

1  
НОМЕР

БОНЦ

ISSN 2304-9081

ЭЛЕКТРОННЫЙ ЖУРНАЛ

On-line версия журнала на сайте

<http://www.elmag.uran.ru>

# БЮЛЛЕТЕНЬ

ОРЕНБУРГСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА УРО РАН

*Lycosa singoriensis* (Laxmann, 1770)

Тарантул южнорусский

Шовкун Д.Ф.



2019

УЧРЕДИТЕЛЬ

ОРЕНБУРГСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР УРО РАН

© М.Ю. Нестеренко, А.С. Шарапов, 2019

УДК 556.161 (470.5)

*М.Ю. Нестеренко, А.С. Шарапов*

## **ГЕОДИНАМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ И СЕЙСМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ИБРЯЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕФТИ В ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ**

Оренбургский федеральный исследовательский центр УрО РАН (Отдел геоэкологии),  
Оренбург, Россия

Уменьшение давления в водной системе при отборе УВ и его увеличение при закачке воды и других смесей нарушают природное геодинамическое состояние вмещающих горных пород, дестабилизируют динамическое равновесие между водой и твердой частью земной коры. Практическая значимость геодинамического полигона на Ибряевском месторождении нефти состоит в повышении промышленной безопасности и эффективности охраны недр, изучении напряженно-деформированного состояния земной поверхности.

*Ключевые слова:* Ибряевское месторождение нефти, геологическая среда, гидрогеодинамический режим, продуктивные толщи, Южный Урал.

---

---

*M.Y. Nesterenko, A.S. Sharapov*

## **GEODYNAMIC CONDITION AND SEISMIC ACTIVITY OF THE IBRAYAEV OIL DEPOSIT IN THE ORENBURG REGION**

Orenburg Federal Research Center, UB RAS (Department of Geoecology), Orenburg, Russia

The decrease in pressure in the water system during the extraction of hydrocarbons and its increase during the injection of water and other mixtures violate the natural geodynamic state of the host rocks, destabilize the dynamic equilibrium between water and the solid part of the earth's crust. The practical significance of the geodynamic test site at the Ibryayevskoye oil field is to increase the industrial safety and effectiveness of the protection of the subsoil, the study of the stress-strain state of the earth's surface.

*Keywords:* Ibryayevskoye oil field, geological environment, hydrogeodynamic regime, productive strata, South Ural.

### **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 нескольких тысяч квадратных километров. Создаются условия возникновения ряда экологических проблем, существенно влияющих на развитие природы и качество жизни населения в регионе [3].

Ибряевское месторождение, расположенное в Западном Оренбуржье,

имеет площадь более 42,32 км<sup>2</sup>. Вблизи Ибряевского месторождения находятся крупные разрабатываемые нефтяные месторождения – Елинское, Ново-Юласское, Кристальное, Графское, Апрельское.

Неравномерное извлечение углеводородов (УВ) во времени и по территории создает локальные понижения пластового давления и соответствующие локальные напряжения в геологической среде, которые частично разгружаются местными сейсмическими событиями. В длительно интенсивно эксплуатируемых месторождениях формируется общее пространство пониженного давления в продуктивном пласте УВ и подстилающих пластовых водах с неравномерным распределением по территории, интенсифицируя сейсмические события с большей энергией [13]. Сформированная в гидросистеме месторождения техногенная область низкого давления по законам гидродинамики распространяется в геологической среде за пределы месторождения, создавая условия для увеличения напряженности в недрах и сейсмической активности.

По результатам наблюдений ряда месторождений УВ в Южном Предуралье Отделом геоэкологии ОФИЦ УрО РАН установлено многократное увеличение сейсмической активности земной коры в районах разрабатываемых месторождений УВ. Максимальная ее активность пространственно приурочена к гидродинамическим воронкам, концентрируясь в зонах наибольшего падения пластового давления и тектонических нарушений [3].

Цель работы состоит в выявлении и оценке негативных техногенных и техногенно-природных процессов и их последствий при разработке Ибряевского месторождения нефти.

### **Материалы и методы**

В работе систематизированы данные о геологическом строении района Ибряевского месторождения, уточнена динамика пластовых вод, выполнено исследование влияния внешних техногенных воздействий на геодинамику в районе Ибряевского месторождения нефти и газа [7]. Осуществлен расчет максимально возможных деформаций земной поверхности в районе месторождения.

Ибряевская группа месторождений в структурно-тектоническом отношении приурочена к восточному погружению Ивановского выступа кристаллического фундамента (рис. 1). Ивановский выступ фундамента является по-

гребенной структурой, не выраженной ясно в осадочном чехле.

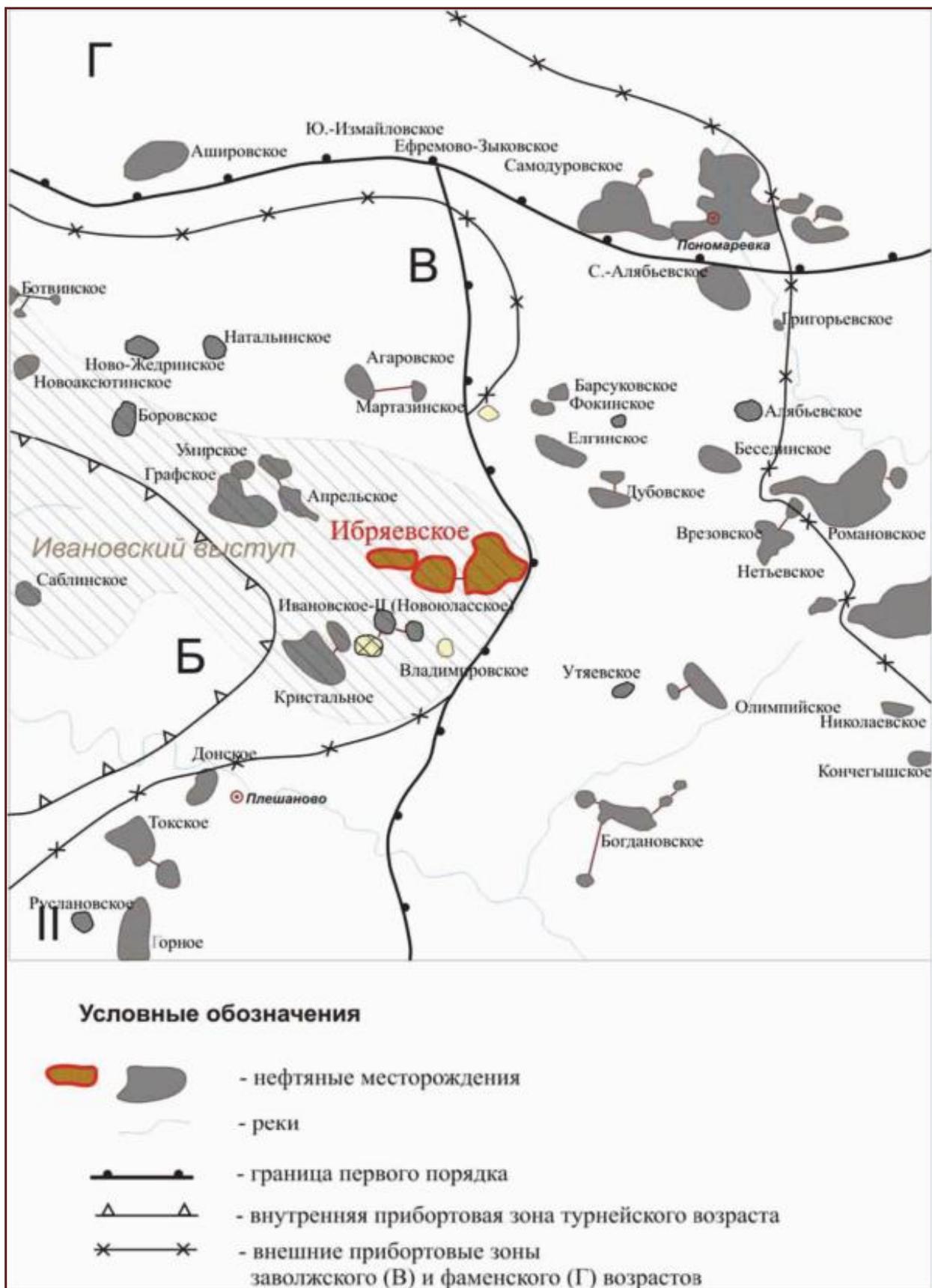


Рис. 1. Структурно-тектоническая карта района Ибряевского месторождения.

По осадочному чехлу месторождение располагается в пределах северо-восточной периферии внешней бортовой зоны Муханово-Ероховского прогиба и в северо-восточной части нижеказанского «некомпенсированного» прогиба. Муханово-Ероховский прогиб является частью Камско-Кинельской системы прогибов. Структура осадочного чехла характеризуется моноклинальным погружением слоев в юго-западном направлении с постепенным выколаживанием от древних к молодым отложениям.

По материалам поисково-разведочного и структурного бурения более детально изучено тектоническое строение каменноугольных и пермских отложений палеозойской группы. На фоне регионального погружения слоев в средне-, верхнепалеозойских отложениях выделяется Боровско-Залесская зона локальных поднятий. Составной частью этой зоны является Ибряевская структура [8].

#### **Геологическое строение продуктивных пластов.**

Ибряевское нефтяное месторождение расположено в центральной части Токско-Кинельского нефтегазоносного района, в пределах Оренбургской нефтегазоносной области Волго-Уральской нефтегазоносной провинции.

В пределах Ибряевского месторождения выделено три локальных купола, соответственно: Западный, Центральный и Восточный. Промышленные притоки нефти получены из пластов Б2 (бобриковского горизонта) и Т1 (турнейского яруса).

Нефтеносность пласта Б2 бобриковского горизонта Западного и Центрального куполов установлена в 1974 г. Залежи нефти турнейского пласта Т1 Западного, Центрального и Восточного куполов открыты в 1974-1976 гг. [12].

Начальные геологические запасы нефти Ибряевского месторождения превышают 21,3 млн. тонн. Добыча нефти ведется с применением системы поддержания пластового давления (ППД). Всего на месторождении к настоящему времени пробурено 218 скважин, из них: 19 поисково-разведочных, 186 эксплуатационных, 13 специальных, а общий пробуренный фонд на балансе предприятия составляет 206 скважин, из них: 153 добывающих, 40 – нагнетательных и 13 специальных.

Анализ геолого-промысловой характеристики месторождения позволил оценить техногенные изменения в геологической среде месторождения. При добыче УВ первичны изменения в газо- гидродинамике разрабатываемого

месторождения. Уменьшение давления в продуктивных пластах Ибряевского месторождения к 2018 г. более чем на 5 МПа распределяется в геологической среде согласно соответствующим законам гидро- и газодинамики, распространяясь внутри месторождения и за его пределы и изменяя природное гидродинамическое состояние, а затем и напряженно-деформированное состояние (НДС) горных пород.

В настоящее время, отсутствует прямое нормативное указание (*нормативные критерии*) об обязательности создания геодинамических полигонов на месторождениях УВ. Однако не существует и обратного нормативного утверждения. При этом РД 07-603-03 «Инструкция по производству маркшейдерских работ» [1] (п. 262), предписывает, в рамках выполнения комплекса маркшейдерских работ, создание системы наблюдений (геодинамический полигон) за геодинамическими и геомеханическими процессами.

Достаточным и необходимым критерием организации геодинамических наблюдений (*геодинамическим критерием*) является наличие разломных зон, что вызывает необходимость проведения геодинамических измерений для идентификации зон опасных разломов, способных в процессе эксплуатации нефтяного месторождения привести к аварийным ситуациям на нефтепромысловых и других объектах [1, 3].

При решении вопроса о создании геодинамического полигона следует учитывать технологию разработки месторождения (использование системы ППД и др.), показатели падения пластового давления, пористости пород коллекторов, глубины залегания продуктивных горизонтов и др.

Другим критерием по созданию геодинамического полигона также является наличие населенных пунктов, расположенных над залежами сводовых поднятий месторождений, опасность разрушения которых усиливается при добыче нефти, особенно при наличии активных разломных зон.

Организации наблюдений предшествует предрасчёт ожидаемых деформаций земной поверхности и сбор/анализ информации об имеющихся местах разрушения или нарушения нормальной эксплуатации объектов обустройства и иных объектов застройки площади горного отвода.

Для оценки максимальной, предельно возможной величины вертикальных смещений земной поверхности, нужно предполагать, 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;

$\Delta P$  – изменение пластового давления в процессе разработки [2].

В качестве исходного материала для оценки оседаний земной поверхности нами использованы вертикальные геологические разрезы и структурные карты по каждому продуктивному пласту, сводный геолого-геофизический разрез [12], стратиграфическая колонка, а также данные о физико-механических свойствах горных пород [2, 6, 11].

Для расчета максимально возможной величины оседаний земной поверхности разработана программа на основе формулы (1) для ЭВМ, реализующая метод конечных элементов (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2015660092 – Расчет возможных вертикальных деформаций земной поверхности на эксплуатируемых месторождения углеводородов). 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.

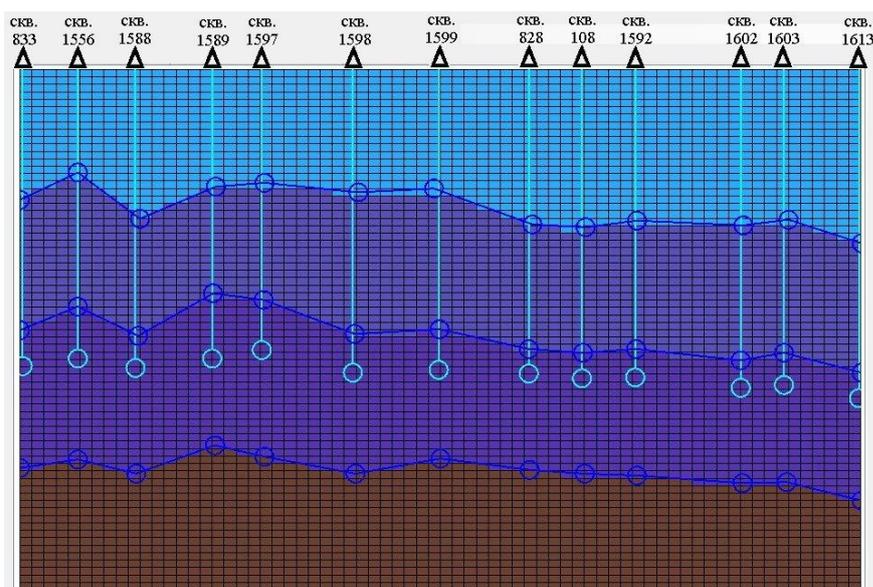


Рис. 2. Конечно-элементная модель восточного купола Ибряевского месторождения.

Форма коллекторов Ибряевского месторождения в плане близка к круговой [12], то есть имеет место осесимметричная задача, поэтому в соответствии с [2] может быть применена двухмерная модель.

При составлении расчетной схемы месторождения учитывались только основные, укрупненные элементы геологического разреза, состоящие из сходных по физико-механическим свойствам породных образований. Толщины соответствующих слоев задавались согласно данным скважин (рис. 2).

Согласно принятому проекту разработки [12], среднее пластовое давление в пластах представлено в таблице.

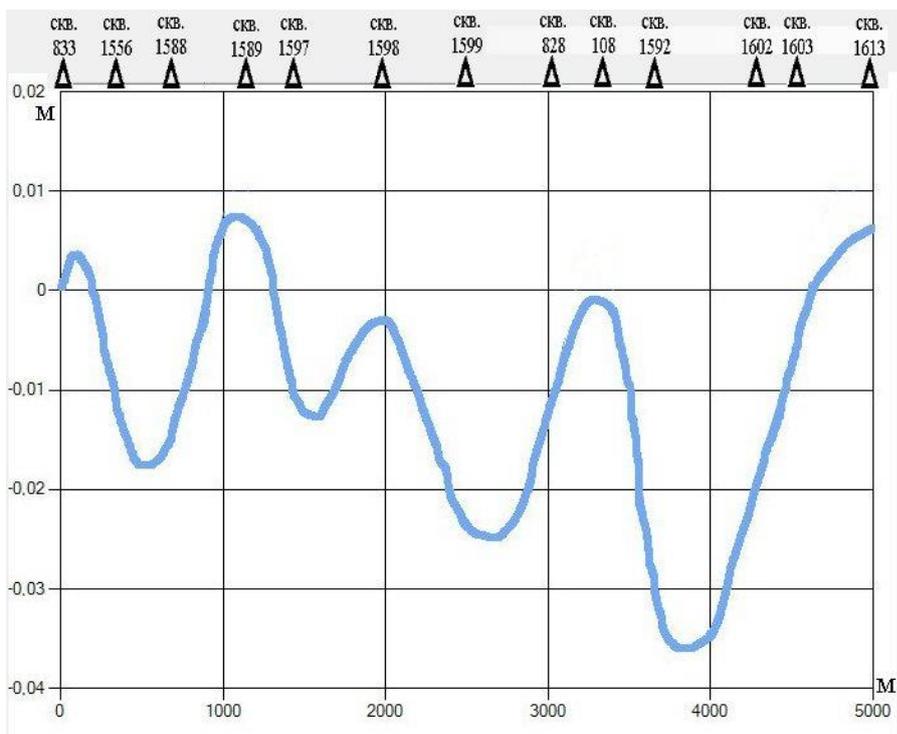
Таблица. Энергетическая характеристика объектов разработки на 01.07.2016 г.

Пласт	Средневзвешенное пластовое давление, МПа			Температура, °С	Давление насыщения, МПа	Максим. падение ΔР, МПа
	начальное	Текущее, 01.07.2016 г	ΔР к 2016г			
Б <sub>2</sub>	21,2	17,1	4,1	36	2,8	18,4
Т <sub>1</sub>	21,7	19,7	2,0	36	4,4	17,3

### Результаты и обсуждение

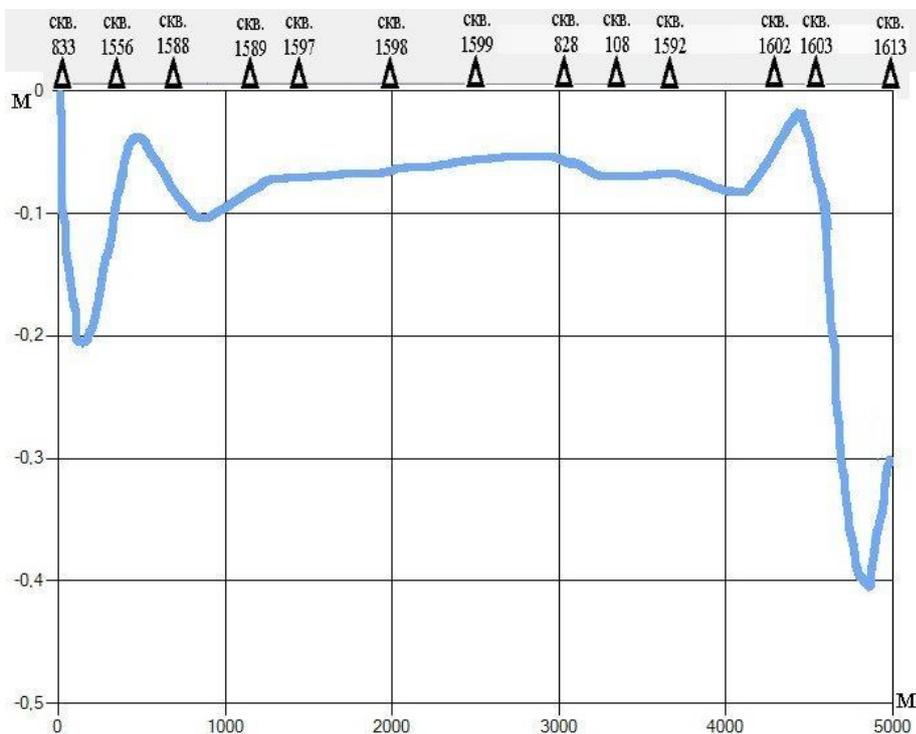
Оседание земной поверхности при уплотнении коллекторов при текущем падении пластового давления может быть оценено сверху величиной 125 мм для западного и центрального куполов и 35 мм для восточного купола (рис. 3 и 4). Оседания такой величины, распределенные по большой площади месторождения, не оказывают в настоящее время заметного влияния на состояние промышленных и гражданских сооружений и объектов инфраструктуры нефтепромыслов.

Максимальные оседания поверхности при уплотнении коллекторов при максимальном уровне падения давления по пластам приведено на рис. 3-4. Максимальное расчетное оседание при достижении давления насыщения в западном и центральном куполе Ибряевского месторождения достигает 210 мм, в восточном – 400 мм.



— - деформация, м

Рис. 3. Профиль мульды сдвижения на разрезе при текущем падении давления (восточный купол Ибряевского месторождения).



— - деформация, м

Рис. 4. Профиль мульды сдвижения при достижении давления насыщения на разрезе (восточный купол Ибряевского месторождения).

Следует отметить, что полученные значения оседаний земной поверхности носят предварительный, оценочный характер и могут изменяться при изменениях параметров и режимов разработки месторождения и поступлении более точных данных о физико-механических свойствах горных пород.

На основе изучения и прогнозирования изменений в гидрогеодинамике Ибряевского месторождения выполнена оценка максимального оседания земной поверхности, которая составляет 400 мм за всё время эксплуатации месторождения. Оседания такой величины, распределенные по площади месторождения, не могут оказать заметного влияния на состояние промышленных и гражданских сооружений и объектов инфраструктуры нефтепромыслов. Относительные вертикальные деформации составят  $0,40\text{м}/10000\text{м}=0,4 \times 10^{-4}$ . Однако в зонах тектонических разломов движения земной поверхности могут стать суперинтенсивными и достичь порядка  $10^{-3}$  за счёт пород со сниженным показателем физико-механических свойств.

Согласно РД 54-1-96 («Инструкция по охране окружающей среды при строительстве скважин на суше на месторождениях углеводородов поликомпонентного состава, в том числе сероводородсодержащих») [9], утвержденном Минтопэнерго РФ (25.01.1996) и Минприроды РФ (10.08.1996) в разделе 2 («Виды воздействия на природно-технические системы и источники загрязнения окружающей природной среды») прописано, что «При оценке потенциального геодинамического риска» уровень современного геодинамического состояния недр Ибряевского месторождения следует отнести к аномальному – величина относительного деформирования геологической среды превышает  $5 \times 10^{-5}$ , то есть горизонтальные размеры участка геологической среды длиной в 1 км изменяются во времени (в среднем за 1 год) более чем на 50 мм.

### **Заключение**

Вследствие естественной неоднородности горных массивов возможны локальные концентрации деформаций вблизи тектонических и техногенных нарушений, скважин, на границах структурных блоков и т.д. К сильнейшему негативному фактору деформации земной коры относится ее скорость. Она может проходить в медленном режиме, при котором наблюдается постепенное проседание земной поверхности и имеется время для предотвращения негативных последствий. Но нередко происходит спонтанное высокоамплитудное и высокочастотное изменение состояния земной поверхности, ее ко-

лебание в виде сейсмических толчков. Они, как правило, слабо проявляют себя до события и, поэтому, трудно предсказуемы без специального сейсмического мониторинга, но по причине своей внезапности приводят к негативным последствиям. Это обуславливает необходимость создания системы сейсмологического мониторинга на Ибряевском месторождении УВ, которая позволит выполнять прогноз негативных последствий техногенных геодинамических процессов с большой долей вероятности. В связи с близким расположением к Ибряевскому месторождению ряда других нефтяных месторождений, на которых также не осуществляется мониторинг, целесообразно проектировать и использовать систему сейсмологического мониторинга одновременно для контроля техногенной геодинамики на всех близлежащих месторождениях нефти.

В процессе эксплуатации месторождения возможно изменение геодинамического состояния недр и формирования опасных геодинамических процессов, при этом периодичность наблюдений должна быть не реже 1 раза в год в первые три года с начала реализации системы мониторинга.

В случае выявления участков Ибряевского месторождения с аномально высоким уровнем сейсмической активности (регистрируются сейсмические события  $M_l > 3$  и выделившаяся сейсмическая энергия превышает  $10^8$  Дж в год) необходимо выполнение геодезических наблюдений за движением земной поверхности с помощью GNSS-систем на месторождении.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по производству маркшейдерских работ РД 07-603-03. Утверждена постановлением Госгортехнадзора России №73 06.06.2003 г. Москва, 2003.
2. Кашников Ю.А., Ашихмин С.Г. Механика горных пород при разработке месторождений углеводородного сырья. - М.: Недра, 2007. - 486с.
3. Нестеренко М.Ю., Нестеренко Ю.М., Соколов А.Г. Геодинамические процессы в разрабатываемых месторождениях углеводородов (на примере Южного Предуралья). Екатеринбург: ОНЦ УрО РАН, 2015. 186с.
4. Нестеренко М.Ю., Карпюк М.С., Цвяк А.В., Капустина О.А. Природно-техногенная геодинамика и сейсмическая активность и их влияние на объекты повышенной опасности в Оренбургской области. Проблемы анализа риска. 2018. 15 (3): 32-39.
5. Нестеренко Ю.М., Нестеренко М.Ю., Соколов А.Г., Цвяк А.В. и др. Отчет по услуге «Проведение мониторинга современных геотектонических процессов на территории Оренбургского НГКМ» (Отчет о мониторинге сейсмических событий за 2006-2018 г.). Оренбург: ОНЦ УрО РАН, 2006-2018.
6. Осадочные горные породы (основные литологические разновидности) месторождений твердых полезных ископаемых на территории СССР. Физические свойства. ГСССД 122-88. М., 1989. 30 с.
7. Пересчет запасов нефти и газа Ибряевского месторождения Оренбургской области (с

- представлением в ГКЗ РФ). ОАО «Гипровостокнефть», Самара, 1997.
8. Подсчет запасов нефти и газа по Ибряевскому и Кристальному месторождениям Оренбургской области. Оренбургская комплексная лаборатория ВОИГ и РГИ. Оренбург, 1985.
  9. РД 54-1-96 Инструкция по охране окружающей среды при строительстве скважин на суше на месторождениях углеводородов поликомпонентного состава.
  10. Сидоров В.А., Кузьмин Ю.О., Хитров А.М. Концепция «Геодинамическая безопасность освоения углеводородного потенциала недр России». М.: Изд-во ИГиРГИ, 2000. 56 с.
  11. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород. Под ред. Н.В. Мельникова, В.В. Ржевского, М.М. Протодьяконова. М.: Недра, 1975. 279 с.
  12. Технологический проект разработки Ибряевского нефтяного месторождения. Российская Федерация ООО "Бугурусланнефть". ОАО «ТАНДЕМ», 2013 г.
  13. Hubbert M.K., Rubey W.W. Role of fluid pressure in mechanics of overthrust faulting. Geological Society of America Bulletin. 1959. Vol. 70.
  14. Nesterenko M.Yu. Natural and technogenic seismic and geodynamic activity of the Southern Urals. 12th International Conference and School Problems of Geocosmos. October 8-12, 2018. St.-Petersburg Russia. P. 126.

Получена 5 марта 2019 г.

*(Контактная информация:*

**Нестеренко Максим Юрьевич** – доктор геолого-минералогических наук, доцент, заведующий лабораторией Отдела геоэкологии Оренбургского федерального исследовательского центра УрО РАН; адрес: 460014, Оренбург, ул. Набережная, д. 29, а/я 59; Тел./факс (3532) 77-06-60; e-mail: [geoecol-onc@mail.ru](mailto:geoecol-onc@mail.ru) ;

**Шарапов Александр Сергеевич** – ведущий инженер Отдела геоэкологии Оренбургского федерального исследовательского центра УрО РАН; адрес: 460014, Оренбург, ул. Набережная, д. 29, а/я 59; Тел./факс (3532) 77-06-60; e-mail: [geoecol-onc@mail.ru](mailto:geoecol-onc@mail.ru)

---

---

## LITERATURE

1. Instructions for the production of survey work RD 07-603-03. Approved by the Resolution of the Gosgortekhnadzor of Russia No. 73 on 06.06.2003. Moscow, 2003
2. Kashnikov Yu.A., Ashikhmin S.G. Rock mechanics in the development of hydrocarbon deposits. М.: Nedra, 2007. 486s.
3. Nesterenko M.Yu., Nesterenko Yu.M., Sokolov A.G. Geodynamic processes in developed hydrocarbon fields (on the example of the Southern Urals). Ekaterinburg: ONTs UB RAS, 2015. 186 p.
4. Nesterenko M.Yu., Karpyuk MS, Tsvyak A.V., Kapustina O.A. Natural and man-made geodynamics and seismic activity and their impact on objects of increased danger in the Orenburg region. Problems of risk analysis. 2018. 15 (3): 32-39.
5. Nesterenko Yu.M., Nesterenko M.Yu., Sokolov AG, Tsvyak A.V. and others. Report on the service “Monitoring of modern geotectonic processes in the territory of the Orenburg Oil and Gas Complex” (Report on monitoring of seismic events for 2006-2018). Orenburg: ONC UB RAS, 2006-2018.
6. Sedimentary rocks (the main lithological varieties) of solid mineral deposits in the USSR. Physical properties. GSSSD 122-88. М., 1989. 30 p.
7. Recalculation of oil and gas reserves in the Ibrayevsky field of the Orenburg region (with presentation to the State Reserves Committee of the Russian Federation). ОАО Гипровостокнефть, Samara, 1997.
8. Estimation of oil and gas reserves in the Ibrayevsky and Kristalnoye fields of the Orenburg region. Orenburg complex laboratory VOGI and RGI. Orenburg, 1985.

9. RD 54-1-96 Instructions for environmental protection during the construction of wells on land in hydrocarbon fields of multicomponent composition.
10. Sidorov V.A., Kuzmin Yu.O., Khitrov A.M. The concept of "Geodynamic safety of the development of the hydrocarbon potential of the bowels of Russia". M.: Publishing house IGIRGI, 2000. 56 p.
11. Reference (inventory) of the physical properties of rocks. Ed. N.V. Melnikova, V.V. Rzhnevsky, M.M. Protodyakonova. M.: Nedra, 1975. 279p.
12. Technological project for the development of the Ibryayevsky oil field. Russian Federation LLC "Buguruslanneft". OJSC "TANDEM", 2013.
13. Hubbert M.K., Rubey W.W. Role of fluid pressure in mechanics of overtrust faulting. Geological Society of America Bulletin. 1959. Vol. 70.
14. Nesterenko M.Yu. Natural and technogenic seismic and geodynamic activity of the Southern Urals. 12th International Conference and School Problems of Geocosmos. Russia. St.-Petersburg, 2018. P. 126.

**Образец ссылки на статью:**

Нестеренко М.Ю., Шарапов А.С. Геодинамическое состояние и сейсмическая активность Ибряевского месторождения нефти в Оренбургской области. Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2019. 1: 11с. [Электр. ресурс] (URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2019-1/Articles/NYM-2019-1.pdf>) DOI: 10.24411/2304-9081-2019-11007.