

3
НОМЕР



ISSN 2304-9081

Электронный журнал
On-line версия журнала на сайте
<http://www.elmag.uran.ru>

БЮЛЛЕТЕНЬ

ОРЕНБУРГСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА УРО РАН



2016

УЧРЕДИТЕЛИ

УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РАН
ОРЕНБУРГСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР УРО РАН

© М.Ю. Нестеренко, А.В. Андросова, 2016

УДК 504.43

М.Ю. Нестеренко¹, А.В. Андросова²

**НЕГАТИВНЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ И ТЕХНОГЕННО-ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ
В РАЙОНАХ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРОМЫШЛЕННО-
ГРАЖДАНСКУЮ ЗАСТРОЙКУ**

¹ Оренбургский научный центр УрО РАН, Отдел геоэкологии, Оренбург, Россия

² Оренбургский государственный университет, кафедра технологии строительного производства, Оренбург, Россия

Цель. Определение влияния опасных геодинамических процессов на промышленно-гражданскую застройку.

Материалы и методы. Вычисление вертикальных смещений земной поверхности

Результаты. Максимальное расчетное оседание в центральной части Байтуганского месторождения достигает 427,5 мм.

Заключение. Добыча полезных ископаемых приводит к формированию опасных геодинамических процессов и вызывает опасные деформации земной поверхности в районе месторождения.

Ключевые слова: геодинамические процессы, деформации земной поверхности, подрабатываемые территории, проектирование зданий и сооружений.

M.Y. Nesterenko¹, A.V. Androsova²

THE NEGATIVE ANTHROPOGENIC AND TECHNOGENIC AND NATURAL PROCESSES IN THE AREAS OF OIL AND GAS IMPACT ON THE INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION

¹ Orenburg Scientific Centre UrB RAS, Department of Geoecology, Orenburg, Russia

² Orenburg State University, Department of construction technologies, Orenburg, Russia

Objective. Determination of the influence of dangerous geodynamic processes in industrial and civil construction

Materials and methods. The calculation of the vertical displacements of the earth's surface

Results. The maximum estimated subsidence in the central part of the Bai Tugansk deposit reaches 427.5 mm.

Conclusions: Mining leads to the formation of dangerous geodynamic processes and causes dangerous deformation of the earth surface in the area of the deposit.

Keywords: geodynamic processes, deformation of the earth surface undermined territories, designing buildings and structures.

Введение

Интенсивная добыча нефти и газа в крупных нефтегазоносных районах нарушает природную, в том числе геологическую, среду, значительно перестраивает гидрогазодинамические и геодинамические процессы в земной коре на глубины до десяти и более километров на площадях до не-

скольких тысяч квадратных километров. На этих территориях вследствие выемки пластов происходит сдвигание горных пород, проявляющееся на земной поверхности в виде оседаний, наклонов, прогибов, горизонтальных сдвижений и других деформаций, которые вызывают значительные повреждения и даже разрушения зданий и сооружений.

Основным фактором, определяющим уровень формирования обширных просадок земной поверхности территории месторождения, является величина деформации порового объема пласта-коллектора, вызванной падением пластового давления.

В Западном Оренбуржье, расположенном на юго-востоке Восточно-Европейской платформы, более пятидесяти лет интенсивно эксплуатируются более сотни месторождений нефти и крупнейшее в Европе Оренбургское нефтегазоконденсатное месторождение. Высокая плотность месторождений углеводородов (УВ) и интенсивная их разработка обусловили техногенные изменения в геологической среде, особенно в ее водной составляющей, на площадях до 5000 км² [1].

В результате интенсивной эксплуатации месторождений газа и нефти в связи с уменьшением пластового давления значительно изменяются давление в подземных водах, направления и скорости их движения, а также фильтрационно-емкостные и другие свойства окружающей их геологической среды, ее геодинамическое равновесие. Это приводит к формированию геодинамических процессов и многократному увеличению количества и интенсивности сейсмических событий в районах добычи УВ. Спровоцированные добычей углеводородов землетрясения уже произошли и происходят при разработке газа и нефти в районе Газли в 1976 и 1984 гг. (с магнитудой до 7), в Татарстане (в настоящее время происходит 1-2 землетрясения в год магнитудой до 4), они регистрируются на ряде месторождений в Западной Сибири, США, Канады и др. По данным наших исследований [2], на разрабатываемых месторождениях УВ в Южном Предуралье фиксируется в среднем 15-20 сейсмических события в год с магнитудой $M_L = 1-2$ и более, что в десятки раз чаще, чем за пределами месторождений.

Извлечение больших объемов газообразного и жидкого вещества при добыче УВ приводит к падению давления в газожидкостной системе месторождения, что снижает противодействие литостатическому давлению пере-

крывающих его горных пород и увеличивает опасность землетрясения, последующего проседания земной поверхности и возникновения чрезвычайных ситуаций.

Существует четыре основные формы негативных геодинамических последствий длительной разработки месторождений УВ: обширные просадки территории месторождения, техногенная и техногенно-индуцированная сейсмичность, а также активизация разломных зон, контролирующих месторождение [3].

На месторождениях может происходить интенсивное (более 1 м) обширное проседание земной поверхности на площадях порядка 100 км². Проседанию могут способствовать: значительная мощность продуктивных отложений, небольшая глубина залегания разрабатываемых интервалов геологического разреза, относительно высокая пористость пород резервуара, аномально высокое пластовое давление и его относительно быстрое снижение в процессе освоения месторождений углеводородов. Это повышает риск выхода из строя производственных объектов и может привести к серьезным негативным последствиям.

Породы-коллекторы представляют собой сложную структуру, сочетающую в себе свойства твердых тел и флюида. Соответственно, объем породы (пласта) складывается из объема пустот или пор и объема породообразующих минералов.

При отборе флюидов из пласта-коллектора происходит изменение внутреннего напряжения в пласте и возрастает воздействие веса вышележащих отложений (горного давления), что приводит к изменению структуры породы и, соответственно, уменьшению суммарного объема породы.

Целью нашего исследования явилось определение влияния опасных геодинамических процессов на промышленно-гражданскую застройку.

Материалы и методы

Для оценки максимально возможных просадок земной поверхности предполагается использовать величину вертикального смещения кровли (уменьшения мощности) разрабатываемого пласта вследствие снижения пластового давления. При этом горизонтальная составляющая смещения не учитывается.

Величина деформаций земной поверхности в районе разрабатываемых

месторождений зависит от природных тектонических условий и напряжений и техногенные напряжения могут спровоцировать значительно большие деформации и сейсмические события, чем прогнозируемые в результате техногенных изменений в земной коре.

В соответствии с СП 21.13330.2012 подрабатываемые территории подразделяются на группы в зависимости от максимальных значений деформаций земной поверхности (табл. 1) [6].

Выбор группы подрабатываемых территорий под застройку должен производиться с учетом предвиденных (возможных) деформаций земной поверхности, а также быть обоснован технико-экономическими показателями затрат на выбор оптимального конструктивного решения и мероприятий по защите зданий и сооружений от возможных разрушений.

Таблица 1. Классификация подрабатываемых территорий в зависимости от значений деформаций земной поверхности

Группа территорий	Деформации земной поверхности подрабатываемых территорий		
	Относительная горизонтальная деформация ξ	Наклон i , мм/м	Радиус кривизны R , км
I	$12 \geq \xi > 8$	$20 \geq i > 10$	$1 \leq R < 3$
II	$8 \geq \xi > 5$	$10 \geq i > 7$	$3 \leq R < 7$
III	$5 \geq \xi > 3$	$7 \geq i > 5$	$7 \leq R < 12$
IV	$3 \geq \xi > 0$	$5 \geq i > 0$	$12 \leq R < 20$

Непригодным к застройке считаются участки, на которых деформации земной поверхности по прогнозу превышают величины для I группы территорий. Участки, не пригодные для строительства, следует отводить под полосы озеленения, скверы, парки и зоны отдыха [9].

Одним из основных факторов, определяющих тектонические условия, является наличие разломов. Возникновение разломов вызвано воздействием медленно меняющегося во времени регионального поля тектонических напряжений, которое приводит к сдвиговым перемещениям смежных блоков среды.

Чаще всего разломы состоят не из единственной трещины или разрыва, а из структурной зоны однотипных тектонических деформаций, которые

ассоциируются с плоскостью разлома, то есть возникают зоны разломов. Проявляющиеся в этих зонах деформации характеризуются оседанием η , наклоном i , кривизной (выпуклость, вогнутость) ρ или радиусом кривизны $R = 1/\rho$, горизонтальным сдвижением ξ , относительной горизонтальной деформацией растяжения или сжатия ε и высотой уступа h (табл. 2).

Таблица 2. Значения коэффициента перегрузки n

Виды сдвижений и деформаций	Коэффициент n		
	обозначение	для расчета деформаций и сдвижений	
		ожидаемых	вероятных
Оседание η	n_{η}	1,2 (0,9)	1,1 (0,9)
Горизонтальное сдвижение ξ	n_{ξ}	1,2 (0,9)	1,1 (0,9)
Наклон i	n_i	1,4 (0,8)	1,2 (0,8)
Относительная горизонтальная деформация растяжения и сжатия ε	n_{ε}	1,4 (0,8)	1,2 (0,8)
Кривизна ρ	n_{ρ}	1,8 (0,6)	1,4 (0,6)
Уступ h	n_h	1,4 (0,6)	1,2 (0,8)
Скручивание s	n_s	1,8	1,4
Скашивание γ	n_{γ}	1,4	1,2

Часто деформации в разломных зонах возникают при небольших внешних воздействиях природного или техногенного характера, когда активизируются вертикальные трещины и локальные просадки вышележащей толщи в обстановке регионального растяжения.

Особое внимание при проектировании стоит уделять активным разломам, где происходят современные короткопериодические (первые месяцы и годы), пульсационные и/или знакопеременные деформации со скоростями более чем $5 \cdot 10^{-5}$ в год [4].

Интенсивные техногенные смещения (обширные просадки) земной поверхности на длительно разрабатываемых месторождениях углеводородов (более 1-2 метров) – менее распространенное явление, но с весьма опасными последствиями.

Основные и наиболее опасные формы этих последствий – сильные деформации наземных сооружений, разрыв коммуникаций, слом обсадных

колонн эксплуатационных скважин, порывы промысловых трубопроводных систем, заболачивание и затоплений опускающихся участков земной поверхности, региональное проявление оползневых процессов.

Согласно СП 11-104-97, СНиП 2.02.01 и другим документам предельно допустимые (за весь срок службы сооружений) деформации в основании объектов строительства не должны превышать:

- относительное горизонтальное сжатие или растяжение – 1 мм/м;
- наклон – 3 мм/м;
- относительная неравномерность осадок - 0,006;
- крен фундамента - 0,005.

Основным фактором, определяющим уровень формирования обширных просадок земной поверхности территории месторождения, является величина деформации порового объема пласта-коллектора, вызванной падением пластового давления. Для оценки максимальной, предельно возможной величины вертикальных смещений земной поверхности нужно предположить, что все изменения порового объема происходят за счет деформации породы в вертикальном направлении. В этом случае будет справедлива следующая формула:

$$\Delta h = m \cdot H \cdot \beta_{\text{пор}} \cdot \Delta P, \quad (1)$$

где: m – пористость;

H – эффективная толщина нефтенасыщенности;

$\beta_{\text{пор}}$ – коэффициент сжимаемости порового пространства;

ΔP – изменение пластового давления в процессе разработки.

При строительстве зданий и сооружений различного назначения на подрабатываемых и карстоопасных территориях необходимо знать характерные для них опасные геологические процессы и явления и учитывать их при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений [8].

В качестве исходного материала для оценки оседаний земной поверхности используются вертикальные геологические разрезы и структурные карты по каждому продуктивному пласту, сводный геолого-геофизический разрез, стратиграфическая колонка, а также данные о физико-механических свойствах горных пород.

Исходной основой для построения геолого-физической модели месторождения является геологическая характеристика и сводный геологический

разрез.

Одним из примеров формирования опасных техногенных геодинамических процессов является Байтуганское месторождение нефти, которое является крупнейшим на Южном Урале и расположено на границе Оренбургской и Самарской областей – в Северном, Камышлинском и Клявлинском районах.

Массив горных пород Байтуганского месторождения слагает множество различных по составу пластов. Для расчета максимально возможной величины оседаний земной поверхности использована программа для ЭВМ на основе формулы (1), реализующая метод конечных элементов. В качестве конечных элементов рассматривается относительно однородный элемент земной коры в форме прямоугольного параллелепипеда, для которого рассчитывается величина уплотнения по формуле (1). По вертикали разбиение среды на конечные элементы определяется слоями пород, а по горизонтали – блоково-разломной структурой и свойствами пород геологической среды в районе месторождения [2].

Расчетные значения деформаций земной поверхности, учитываемые при расчете зданий и сооружений как факторы нагрузки, следует определять умножением ожидаемых (вероятных) значений деформаций земной поверхности на соответствующие коэффициенты n перегрузки (табл. 2) [6].

Результаты и обсуждение

Максимальные оседания поверхности при уплотнении коллекторов при максимальном уровне падения давления по пластам приведено в таблице 3. Максимальное расчетное оседание в центральной части Байтуганского месторождения достигает 427,5 мм. Вычисление вертикальных смещений земной поверхности было выполнено для условий установившегося пластового давления в зоне размещения эксплуатационных скважин. Результаты расчетов оседаний представлены в табл. 3.

Согласно действующим нормативным документам [5] условия подработки и применения мер охраны зданий, сооружений и коммуникаций устанавливаются путем сравнения расчетных показателей деформаций в районе застройки рассматриваемых объектов с допустимыми и предельными деформациями для этих объектов. Объектами обустройства нефтяных и газовых месторождений является различное технологическое оборудование,

прежде всего трубопроводные сети различного назначения. Величины допустимых и предельных деформаций определяются нормативными документами [5].

Таблица 3. Результаты расчета максимальной величины оседаний земной поверхности на Байтуганском месторождении

Пласт	Коэффициент поперечных деформаций ν	Принятая пористость, доля	Этаж нефтеносности, м	Коэффициент сжимаемости	Падение пластового давления ΔP , МПа	dh, мм (в центральной части пласта)
A ₄	0,21	0,13	44,2	0,001923	5,6	72,8
C _{1s}	0,21	0,14	50	0,001923	5,6	215,6
B ₂	0,3	0,19	23,9	0,001923	7,0	81,8
B ₁	0,21	0,11	43	0,001923	6,67	57,3
Суммарное оседание на поверхности, мм						427,5

При проектировании зданий и сооружений для строительства на подрабатываемых и карстоопасных территориях и просадочных грунтах следует предусматривать следующие меры по охране зданий и сооружений [8]:

- планировочные мероприятия;
- конструктивные меры защиты зданий и сооружений;
- мероприятия, снижающие неравномерную осадку и устраняющие крены зданий и сооружений;
- горные меры защиты, предусматривающие порядок горных работ, снижающий деформации земной поверхности;
- геотехнические мероприятия, снижающие неравномерность деформаций основания (укрепление оснований);
- водозащитные мероприятия на территориях, сложенных просадочными грунтами;
- ликвидацию (тампонаж, закладку и т.п.) пустот старых горных выработок и карстовых провалов, находящихся на глубине до 80 м, выявленных в процессе изыскательских работ;
- мероприятия, обеспечивающие нормальную эксплуатацию наружных и внутренних инженерных сетей, лифтов и другого инженерного и

технологического оборудования в период проявления неравномерных деформаций основания.

Исходными данными для проектирования этих мероприятий являются максимальные величины ожидаемых деформаций земной поверхности на участке строительства: оседание, относительная горизонтальная деформация (растяжение-сжатие), наклон, максимальная кривизна или обратный ей минимальный радиус кривизны, горизонтальное сдвижение [7].

Однако вследствие естественной неоднородности породных массивов возможны локальные концентрации деформаций вблизи тектонических нарушений, на границах структурных блоков и т.д.

К сильнейшему негативному фактору деформации земной поверхности относится ее скорость [4]. Она может проходить в медленном режиме, при котором происходит постепенное проседание земной поверхности и имеется время для предотвращения негативных последствий. Но часто происходит спонтанное высокоамплитудное и высокочастотное изменение состояния земной поверхности, ее колебание в виде сейсмических толчков. Они, как правило, слабо проявляют себя до события и поэтому трудно предсказуемы без специального сейсмического мониторинга.

Заключение

Таким образом, исследованиями установлено, что добыча полезных ископаемых приводит к формированию опасных геодинамических процессов и вызывает опасные деформации земной поверхности в районе месторождения. Строительными нормами и правилами установлены критические значения этих деформаций для разных типов сооружений. Модель расчета и влияния деформаций земной поверхности в районе месторождений УВ, приведенные в данной статье, позволяет значительно снизить риск негативного влияния разработки месторождения на здания и сооружения. Проектами зданий и сооружений следует проводить мониторинг и прогнозирование деформаций земной поверхности, а также деформаций зданий и сооружений, в том числе в периоды их строительства, для выбора оптимального конструктивного решения и защитных мероприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нестеренко М.Ю. Геоэкология недр нефтегазоносных районов Южного Предуралья. Екатеринбург: УрО РАН, 2012. 135с.
2. Нестеренко М. Ю., Нестеренко Ю. М., Соколов А. Г. Геодинамические процессы в

разрабатываемых месторождениях углеводородов (на примере Южного Предуралья): монография. Екатеринбург: УрО РАН, 2015. 186с.

3. Гогоненков Н.Г., Эльманович С.С., Луцкина М.В. Полигональная система разрывов надсеноманской толщи в Западной Сибири. *Геофизика*. 2002. 2: 5-10.
4. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика и оценка геодинамического риска при нефтепользовании. М.: АЭН, 1999. 220с.
5. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. СПб.: Изд.ВНИМИ, 1998. 291 с.
6. СП 21.13330.2012. Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах. Введение. М.: Минрегион России, 2012. 115с.
7. Указания по проектированию зданий и сооружений на подрабатываемых территориях. Москва, 2005. 64с.
8. Золотозубов Д.Г., Пономарев А.Б., Сычкина Е.Н. Строительство на подрабатываемых и карстоопасных территориях. Учебное пособие. Пермь: Изд. ПНИПУ, 2012. 138с.
9. Территориальные строительные нормы Пермской области. Здания на подрабатываемых территориях Верхнекамского месторождения калийных солей. Назначение строительных мер защиты. Пермь, 2002. 122с.

Поступила 07.07.2016

(Контактная информация: Нестеренко Максим Юрьевич – д.г.-м.н., зав. лабораторией водных систем и геодинамики, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Оренбургский научный центр УрО РАН; адрес: г.Оренбург, ул. Набережная, 29, тел./факс 8 (3532) 770660, E-mail: n_mu@mail.ru);

Андросова Анжелика Владимировна – студент Оренбургского государственного университета; адрес: г. Оренбург, ул. Учительская, д.5, 460027, +7(919)8517278, E-mail: Angel_ka94@mail.ru)

LITERATURA

1. Nesterenko M.Ju. Geojekologija neдр нефтегазоносных рајонов Juzhnogo Predural'ja. Ekaterinburg: UrO RAN, 2012. 135s.
2. Nesterenko M. Ju., Nesterenko Ju. M., Sokolov A. G. Geodinamicheskie processy v razrabatyvaemyh mestorozhdenijah uglevodorodov (na primere Juzhnogo Predural'ja): monografija. Ekaterinburg: UrO RAN, 2015. 186s.
3. Gogonenkov N.G., Jel'manovich S.S., Luckina M.V. Poligonal'naja sistema razryvov nadsenomanskoj tolshhi v Zapadnoj Sibiri. *Геофизика*. 2002. 2: 5-10.
4. Kuz'min Ju.O. Sovremennaja geodinamika i ocenka geodinamicheskogo riska pri nedropol'zovanii. M.: AJeN, 1999. 220s.
5. Pravila ohrany sooruzhenij i prirodnyh ob#ektov ot vrednogo vlijanija podzemnyh gornyh razrobotok na ugol'nyh mestorozhdenijah. SPb.: Izd.VNIMI, 1998. 291 s.
6. SP 21.13330.2012. Zdanija i sooruzhenija na podrabatyvaemyh territorijah i prosa-dochnyh gruntah. Vvedenie. M.: Minregion Rossii, 2012. 115s.
7. Ukazanija po proektirovaniju zdanij i sooruzhenij na podrabatyvaemyh territorijah. Moskva, 2005. 64s.
8. Zolotozubov D.G., Ponomarev A.B., Sychkina E.N. Stroitel'stvo na podrabatyvaemyh i karstoopasnyh territorijah. Uchebnoe posobie. Perm': Izd. PNIPU, 2012. 138s.
9. Territorial'nye stroitel'nye normy Permskoj oblasti. Zdanija na podrabatyvaemyh territorijah Verhnekamskogo mestorozhdenija kalijnyh solej. Naznachenie stroitel'nyh mer zashhity. Perm', 2002. 122с.

Образец ссылки на статью:

Нестеренко М.Ю., Андросова А.В. Негативные техногенные и техногенно-природные процессы в районах нефтегазодобычи их влияние на промышленно-гражданскую застройку. Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2016. 3. 10с. [Электронный ресурс] (URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2016-3/Articles/MYN-2016-3.pdf>).