

4  
НОМЕР

БОНЦ

ISSN 2304-9081

ЭЛЕКТРОННЫЙ ЖУРНАЛ

On-line версия журнала на сайте

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

# БЮЛЛЕТЕНЬ

ОРЕНБУРГСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА УРО РАН

*Cetonia aurata* (Linnaeus, 1761)

Золотистая бронзовка

Шовкун Д.Ф.



2019

УЧРЕДИТЕЛЬ

ОРЕНБУРГСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР УРО РАН

© М.Ю. Нестеренко, А.В. Цвяк, 2019

УДК 556.161 (470.5)

*М.Ю. Нестеренко, А.В. Цвяк*

## **КОМПЛЕКСНЫЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ КРУПНЫХ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ РАЙОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ GNSS-ТЕХНОЛОГИЙ**

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

В статье рассмотрены законодательные и нормативные аспекты геодинамического мониторинга на месторождениях углеводородов. Проанализированы преимущества и недостатки существующих методов контроля геодинамических процессов при разработке месторождений нефти и газа. Сделан вывод, что на месторождениях углеводородного сырья, наиболее целесообразным является мониторинг одновременно методом измерений движений земной поверхности с помощью инструментальных планово-высотных наблюдений (GNSS наблюдения) и сейсмологический мониторинг недр разрабатываемых месторождений.

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

---

---

*M.Y. Nesterenko, A.V. Tsviak*

## **COMPREHENSIVE GEODYNAMIC MONITORING OF LARGE OIL AND GAS PRODUCING AREAS USING GNSS TECHNOLOGIES**

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

The article discusses the legislative and regulatory aspects of geodynamic monitoring in hydrocarbon fields. The advantages and lack of available methods for monitoring geodynamic processes in the development of oil and gas fields are analyzed. It is concluded that at the hydrocarbon field the most appropriate is monitoring at the same time using the method of measurements on the Earth's surface using instrumental plan-height observations (GNSS-observations) and seismological monitoring of the bowels of the developed fields.

*Keywords:* oil field, oil and gas producing regions, geological environment, hydrogeodynamic regime, productive strata, South Ural.

### **Введение**

В России существуют регионы с большим количеством и плотностью разрабатываемых месторождений нефти (Республика Татарстан, Тюменская область, Оренбургская область и др.). Например, на территории Оренбургской области ведется разработка более ста месторождений углеводородного

(УВ) сырья в западной ее части. В процессе добычи нефти и газа извлекаются большие объемы вещества (жидкого и газообразного), что приводит к существенным изменениям гидродинамического состояния геологической среды в пределах и за пределами месторождений. Падение давления в водной системе при добыче УВ и его повышение при поддержании пластового давления, закачке воды и других смесей нарушают естественное геодинамическое состояние вмещающих пород и динамическое равновесие в геологической среде [10]. Циклические повышения и понижения пластового давления приводят к снижению прочностных характеристик вмещающих пород, что уменьшает их противодействие деформированию и негативным сейсмическим явлениям. Проблемы развития и проявления негативных геодинамических процессов приведены в ряде работ [5, 6, 8, 9, 11].

Выполненные ранее исследования [9, 10] показывают, что большие размеры месторождений, высокая скорость их разработки с применением методов интенсификации добычи приводят к расширению зоны техногенных нарушений геологической среды за пределы месторождений. Высокая плотность разрабатываемых месторождений УВ осложняет гидрогеодинамические процессы в недрах, происходит объединение зон техногенных изменений в геологической среде и формируется общая, большая по площади (достигающая 50 тыс. км<sup>2</sup> и более) зона техногенных нарушений.

Это вызывает необходимость одновременного геодинамического мониторинга всей группы месторождений и создания единого комплексного геодинамического полигона.

Цель работы состоит в разработке научно-методической базы комплексного геодинамического мониторинга нефтегазодобывающих территорий. Данная работа может быть выполнена на примере западной части Оренбургской области.

### **Материалы и методы**

Нормативные требования по обеспечению безопасности на разрабатываемых месторождениях УВ закреплены в ряде нормативно-правовых актов. Одним из основных требований Закона Российской Федерации «О недрах» (ст. 24) по обеспечению безопасного ведения работ, связанных с пользованием недрами, является «проведение комплекса геологических, маркшейдерских и иных наблюдений, достаточных для обеспечения нормального технологического цикла работ и прогнозирования опасных ситуаций, своевремен-

ное определение и нанесение на планы горных работ опасных зон».

Согласно «Положению о лицензировании производства маркшейдерских работ», утвержденного постановлением Правительства РФ от 28.03.2012 г. № 257, лицензионным требованием к лицензиату при осуществлении деятельности по производству маркшейдерских работ является проведение маркшейдерских наблюдений, достаточных для обеспечения нормального технологического цикла горных работ и прогнозирования опасных ситуаций, своевременное определение и нанесение на планы горных работ опасных зон в соответствии с пунктами 5-6 раздела III статьи 24 Закона Российской Федерации «О недрах».

«Положение о геологическом и маркшейдерском обеспечении промышленной безопасности и охраны недр» требует от служб главного геолога и главного маркшейдера недропользователя обеспечить: «ведение мониторинга состояния недр, включая процессы сдвижения горных пород и земной поверхности, геомеханических и геодинамических процессов при недропользовании в целях предотвращения вредного влияния горных разработок на горные выработки, объекты поверхности и окружающую природную среду».

Согласно п. 262 «Инструкции по производству маркшейдерских работ»: технический проект (программа) выполнения маркшейдерских работ включает обоснование и технические решения по созданию системы наблюдений (геодинамических полигонов) за геомеханическими, геодинамическими, а в необходимых случаях – за геокриологическими процессами» [7].

Выполненные предварительные оценки возможных деформаций показывают, что максимально возможные оседания земной коры на разрабатываемых месторождениях УВ в Оренбургской области достигают 1 м с величиной относительных деформаций до  $10^{-3}$ , поэтому ряд месторождений в результате их эксплуатации могут оказаться в аномальном состоянии недр согласно РД 54-1-96 («Инструкция по охране окружающей среды при строительстве скважин на суше на месторождениях углеводородов поликомпонентного состава, в том числе сероводородсодержащих»).

#### ***Обоснование метода контроля движений земной коры.***

Для контроля геодинамических процессов при разработке месторождений углеводородов традиционно используются маркшейдерско-геодезические наблюдения по реперам профильных линий [3, 4, 8]. Однако в связи с большой площадью территории месторождений углеводородов такие наблю-

дения занимают весьма продолжительное время, что сопровождается накоплением ошибок при увеличении числа ходов.

В последнее время вызывает интерес метод дифференциальной интерферометрии SAR, который позволяет выявлять проседания также на высоком - сантиметровом уровне точности [1-4, 12].

Технология дифференциальной интерферометрии SAR использует методы радиолокационной съемки земной поверхности, для чего используют антенны с синтезированной апертурой (SAR). Основной информацией, получаемой в результате радарной съемки, являются интенсивность и фаза (временная задержка сигнала). Повторная радарная съемка позволяет определить разность фаз, обусловленную, например, сдвижением земной поверхности. Такие смещения могут быть определены в результате обработки радарной съемки с высокой точностью. Основными источниками ошибок при вычислении деформационной составляющей разности фаз являются: погрешности орбитальных данных; временная декорреляция или временной диапазон; декорреляция, связанная с изменением покрова земной поверхности (снег, растительность); геометрические искажения и атмосферные влияния. В условиях разрабатываемых месторождений применение радарной интерферометрии крайне затруднительно, так как декорреляция, связанная с изменением растительности и покрова, будет исключительно высока. Как отдельный метод мониторинга за сдвижением земной поверхности в условиях исследуемых месторождений, радарную дифференциальную интерферометрию применить не представляется возможным.

Сейсмологический мониторинг позволяет регистрировать геодинамические процессы в недрах с оценкой их глубины непрерывно, имеет не высокую стоимость [10]. При этом в случае аномально высокой сейсмической активности контроль земной поверхности за годовой период должен дополняться маркшейдерскими геодезическими наблюдениями в требуемых точках. К недостаткам сейсмологического метода следует отнести его недостаточную распространенность, необходимость привлечения специально обученных высококвалифицированных специалистов.

Одним из наиболее эффективных методов контроля движений земной поверхности является метод, основанный на наблюдениях с помощью Глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS). Использование сети пунктов геодинамического полигона (ГДП), на которых проводятся GNSS

измерения, позволяет с достаточной (до нескольких миллиметров) точностью выявлять движения земной поверхности, а при использовании этого способа наблюдений практически отсутствует накопление ошибки [13]. Однако, все методы контроля земной поверхности позволяют лишь фиксировать произошедшие негативные геодинамические процессы как результат их проявления на поверхности и имеют слабые прогностические возможности, в отличие от сейсмологического мониторинга.

*Априорная оценка точности* GNSS наблюдений может быть проведена на основании паспортной ошибки GNSS приемников, длиной базовой линии и ошибки измерения высоты антенны. Например, при длине базовых линий на месторождениях не превышает 15 км при принятой нами величине паспортной ошибки 3,5 мм + 0,5 мм/км по высоте, величина ошибки единичного измерения не будет превышать  $\mu=11$  мм. Последующее уравнивание результатов измерений по не менее  $n=5$  базовым станциям позволит уточнить результаты равноточных измерений. По формуле Бесселя  $\mu_c = \frac{\mu}{\sqrt{n-1}} = 5,5$  мм. Данная точность удовлетворяет требованиям II класса точности нивелирования и требуемой точности измерений на ГДП месторождений.

### **Результаты и обсуждение**

В условиях больших площадей, на которых разрабатываются месторождения углеводородного сырья, наиболее целесообразным является мониторинг с одновременным использованием измерения движений земной поверхности с помощью инструментальных планово-высотных наблюдений (GNSS-наблюдения) и сейсмологического мониторинга недр разрабатываемых месторождений. Однако для сокращения затрат на первом этапе может быть выбран один из методов мониторинга как основной. На втором этапе при детальном изучении причин возникновения критических деформаций, угрожающих безопасной эксплуатации объектов нефтегазодобычи и подтверждения результатов GNSS-измерений, возможно использовать сейсмологический мониторинг и методы геометрического нивелирования с высокой точностью или сейсмологический мониторинг.

### **Заключение**

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 месторождения с аномально высоким уровнем сейсмической активности (регистрируются сейсмические события  $M_I > 3$  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. Cumming I.G., Wong F.H. Digital processing of synthetic aperture radar data. Norwood, MA: Artech House, Inc., 2005.
2. Curlander J.C., McDonough R.N. Synthetic Aperture Radar: Systems and Signal Processing. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1991.
3. Elachi C. Spaceborne Radar Remote Sensing: Applications and Techniques. New York: IEEE Press, 255, 1987.
4. Franceschetti G., Schirinzi G. A SAR Processor Based on Two-Dimensional FFT Codes," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. 1990. 26 (2): 356-365.
5. ESA TM-17, Spaceborne radar applications in Geology . Noordwijk: ESTEC, 2005.
6. Hubbert M.K., Rubey W.W. Role of fluid pressure in mechanics of overtrust faulting. Geological Society of America Bulletin. 1959. Vol. 70: 115-166.
7. Pennington W. D., Davis S. D., Carl-son S. M., Dupree J., Ewing T. E. Evolution of seismic barriers and asperities caused by the depressuring of fault planes in oil and gas of South Texas. Bulletin of the Seismological Society of America. 1986. Vol. 76: 939-948.
8. Инструкция по производству маркшейдерских работ РД 07-603-03. Утверждена постановлением Госгортехнадзора России №73 06.06.2003 г. Москва, 2003.
9. Киссин И.Г. Землетрясения и подземные воды. М.: Наука, 1982. 176 с.
10. Нестеренко Ю.М., Нестеренко М.Ю., Днистрянский В.И., Глянцев А.В. Влияние разработки месторождений углеводородов на геодинамику и водные системы Южного Предуралья. Литосфера. 2010. № 4: 28-41.
11. Нестеренко М.Ю. Нестеренко Ю.М., Соколов А.Г. Геодинамические процессы в разрабатываемых месторождениях углеводородов (на примере Южного Предуралья). Екатеринбург: УрО РАН, 2015. 186с.
12. 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.
13. Антонович К.М., Карпик А.П., Клепиков А.Н. Спутниковый мониторинг земной поверхности. Геодезия и картография. 2004. №1.
14. Цвяк А.В. Методологические основы мониторинга техногенно-природных геодинамических процессов с использованием глобальных навигационных спутниковых систем (на примере Южного Предуралья). Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 10 (52). Часть 2: 160.

*Поступила 28 октября 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: [geocol-onc@mail.ru](mailto:geocol-onc@mail.ru) ;

**Цвяк Алексей Владимирович** – к.т.н., с.н.с. 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

---

---

## **LITERATURE**

1. Cumming I.G., Wong F.H., Digital processing of synthetic aperture radar data. Norwood, MA: Artech House, Inc., 2005.
2. Curlander J.C., McDonough R.N. Synthetic Aperture Radar: Systems and Signal Processing. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1991.
3. Elachi, C., Spaceborne Radar Remote Sensing: Applications and Techniques. New York: IEEE Press, 255, 1987.
4. Franceschetti G, Schirinzi G., "A SAR Processor Based on Two-Dimensional FFT Codes," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 26, 2, pp. 356-365, 1990.
5. ESA TM-17, Spaceborne radar applications in Geology . Noordwijk: ESTEC, 2005.
6. Hubbert, M. K., Rubey W. W. Role of fluid pressure in mechanics of overthrust faulting. Geological Society of America Bulletin. 1959. Vol. 70: 115-166.
7. Pennington W. D., Davis S. D., Carlson S. M., Dupree J., Ewing T. E. Evolution of seismic barriers and asperities caused by the depressuring of fault planes in oil and gas of South Texas. Bulletin of the Seismological Society of America. 1986. Vol. 76: 939-948.
8. Инструкция по производству маршевых работ RD 07-603-03. Утверждена постановлением Госгортехнадзора России №73 06.06.2003г. Москва, 2003.
9. Kissin I.G. Землетрясения и подземные воды. М.: Наука, 1982. 176 с.
10. Nesterenko Ju.M., Nesterenko M.Ju., Dnistrjanskij V.I., Gljancev A.V. Vlijanie razrabotki mestorozhdenij uglevodorodov na geodinamiku i vodnye sistemy Juzhnogo Predural'ja. Litosfera. 2010. № 4: 28-41.
11. Nesterenko M.Ju. Nesterenko Ju.M., Sokolov A.G. Geodinamicheskie processy v razrabatyvaemyh mestorozhdenijah uglevodorodov (na primere Juzhnogo Predural'ja). Ekaterinburg: ONC UrO RAN, 2015. 186s.
12. Nesterenko M.Ju., Sharapov A.S. Geodinamicheskoe sostojanie i sejsmicheskaja aktivnost' Ibrjaevskogo mestorozhdenija nefiti v Orenburgskoj oblasti. Bjulleten' Orenburgskogo nauchnogo centra UrO RAN. 2019. 1: 11с. [Jelektr. resurs] (URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2019-1/Articles/NYM-2019-1.pdf>) DOI: 10.24411/2304-9081-2019-11007.
13. Antonovich K.M., Karpik A.P., Klepikov A.N. Sputnikovyy monitoring zemnoj poverhnosti. Geodezija i kartografija. 2004. №1.
14. Cvjak A.V. Metodologicheskie osnovy monitoringa tehnogenno-prirodnih geodinamicheskikh processov s ispol'zovaniem global'nyh navigacionnyh sputnikovyh sistem (na primere Juzhnogo Predural'ja). Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. 2016. № 10 (52). Chast' 2: 160.

### **Образец ссылки на статью:**

Нестеренко М.Ю., Цвяк А.В. Комплексный геодинамический мониторинг крупных нефтегазодобывающих районов с использованием GNSS-технологий. Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2019. 4. 6с. [Электр. ресурс] (URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2019-4/Articles/AASh-2019-4.pdf>). DOI: 10.24411/2304-9081-2019-15019