора вследствие падения пластового давления приводит к формированию различных природно-техногенных геодинамических и геомеханических явлений, одним из которых является образование мульды оседания земной поверхности, что приводит к нарушению устойчивости промысловых технологических объектов.

С целью обеспечения геодинамической безопасности используется комплекс работ, который включает в себя анализ геолого-промысловых показателей и геолого-тектонических моделей месторождения, дешифрирование космоснимков, выделение активных разломов, построение прогнозной модели оседания земной поверхности месторождения с выделением зон геодинамического риска.

Данная работа выполнена для оценки прогнозных параметров процессов сдвижения горных пород при отработке месторождения, так как даже несущественные нарушения в работе технологического оборудования, вызванные деформационными процессами, могут нанести значительный ущерб.

Прогноз сдвижений горных пород возможен только на основе модели деформирования коллектора, адекватно отражающей геомеханические и геодинамические процессы, происходящие в недрах. В работе представлена модель деформирования коллектора при падении пластового давления, описана ее численная реализация и выполнены расчеты схем для типовых условий разработки.

Ключевые слова: современная геодинамика; деформационные процессы; напряженно-деформированное состояние недр; геодинамическая безопасность

**Predictive estimates of subsidence of the earth's surface during
the development of the Yamburgskoye oil and gas condensate field**

Yuri V. Vasiliev, Mikhail S. Mimeev*, Denis A. Misyurev

*West Siberian Division of Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics
of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia*

**e-mail: mimeevms@ipgg.sbras.ru*

Abstract. The production of hydrocarbons is associated with a change in the physical and mechanical properties of oil and gas reservoirs under the influence of rock and reservoir pressures. Deformation of the reservoir due to a drop in reservoir pressure leads to the formation of various natural and man-made geodynamic and geomechanical phenomena, one of which is the formation of a subsidence trough of the earth's surface, which leads to a violation of the stability of field technological objects.

In order to ensure geodynamic safety, a set of works is used, which includes analysis of geological and field indicators and geological and tectonic models of the field, interpretation of aerospace photographs, identification of active faults, construction of a predictive model of subsidence of the earth's surface of the field with identification of zones of geodynamic risk.

This work was carried out to assess the predicted parameters of rock displacement processes during field development; even insignificant disturbances in the operation of technological equipment caused by deformation processes can cause significant damage.

Prediction of rock displacements is possible only on the basis of a reservoir deformation model that adequately reflects the geomechanical and geodynamic processes occurring in the subsoil. The article presents a model of reservoir deformation with a drop in reservoir pressure, describes its numerical implementation, and performs calculations of schemes for typical development conditions.

Key words: modern geodynamics; deformation processes; stress-strain state of the bowels; geodynamic safety

Введение

В соответствии с законом Российской Федерации «О недрах»¹ работы, связанные с добычей углеводородов, должны быть безопасными и обеспечивать бесперебойный технологический цикл производства с минимально возможными рисками для окружающей среды.

Чтобы оценить устойчивость горных пород, в связи с корректировкой проекта разработки продуктивных нижнемеловых залежей в 2021 году, у недропользователя Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения (ЯНГКМ) возникла необходимость в построении прогнозной модели оседания земной поверхности месторождения.

Объект и методы исследования

Ямбургское нефтегазоконденсатное месторождение открыто в 1969 году, в разработку введено в 1984 году. Территория ЯНГКМ расположена на севере Тазовского полуострова в заполярной части Западной Сибири (рис. 1).

В геологическом плане разрез ЯНГКМ состоит из песчано-глинистых пород осадочного чехла и палеозойского фундамента [1, 2].

Ямбургский лицензионный участок согласно нефтегазогеологическому районированию [3] расположен в Надымском нефтегазоносном районе Надым-Пурской нефтегазоносной области. В пределах этого лицензионного участка расположены Ямбургское нефтегазоконденсатное, Восточно-Харвутинское газовое и Харвутинское нефтяное месторождения.

¹ Закон Российской Федерации «О недрах» от 21.02.1992 № 2395-1 (с изменениями на 11.06.2021) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/9003403>.



Рис. 1. Обзорная карта района работ

Сеноманская залежь Ямбургского месторождения имеет общий контур газоносности с залежью Харвутинского месторождения — Харвутинский участок. По неокотским отложениям Харвутинское месторождение на балансе Российской Федерации числится как самостоятельный объект.

В неотектоническом отношении ЯНГКМ находится в северной части крупной Надым-Тазовской впадины, наследующей Колтогорско-Уренгойскую палеорифтовую систему (желоб) [4]. Непосредственно для района ЯНГКМ по разным источникам и методикам за неотектонический этап амплитуда поднятий интегрально (без учета колебательных движений) принимается не менее чем +120 м. На макроуровне для района ЯНГКМ также характерны унаследованное развитие и дифференциация восходящих движений, с активизацией большинства разрывов. Однако в целом тип деформаций можно охарактеризовать как пликтивный. Что касается упомянутой активизации разрывных структур, то разрывы могут быть и сквозными, и затухающими [5].

Территория месторождения дренируется реками, многочисленными малыми реками (основные — Пойлово-Яха и Хадуттэ, они текут в северо-

восточном направлении в Тазовскую губу). На водоразделах и в долинах крупных рек располагаются многочисленные озера.

Рассматриваемое месторождение находится на участке плосковолнистой, заболоченной, заозеренной Ямальской морской равнины, расположенной на правом берегу Обской губы. В инженерно-геологическом отношении территория района изысканий покрыта сплошным чехлом четвертичных отложений, которые местами перекрыты болотными отложениями. В составе отложений четвертичной системы выделяют среднечетвертичные, верхнечетвертичные отложения, голоценовые аллювиальные и болотные отложения. Суммарная мощность четвертичных отложений составляет 200–300 м.

По результатам инженерно-геологических работ на территории месторождения развиты сплошные многолетнемерзлые грунты (ММГ) толщиной 50–400 м, что значительно превышает глубину влияния инженерных сооружений. Области развития ММГ приурочены к территории заболоченной тундры, присутствуют погребенные и повторно-жильные льды.

Инженерно-геологический разрез Ямальской морской равнины до глубины 30 м представлен верхнечетвертичными морскими отложениями казанцевского горизонта (mQ_3^1kz), среднечетвертичными морскими и ледниково-морскими отложениями бахтинского надгоризонта ($m, mglQ_2^{2-4}b$). В поймах рек находятся современные аллювиальные отложения (alQ_4). Все отложения перекрыты сверху современными озерно-болотными образованиями (lbQ_4). В целом отложения сложены песками, супесями и суглинками. Отложения содержат включения органических веществ и линзы торфа. Голоценовые отложения представлены болотными (bQ_4), аллювиальными (alQ_4) отложениями и техногенными грунтами (tQ_4).

Техногенные грунты (tQ_4) представлены насыпными песками различного гранулометрического состава мощностью до 3,0 м.

Для данной территории наиболее типичными экзогенными процессами являются пучение грунтов, термокарст, термоэрозия и солифлюкция.

Добыча углеводородов является нарушением природных физических и химических равновесий, и в недрах в ходе добычи неизбежно происходят разнообразные газо- и гидродинамические процессы, которые могут привести и к перемещениям твердого вещества. Основных видов данных процессов два: пликативные и дизъюнктивные. Они приводят к формированию различных природно-техногенных геодинамических и геомеханических явлений, одним из которых является формирование мульды оседания на земной поверхности.

Пликативные процессы в преобладающем большинстве случаев отрицательные и сводятся к образованию воронки оседания в недрах, сопровождаемому вертикальными и горизонтальными смещениями на поверхности. Дизъюнктивные процессы — это образование новых и активизация природных разрывных нарушений, тектонических нарушений (разломов), повышенной трещиноватости и проницаемости.

В приповерхностных слоях литосферы (в грунтовом слое) могут происходить и активизироваться под техногенным влиянием разнообразные процессы, как правило, объединяемые понятием «экзогенные геодинамические процессы». Они очень сложны, многообразны и часто приводят к

нарушению устойчивости и эксплуатационной надежности оснований технологических зданий и сооружений.

Для оценки геодинамической безопасности месторождения используется комплекс работ, включающий в себя следующее:

- анализ основных геолого-промысловых показателей и геолого-тектонических моделей месторождения;
- линеаментный анализ топографического материала и космоснимков;
- определение проявляющих активность геологических разломов;
- построение прогнозной модели осадки месторождения;
- составление карты современной геодинамической обстановки с выделением зон геодинамического риска.

Для оценки возможных величин осадок земной поверхности необходимо построить объемную модель месторождения. Для этого анализируются структурные карты, литологические и временные сейсмические разрезы.

Прогноз осадки земной поверхности выполняется с учетом текущих и проектных падений пластового давления при эксплуатации, а также с учетом использования систем поддержания пластового давления. Это позволяет учесть возможные негативные влияния оседания земной поверхности на инфраструктуру промысла и разработать необходимые меры контроля.

С этой целью из многих математических моделей деформации массива горных пород выбирается оптимальная модель для обеспечения безопасного производства работ.

Для прогнозных оценок существует ряд математических моделей, которые характеризуют напряженно-деформированное состояние горных пород: М. Био, Дж. Гиртсма, Р. М. Нигматулина, С. А. Христиановича, Г. И. Баренблатта, Ю. А. Кашникова, С. Г. Ашихмина [5–12].

В настоящее время модель Дж. Гиртсма [7] стала классической при изучении напряженно-деформированного состояния горных пород. Данная модель основана на гипотезе, что при значительном превышении горизонтальных размеров пласта над его толщинами происходит равномерное одноосное сжатие пород-коллекторов.

Сжатие пород можно выразить через одноосный коэффициент сжатия — произведения величины относительного сжатия на единицу изменения порового давления:

$$C_m = \frac{dZ}{Z} dp. \quad (1)$$

Общая величина сжатия пласта выражается следующим образом:

$$\Delta H = \int_0^H \int_{P_{нач}}^{P_{кон}} C_m(p, z) dp dz, \quad (2)$$

где H — высота продуктивного пласта; $P_{нач}$, $P_{кон}$ — начальное и конечное пластовые давления.

В результатах исследований Дж. Гиртсма и других ученых [5, 7, 11] указывается, что при типичном падении давления для эксплуатации угле-

водородных месторождений Западной Сибири одноосный коэффициент сжатия можно принять за константу, а формулу 2 привести к виду:

$$\Delta H = \int_0^H C_m(z) \Delta p(z) dz. \quad (3)$$

Из чего следует, что величина оседания кровли продуктивного пласта зависит от толщины пласта, деформационных свойств пород, его слагающих, и величины падения пластового давления, при его разработке.

В работах [13–15] указано, что величина падения пластового давления, при добыче углеводородов, будет неравномерно изменяться по площади месторождения в зависимости от физико-механических свойств пород-коллекторов и флюида.

Коэффициент сжимаемости также будет изменяться в зависимости от петрологического состава пород, их пористости и глубины залегания [16, 17].

В работе М. Био [6] обобщены значительные объемы экспериментальных данных, указывающих, на то, что модель оседания пород-коллекторов можно упростить, сделав предположение об однородном строении пласта коллектора и приняв значение падения давления за равномерную величину [18]:

$$\Delta H = C_m \cdot \Delta p \cdot H. \quad (4)$$

Для расчета прогнозных значений оседания земной поверхности используются теория пороупругости и модель конечных элементов:

$$\Delta h(r) = -\frac{1}{\pi} C_m (1 - \nu) \frac{D}{(r^2 + D^2)^{3/2}} \Delta p V, \quad (5)$$

где r — радиальное расстояние до точки поверхности, для которой вычисляется смещение; D — глубина залегания залежи; ν — коэффициент Пуассона; V — объем пороупругой среды; Δp — величина падения пластового давления.

Для расчета прогнозных оценок взяты основные продуктивные пласты, оказывающие максимальное влияние на возможное оседание земной поверхности ЯНГКМ: ПК-1, БУ₃¹, БУ₈¹, БУ₈², БУ₈³, БУ₉¹ (рис. 2) с общим этажом нефтегазоносности от 954 до 3 250 м (таблица). Контуры прогнозных мульд оседания приняты в виде эллипса, с учетом усредненного продольного и поперечного простираения продуктивных пластов (рис. 3).

Результаты

Основными объектами ЯНГКМ, на которых ведется добыча, являются пласты ПК-1, БУ₃¹, БУ₈¹, БУ₈², БУ₈³, БУ₉¹. Их обобщенные расчетные параметры указаны в таблице.

Предположение об однородном строении пластов коллектора позволяет нам проинтегрировать формулу 5 и получить численные значения оседания земной поверхности при заданных параметрах падения пластового давления (рис. 4–6).

Обобщенные расчетные параметры продуктивных пластов

Пласт	Абсолютная отметка кровли, м	Площадь газоносности	Средняя эффективная газонасыщенная толщина	Коэффициент пористости	Начальное пластовое давление
ПК-1	–954	5 308 842	36,4	0,3	11,54
БУ ₃ ¹	–2571	500 270	9,9	0,18	27
БУ ₈ ¹	–3015	1 755 185	6,5	0,15	31,7
БУ ₈ ²	–3049	910 465	6	0,15	32
БУ ₈ ³	–3054	1 159 867	7,7	0,16	32,1
БУ ₉ ¹	–3163	361 156	4,9	0,16	33,2

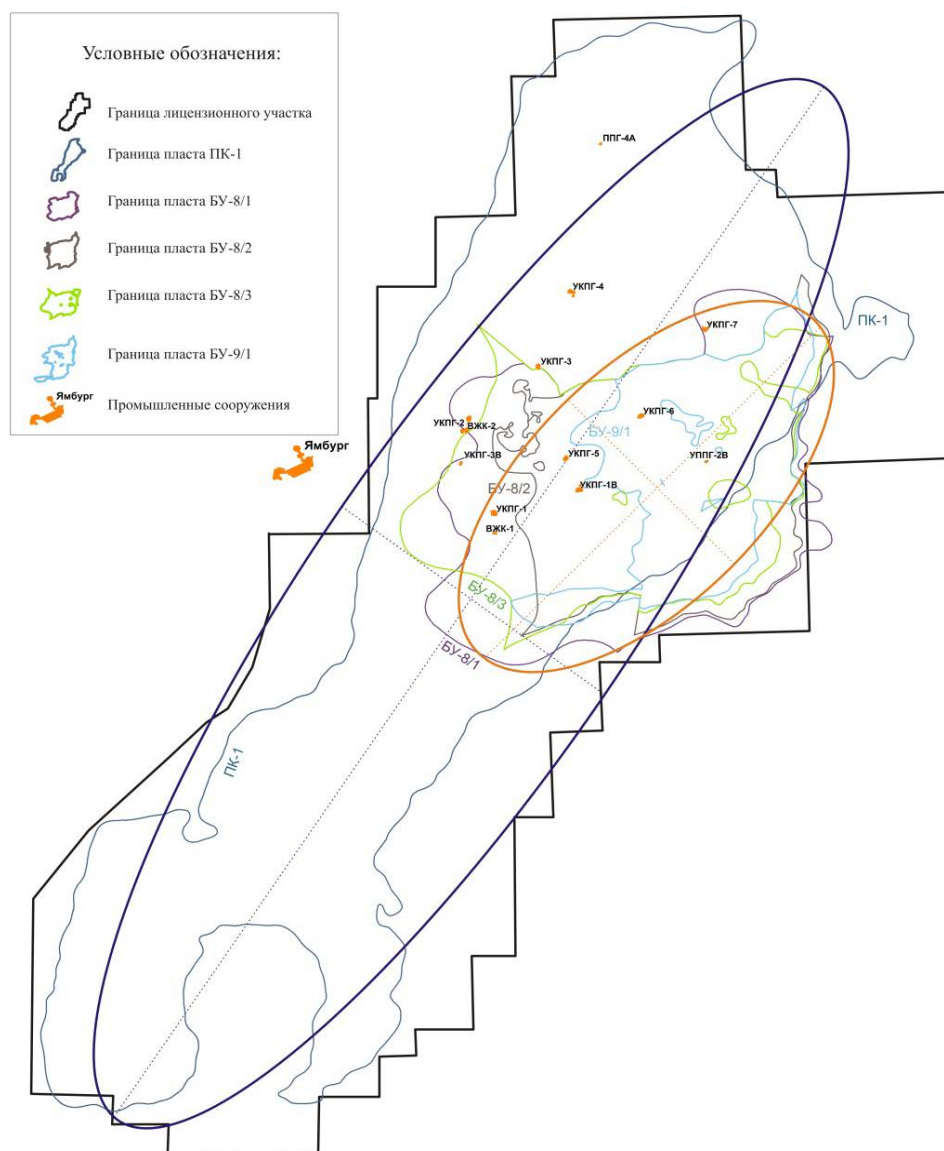


Рис. 2. Схема продуктивных пластов Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения

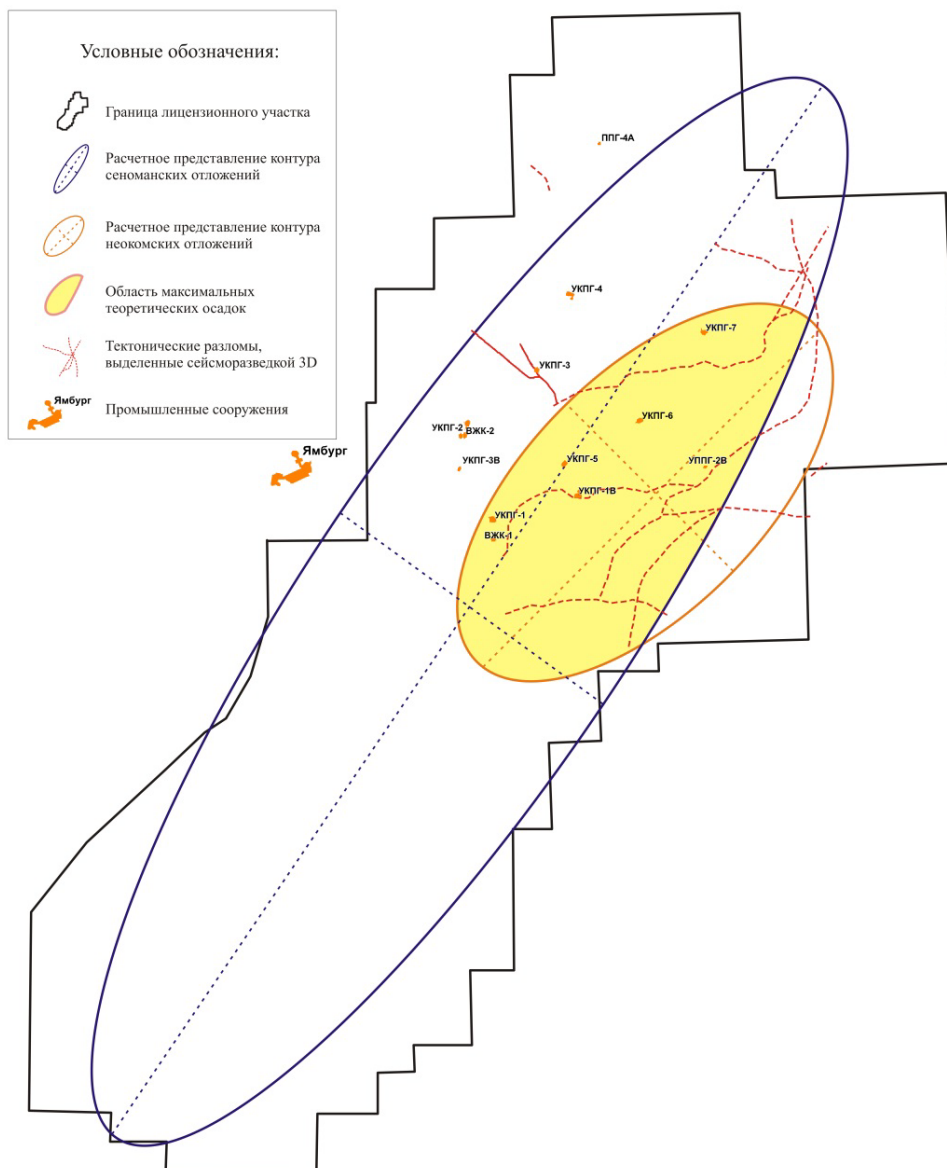


Рис. 3. **Схема прогнозной мульды оседания земной поверхности Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения**

Максимально возможная осадка земной поверхности для сеноманских отложений при падении давления на 11,4 МПа составит 73 мм. Это соответствует осадке в 6 мм на каждые 1 МПа.

Максимально возможная осадка земной поверхности для неокомских отложений при падении давления на 25 МПа составит 63 мм. Это соответствует осадке в 3 мм на каждые 1 МПа.

Суммарная максимальная возможная осадка земной поверхности в результате совместной разработки неокомских и сеноманских отложений составит 141 мм.

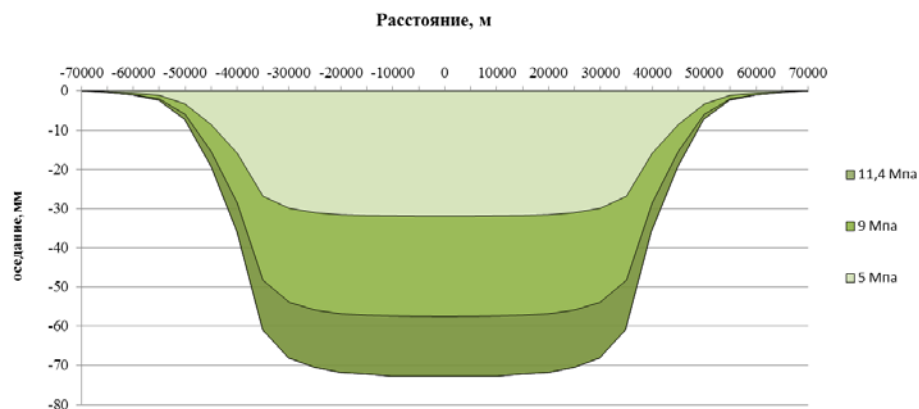


Рис. 4. Мульда оседания земной поверхности сеноманских отложений (пласт ПК-1) Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения

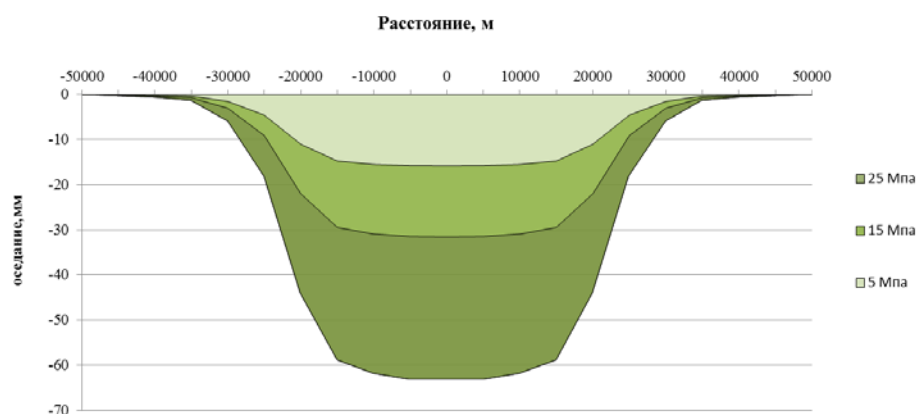


Рис. 5. Мульда оседания земной поверхности неокомских отложений (пласты $БУ_3^1$, $БУ_8^1$, $БУ_8^2$, $БУ_8^3$, $БУ_9^1$) Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения

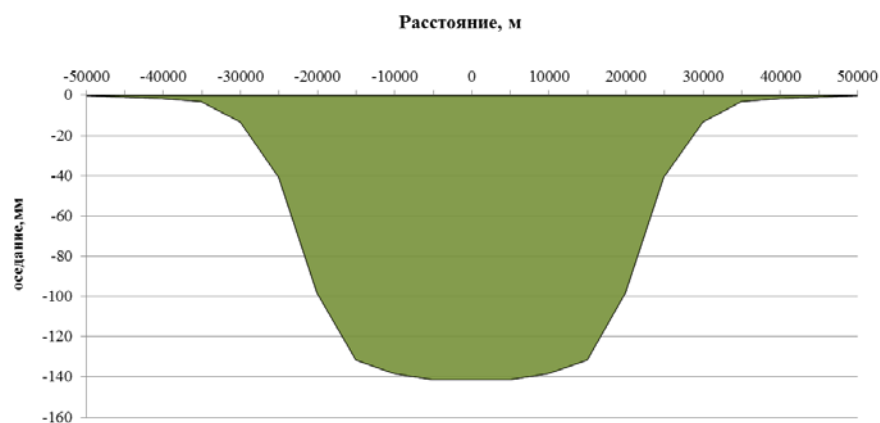


Рис. 6. Суммарная максимальная мульда оседания земной поверхности Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения

Обсуждение

В основу современных представлений о геодинамике недр и земной поверхности, при добыче полезных ископаемых, положена концепция блочной структуры горного массива, широко развитая в работах [12, 19].

Она опирается на гипотезу о том, что в такой системе постоянно существуют неравномерно распределенные напряжения, концентрирующиеся на границах таких блоков и которые могут проявлять себя различными сейсмическими явлениями. Добыча полезных ископаемых способна значительно ускорить данные процессы, увеличить их интенсивность и вызвать аварии на объектах промысла.

Исследования авторов [12, 19–21] указывают на то, что часть техногенных аварий на площадных и линейных объектах промысла происходит из-за оседания земной поверхности при добыче углеводородов. Некоторые авторы [22, 23] выявляют взаимосвязь нарушения целостности стволов скважин с деформациями горного массива при разработке месторождения.

Согласно нормативной документации², при оценке потенциального геодинамического риска следует различать три уровня современного геодинамического состояния недр: допустимый, условно допустимый и аномальный. Для этого необходимо рассчитать относительную величину деформаций

$$\varepsilon = \frac{2\Delta h_{\text{MAX}}}{L}, \quad (6)$$

где L — протяженность продуктивного пласта.

Максимальные значения относительной деформации ЯНГКМ для сеноманских отложений составят $1,8 \cdot 10^{-6}$, для неокомских отложений — $2,7 \cdot 10^{-6}$ и останутся в допустимых пределах согласно критериям³.

Суммарная максимальная относительная деформация в результате совместной разработки неокомских и сеноманских отложений Ямбургского НГКМ составит $0,6 \cdot 10^{-5}$. Согласно критериям [24], величина относительной суммарной прогнозной деформации Ямбургского НГКМ находится в условно допустимых пределах.

При выбранном нами подходе следует учитывать, что мульда оседания земной поверхности образуется преимущественно за счет деформации пород-коллекторов. Осадочные породы, расположенные «между» и «над» продуктивными пластами, за счет своих внутренних прочностных свойств, сглаживают проявление деформационных процессов, растягивая их по времени и уменьшая величину осадки земной поверхности.

Центр суммарной максимальной мульды оседания совпадает с зонами максимальных отборов и падений пластового давления. Вместе с тем возле каждого отдельного куста газовых скважин могут формироваться самостоятельные воронки оседания, которые могут накладываться друг на друга и

² РД 51-1-96. Инструкция по охране окружающей среды при строительстве скважин на суше на месторождениях углеводородов поликомпонентного состава, в том числе сероводородсодержащих (утв. Минтопэнерго России 25.01.1996, Минприроды России 10.08.1996) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_256301.

³ Там же.

создавать сложную топографическую поверхность оседания земной поверхности.

Выводы

- Результаты прогнозной оценки оседания на ЯНГКМ свидетельствуют о том, что максимально возможная осадка земной поверхности для сеноманских отложений при падении давления на 11,4 МПа составит 73 мм, максимально возможная осадка земной поверхности для неокотских отложений при падении давления на 25 МПа составит 63 мм.
- Максимальные оседания земной поверхности, полученные при выполнении прогноза для Ямбургского месторождения, как в случае отработки основного объекта, так и в случае отработки всех продуктивных объектов составят 141 мм.
- Центр прогнозной суммарной максимальной мульды оседания совпадает с зонами максимальных отборов и падений пластового давления.
- Полученные величины расчетных относительных деформаций на порядок ниже предельных деформаций по действующим нормативным документам. Однако, как показывает многолетний опыт деформационного мониторинга, при долговременной и интенсивной разработке месторождений углеводородов могут возникать неравномерные оседания земной поверхности на границах разломно-блоковых структур, которые могут приводить к технологическим авариям на площадных и линейных объектах промысла.
- На деформации земной поверхности от добычи углеводородного сырья накладываются вертикальные сдвиги от современных физико-геологических процессов при сезонном промерзании — оттаивании грунтов. В этой связи надежным способом обеспечения геодинамической безопасности является инструментальный маркшейдерско-геодезический мониторинг деформирования земной поверхности и состояния ответственных сооружений.

Библиографический список

1. Сурков, В. С. Фундамент и развитие платформенного чехла Западно-Сибирской плиты / В. С. Сурков, О. Г. Жеро. — Москва : Недра, 1991. — 143 с. — Текст : непосредственный.
2. Геология нефти и газа Западной Сибири / А. Э. Конторович, И. И. Нестеров, Ф. К. Салманов [и др.]. — Москва : Недра, 1975. — 680 с. — Текст : непосредственный.
3. Нефтегазogeологическое районирование Сибирской платформы / А. Э. Конторович, Л. М. Бурштейн, В. И. Вальчак [и др.]. — Текст : непосредственный // Интерэкспо Гео-Сибирь. — 2017. — № 1. — С. 57–64.
4. Шульц, С. С. Тектоника земной коры (на основе анализа новейших движений) / С. С. Шульц ; под редакцией В. Д. Наливкина. — Ленинград : Недра, 1979. — 272 с. — Текст : непосредственный.
5. Кузьмин, Ю. О. Геодинамический мониторинг объектов нефтегазового комплекса / Ю. О. Кузьмин, А. И. Никонов. — Текст : непосредственный // Фундаментальный базис новых технологий нефтяной и газовой промышленности : сборник статей. — Москва : ГЕОС, 2002. — С. 427–433.
6. Biot, M. A. General Solution of the Equations of Elasticity and Consolidations for a Porous Medium / M. A. Biot. — DOI 10.1115/1.4011213. — Direct text // Journal of Applied Mechanics. — 1956. — Vol. 23, Issue 1. — P. 91–96.

7. Geertsma, J. Land subsidence above compacting oil and gas reservoirs / J. Geertsma. – DOI 10.2118/3730-PA. – Direct text // Journal of Petroleum Technology. – 1973. – Vol. 25, Issue 06. – P. 734–744.
8. Нигматулин, Р. И. Основы механики гетерогенных сред / Р. И. Нигматулин. – Москва : Наука, 1978. – 336 с. – Текст : непосредственный.
9. Христианович, С. А. Механика сплошной среды / С. А. Христианович. – Москва : Наука, 1981. – 483 с. – Текст : непосредственный.
10. Хайн, В. Е. Геотектоника с основами геодинамики : учебник / В. Е. Хайн, М. Г. Ломидзе. – 2-е изд. – Москва, 2005. – 560 с. – Текст : непосредственный.
11. Mathematical model of the non-equilibrium water-oil displacement in porous strata / G. I. Barenblatt, J. Garcia-Azorero, A. De Pablo, J. L. Vázquez. – DOI 10.1080/00036819708840547. – Direct text. – Applicable Analysis. – 1997. – Vol. 65, Issue 1–2. – P. 19–45.
12. Кашников, Ю. А. Механика горных пород при разработке месторождений углеводородного сырья / Ю. А. Кашников, С. Г. Ашихмин. – Москва : ООО «Недра-Бизнесцентр», 2019. – 552 с. – Текст : непосредственный.
13. Britto, A. M. Critical state soil mechanics via finite elements / A. M. Britto, M. J. Gunn. – Direct text. – New York : John Wiley & Sons, 1987. – 488 p.
14. Charlez, F. P. Rock Mechanics. Volume 1, 2. Petroleum applications / F. P. Charlez. – 1997. – 657 p.
15. Механика горных пород применительно к проблемам разведки и добычи нефти : [сборник статей] / Под редакцией В. Мори, Д. Фурментро ; перевод с французского и английского Н. М. Проскурякова. – Москва : Мир ; Эльф Акитен, 1994. – 416 с. – Текст : непосредственный.
16. Антипов, В. И. Современные методы расчета деформации горных пород в процессе эксплуатации нефтегазовых скважин / В. И. Антипов, А. С. Кулькин, С. Г. Серебряков. – Москва : ВНИИОЭНГ, 1991. – 37 с. – Текст : непосредственный.
17. Прочность и деформируемость горных пород / Ю. М. Карташов, Б. В. Матвеев, Г. В. Михеев, А. Б. Фадеев ; под редакцией А. Б. Фадеева. – Москва : Недра, 1979. – 269 с. – Текст : непосредственный.
18. Васильев, Ю. В. Горно-геологическое обоснование необходимости создания геодинамического полигона на Поселковом месторождении ООО «РусНефть» / Ю. В. Васильев, М. С. Мимеев, Д. А. Мисюрёв. – Текст : непосредственный // Нефть и газ : опыт и инновации. – 2020. – Т. 4, № 1. – С. 15–23.
19. Кузьмин, Ю. О. Современная аномальная геодинамика недр, индуцированная разработкой месторождений нефти и газа / Ю. О. Кузьмин. – Текст : непосредственный // Фундаментальный базис новых технологий нефтяной и газовой промышленности : сборник статей. – Москва : ГЕОС, 2002. – С. 418–427.
20. Сидоров, В. А. Концепция «Геодинамическая безопасность освоения углеводородного потенциала недр России» / В. А. Сидоров, Ю. О. Кузьмин, А. М. Хитров. – Москва : 2000. – 56 с. – Текст : непосредственный.
21. Мазницкий, А. С. Прогнозирование и оценка деформаций коллектора и вмещающих его пород при разработке месторождений нефти и газа / А. С. Мазницкий, Л. М. Середницкий. – Текст : непосредственный // Геодинамическая и экологическая безопасность при освоении месторождений газа, его транспортировке и хранении. Материалы III Международного рабочего совещания. – Санкт-Петербург : ВНИМИ, 2001. – С. 210–214.
22. Гриценко, А. И. Научно-прикладные геодинамические проблемы разработки месторождений природного газа / А. И. Гриценко, Г. А. Зотов. – Текст : непосредственный // Проблемы геодинамической безопасности. – 1997. – С. 186–193.
23. Кашников, Ю. А. Допустимые и предельные деформации конструкции скважины на нефть, строящейся на территории ВКМКС / Ю. А. Кашников, С. В. Гладышев. – Текст : непосредственный // Маркшейдерский вестник. – 2002. – № 1. – С. 11–17.

References

1. Surkov, V. S., & Gero, O. G. (1991). Foundation and development of the platform cover of the West Siberian plate. Moscow, Nedra Publ., 143 p. (In Russian).

2. Kontorovich, A. E., Nesterov, I. I., Salmanov, F. K., Surkov, V. S., Trofimuk, A. A., & Erv'e, Yu. G. (1975). Moscow, Nedra Publ., 680 p. (In Russian).
3. Kontorovich, A. E., Burshtein, L. M., Valchak, V. I., Gubin, I. A., Gordeeva, A. O., Kuznetsova, E. N.,... Fomin, A. M. (2017). Petroleum-geological regionalization of the Siberian platform. *Interespo Geo-Sibir'*, (1), pp. 57-64. (In Russian).
4. Shultz, S. S. (1979). *Tektonika zemnoy kory (na osnove analiza noveyshikh dvizheniy)*. Leningrad, Nedra Publ., 272 p. (In Russian).
5. Kuz'min, Yu. O., & Nikonov, A. I. (2002). Geodinamicheskiy monitoring ob'ektov neftegazovogo kompleksa. *Fundamental'nyy bazis novykh tekhnologiy neftyanoy i gazovoy promyshlennosti*. Moscow, GEOS Publ., pp. 427-433. (In Russian).
6. Biot, M. A. (1956). General Solution of the Equations of Elasticity and Consolidations for a Porous Medium. *Journal of Applied Mechanics*, 23(1), pp. 91-96. (In English). DOI: 10.1115/1.4011213
7. Geertsma, J. (1973). Land subsidence above compacting oil and gas reservoirs. *Journal of Petroleum Technology*, 25(06), pp. 734-744. (In English). DOI: 10.2118/3730-PA
8. Nigmatulin, R. I. (1978). *Osnovy mekhaniki geterogennykh sred*. Moscow, Nauka Publ., 336 p. (In Russian).
9. Khristianovich, S. A. (1981). *Mekhanika sploshnoy sredy*. Moscow, Nauka Publ., 483 p. (In Russian).
10. Khayn, V. E., & Lomidze, M. G. (2005). *Geotektonika s osnovami geodinamiki*. Moscow, 560 p. (In Russian).
11. Barenblatt, G. I., Garcia-Azorero, J., De Pablo, A., & Vázquez, J. L. (1997). Mathematical model of the non-equilibrium water-oil displacement in porous strata. *Applicable Analysis*, 65(1-2), pp. 19-45. (In English). DOI: 10.1080/00036819708840547
12. Kashnikov, Yu. A., & Ashikhmin, S. G. (2019). *Mekhanika gornykh porod pri razrabotke mestorozhdeniy uglevo-dorodnogo syr'ya*. Moscow, Nedra-Biznestsentr LLC Publ., 552 p. (In Russian).
13. Britto, A. M., & Gunn, M. J. (1987). *Critical state soil mechanics via finite elements*. New York, John Wiley & Sons, 488 p. (In English).
14. Charlez, F. P. (1997). *Rock Mechanics. Volume 1, 2. Petroleum applications*. 657 p. (In English).
15. Mori, V., & Furmentro, D. (1994). *Rock mechanics as applied to the problems of oil exploration and production*. Moscow, Mir, Elf Akiten Publ., 416 p. (In English).
16. Antipov, V. I., Kul'kin, A. S., & Serebryakov, S. G. (1991). *Sovremennyye metody rascheta deformatsii gornykh porod v protsesse ekspluatatsii neftegazovykh skvazhin*. Moscow, VNIIOENG Publ., 37 p. (In Russian).
17. Kartashov, Yu. M., Matveev, B. V., & Mikheev, G. V. (1979). *Prochnost' i deformiruemost' gornykh porod*. Moscow, Nedra Publ., 269 p. (In Russian).
18. Vasiliev, Yu. V., Mimeev, M. S., & Misyurev, D. A. (2020). Mining-geological substantiation of the need to create a geodynamic polygon at the Poselkovoye field OOO "Russneft". *Petroleum and Gas: Experience and Innovation*, 4(1), pp. 15-23. (In Russian).
19. Kuz'min, Yu. O. (2002). *Sovremennaya anomal'naya geodinamika neдр, indutsirovannaya raz-rabotkoy mestorozhdeniy nefi i gaza*. *Fundamental'nyy bazis novykh tekhnologiy neftyanoy i gazovoy promyshlennosti*. Moscow, GEOS Publ., pp. 418-427. (In Russian).
20. Sidorov, V. A., Kuz'min, Yu. O., & Khitrov, A. M. (2000). *Kontseptsiya "Geodinamicheskaya bezopasnost' osvoeniya uglevodородnogo potentsiala neдр Rossiі"*. Moscow, 56 p.
21. Maznitskiy, A. S., & Serednitskiy, L. M. (2001). *Prognozirovanie i otsenka deformatsiy kollektora i vmeshchayushchikh ego porod pri razrabotke mestorozhdeniy nefi i gaza*. *Geodinamicheskaya i ekologicheskaya bezopasnost' pri osvoenii mestorozhdeniy gaza, ego transportirovke i khranении*. *Materialy III Mezhdunarodnogo rabocheго soveshchaniya*. St. Petersburg, pp. 210-214. (In Russian).

22. Gritsenko, A. I., & Zotov, G. A. (1997). Scientific and applied geodynamic problems of natural gas field development. Problems of geodynamic safety, pp. 186-193. (In Russian).
23. Kashnikov, Yu. A., & Gladyshev, S. V. (2002). Dopustimye i predel'nye deformatsii konstruktssii skvazhiny na neft', stroyashcheysya na territorii VKMKS. Mine Surveying Bulletin, (1), pp. 11-17. (In Russian).

Сведения об авторах

Васильев Юрий Владимирович, к. г.-м. н., старший научный сотрудник, Западно-Сибирский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, г. Тюмень

Мимеев Михаил Сергеевич, инженер, Западно-Сибирский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, г. Тюмень, e-mail: mimeevms@ipgg.sbras.ru

Мисюрёв Денис Андреевич, инженер, Западно-Сибирский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, г. Тюмень

Information about the authors

Yuri V. Vasiliev, Candidate of Geology and Mineralogy, Senior Researcher, West Siberian Division of Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen

Mikhail S. Mimeev, Engineer, West Siberian Division of Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, e-mail: mimeevms@ipgg.sbras.ru

Denis A. Misyurev, Engineer, West Siberian Division of Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen