

Сведения об авторах

Бешентев Владимир Анатольевич, д. г.-м. н., профессор кафедры геологии месторождений нефти и газа, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. 89123958903, e-mail: v-a-beshentsev@ya.ru

Абдрашитова Римма Наильевна, к. г.-м. н., доцент кафедры геологии месторождений нефти и газа, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. 89224728639, e-mail: ritte@list.ru

Лазутин Николай Константинович, аспирант, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. 89129913086, e-mail: kpw@yandex.ru

Сабанина Ирина Геннадьевна, старший научный сотрудник, Западно-Сибирский институт проблем геологии нефти и газа Тюменского индустриального университета, г. Тюмень, тел. 89129228129, e-mail: ir-gen@inbox.ru

Гудкова Ангелина Аркадьевна, студент, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. 89097416675

Information about the authors

Beshentsev V. A., Doctor of Geology and Mineralogy, Professor at the Department of Geology of Oil and Gas Fields, Industrial University of Tyumen, phone: 89123958903, e-mail: v-a-beshentsev@ya.ru

Abdrashitova R. N., Candidate of Geology and Mineralogy, Associate Professor at the Department of Geology of Oil and Gas Fields, Industrial University of Tyumen, phone: 89224728639, e-mail: ritte@list.ru

Lazutin N. K., Postgraduate, Industrial University of Tyumen, phone: 89129913086, e-mail: kpw@yandex.ru

Sabanina I. G., Senior Researcher, the West Siberian Institute of Oil and Gas Geology of Industrial University of Tyumen, phone 89129228129, e-mail: ir-gen@inbox.ru

Gudkova A. A., Student, Industrial University of Tyumen, phone: 89097416675

УДК 551.2; 539.3

ТЕХНОГЕННОЕ ВЛИЯНИЕ РАЗРАБОТКИ КОМСОМОЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА СОВРЕМЕННЫЕ ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ ANTHROPOGENIC INFLUENCE OF THE KOMSOMOLSK OIL AND GAS CONDENSATE FIELD ON MODERN DEFORMATION PROCESSES

Ю. В. Васильев, Д. А. Мисюрев, А. В. Филатов

Yu. V. Vasilev, D. A. Misyurev, A. V. Filatov

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

Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, г. Калининград

Ключевые слова: современные деформационные процессы; геодинамический мониторинг; радарная интерферометрия; мюльда оседания земной поверхности; промышленная безопасность; зона геодинамического риска

Key words: modern deformation processes; geodynamic monitoring; radar interferometry; subsidence trough of the earth's surface; industrial safety; geodynamic risk zone

Комсомольское нефтегазоконденсатное месторождение (НГКМ) расположено в Пуровском районе Ямало-Ненецкого автономного округа, открыто в 1966 году и введено в разработку в 1993 году. По величине начальных извлекаемых запасов нефти и свободного газа Комсомольское месторождение является уникальным, по геологическому строению — очень сложным.

Промышленная нефтегазоносность Комсомольского месторождения связана с меловым нефтегазоносным комплексом. В настоящее время добыча углеводородного сырья ведется в интервале глубин 930–2 600 м. Верхняя залежь — газовая, средняя — газовая с нефтяной оторочкой, нижняя — нефтяная с газовой шапкой.

На месторождении два недропользователя: ООО «Газпром добыча Ноябрьск» осуществляет отбор газа из продуктивного пласта ПК₁ (сеноман); ООО «РН-Пурнефтегаз» осуществляет добычу нефти и конденсата.

На территории восточного купола месторождения расположены основные технологические сооружения нефтегазовых промыслов: установка комплексной подготовки газа (УКПГ) и дожимная насосная станция (ДНС), введено в эксплуатацию 18 кустов на добычу сеноманского газа, осуществляется разработка нефти по 139 эксплуатационным скважинам.

Для обеспечения промышленной безопасности объектов нефтегазодобычи на Комсомольском НГКМ создан геодинамический полигон с целью проведения многократных повторных наблюдений за современными деформационными процессами [1].

История создания геодинамического полигона. В 2011 году предприятием ООО «Сибирская геодезическая компания» был разработан проект геодинамического полигона Комсомольского месторождения ООО «РН-Пурнефтегаз». В 2012 году осуществлена закладка наблюдательной сети полигона (рис. 1).

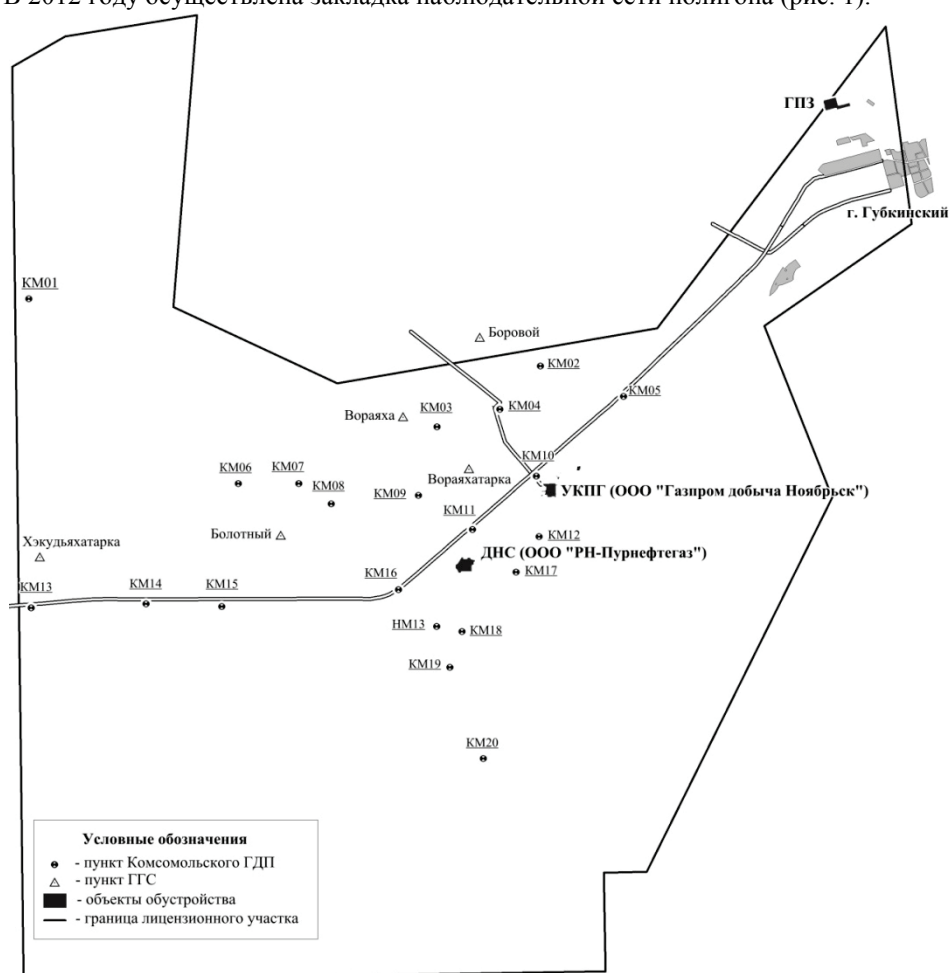


Рис. 1. Схема наблюдательной сети геодинамического полигона

В 2015 году предприятием ОАО «Авиация и прикладная экология» выполнен первый цикл маркшейдерско-геодезических исследований на геодинамическом полигоне. В 2016-м году ООО «НПП «Сибгеокарта» выполнен второй цикл наблюдений.

В 2017 году предприятием ООО «Сибирская геодезическая компания» осуществлен третий цикл геодинамического мониторинга. В это же время Западно-Сибирским филиалом Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ЗСФ ИНГГ СО РАН) выполнены работы по анализу и интерпретации результатов геодинамического мониторинга за 2015–2017 годы.

В соответствии с проектом геодинамического полигона ежегодно проводился комплекс геодезических измерений. Для определения превышений высотных от-

меток между 21 реперными пунктами выполнялось нивелирование II класса протяженностью 133 пог. км, с составлением схем нивелирования, ведомостей превышений, с оценкой точности нивелирования и уравниванием нивелирной сети [2].

Спутниковые наблюдения осуществлялись для определения координат центров глубинных реперов и направления их горизонтальных смещений, с точностью по вертикали 4,5 мм, по горизонтали 3 мм.

Анализ результатов нивелирования. Вертикальные сдвигения пунктов геодинимического полигона на Комсомольском месторождении за 2016–2017 гг., полученные методом высокоточного нивелирования для расчета деформаций земной поверхности, находились в пределах от +6 до –258 мм. Подъем высотных отметок выявлен только в двух пунктах из 21, при максимальной величине поднятия +6 мм (КМ14). Максимальные величины снижения высотных отметок зафиксированы на пунктах, расположенных в юго-восточной части месторождения: КМ03, КМ04, КМ09, КМ10, КМ11, КМ12, КМ16, КМ17, КМ18, КМ19, КМ20, НМ13. Технологические объекты Комсомольского газового и нефтегазового промысла расположены в локальной зоне оседания по изолинии –170 мм.

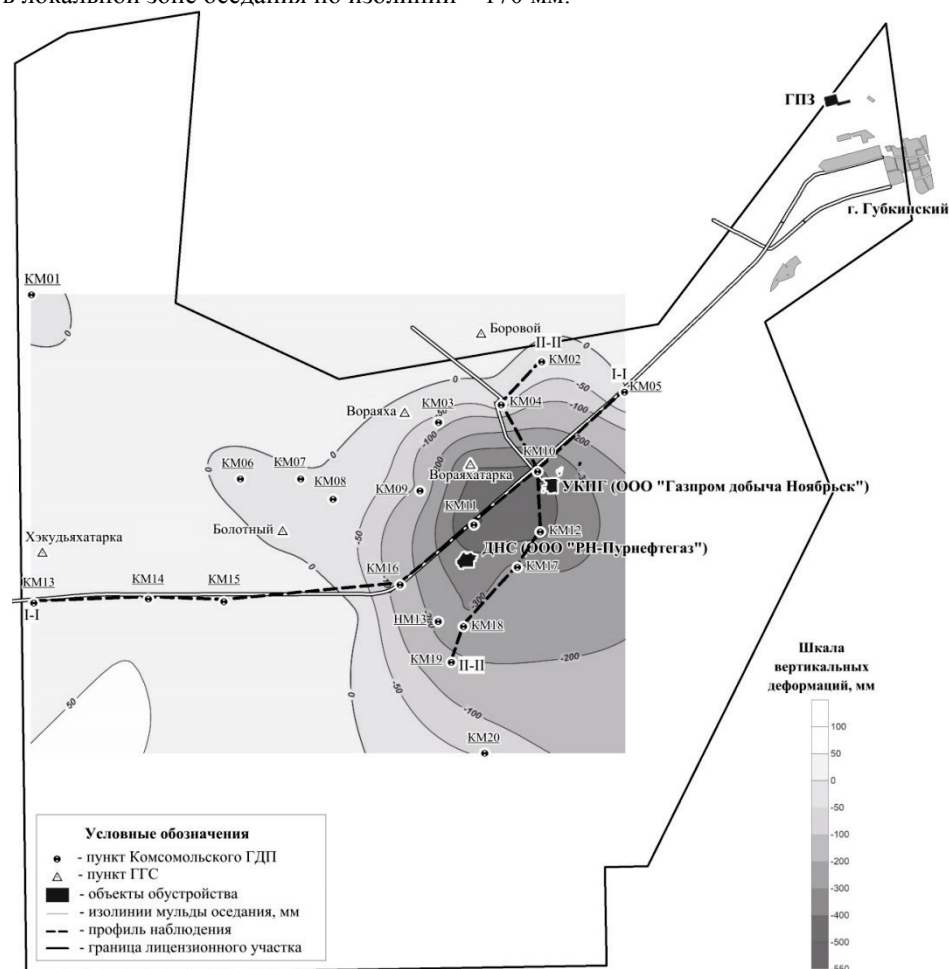
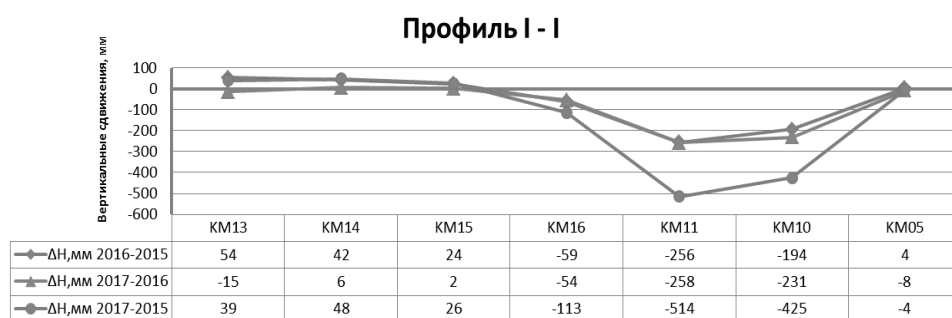


Рис. 2. Схема вертикальных деформаций наблюдательных пунктов Комсомольского геодинимического полигона за период нивелирования 2015–2017 гг.

При анализе вертикальных деформаций за три годовых цикла наблюдений с 2015 по 2017 гг. отрицательные высоты получены по большинству наблюдатель-

ных пунктов, при максимальном значении –514 мм (КМ11). Подъем высотных отметок выявлен только в пяти пунктах, при максимальном значении +48 мм (КМ14). Это свидетельствует о преобладании процесса оседания земной поверхности над подрабатываемой территорией месторождения (рис. 2). Здесь в зону локального понижения по изолинии –320 мм попадают площадные объекты нефтегазового промысла.

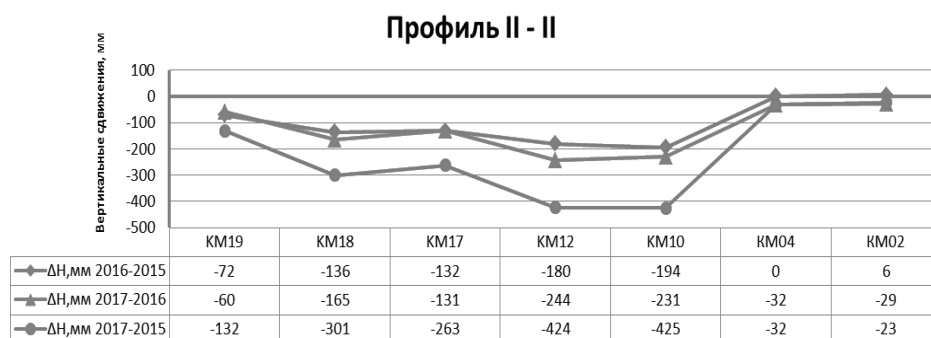
Профильная линия I-I проходит с юго-запада на северо-восток и пересекает центральную часть территории геодинамического полигона Комсомольского месторождения (см. рис. 2). Профиль берет свое начало с опорного репера КМ13 и заканчивается у опорного репера КМ05. Указанные репера расположены за контуром горного отвода месторождения. Начальная часть профильной линии характеризуется положительными высотными отметками КМ13, КМ14, КМ15, соответственно, +39 мм, +48 мм, +26 мм (рис. 3).



*Рис. 3. График вертикальных деформаций по линии профиля
КМ13–КМ14–КМ15–КМ16–КМ11–КМ10–КМ05*

Профильная линия идет параллельно автомобильной дороге и с северной стороны пересекает головные сооружения газового промысла ООО «Газпром добыча Ноябрьск» и нефтегазового промысла ООО «РН-Пурнефтегаз», где инструментальными геодезическими измерениями зафиксирована локальная зона оседания земной поверхности до –514 мм (КМ11). Общая протяженность профильной линии 24 900 м, профиль включает в себя 7 пунктов наблюдений.

Профильная линия II-II пересекает площадь геодинамического полигона с юга на север (см. рис. 2). Профиль начинается у КМ19 и заканчивается у КМ02. При этом следует отметить, что начальный и конечный репера линии расположены на площади горного отвода месторождения.



*Рис. 4. График вертикальных деформаций по линии профиля
КМ19–КМ18–КМ17–КМ12–КМ10–КМ04–КМ02.*

Анализ результатов высокоточных спутниковых наблюдений

Профильная линия на участке реперов КМ12–КМ10–КМ04 пересекает территорию главной базы газового промысла с локальной зоной оседания высотных отметок от –32 до –425 мм (рис. 4). Протяженность профильной линии II составляет 13 300 м. Профиль включает в себя 7 пунктов наблюдений.

Таким образом, анализ результатов высокоточного нивелирования позволяет сделать вывод о том, что в центральной части восточного купола месторождения выявлено локальное снижение высотных отметок до –514 мм, при этом в площади мульды оседания по изолинии –320 мм (21,75 км²) располагаются головные технологические сооружения: УКПГ и ДНС.

С целью получения оперативной информации о появлениях сдвижений и деформаций земной поверхности на Комсомольском лицензионном участке организуется и выполняется система наблюдений за геодинамическими процессами.

Сеть геодинамического полигона представлена пунктами наблюдений, на которых проводятся плановые и высотные измерения. Плановая сеть представляет собой пространственное геодезическое построение в виде сплошной сети триангуляции, пункты которой равномерно покрывают территорию месторождения и охватывают зону деформаций земной поверхности [3].

Горизонтальные сдвигения пунктов на территории Комсомольского месторождения оценивались по результатам высокоточных спутниковых наблюдений за 2015–2017 годы. Схема планово-высотной основы спутниковых наблюдений на геодинамическом полигоне Комсомольского месторождения представлена на рисунке 5. Для наблюдения за горизонтальными деформациями между циклами измерений использовались координаты, полученные в системе WGS-84.

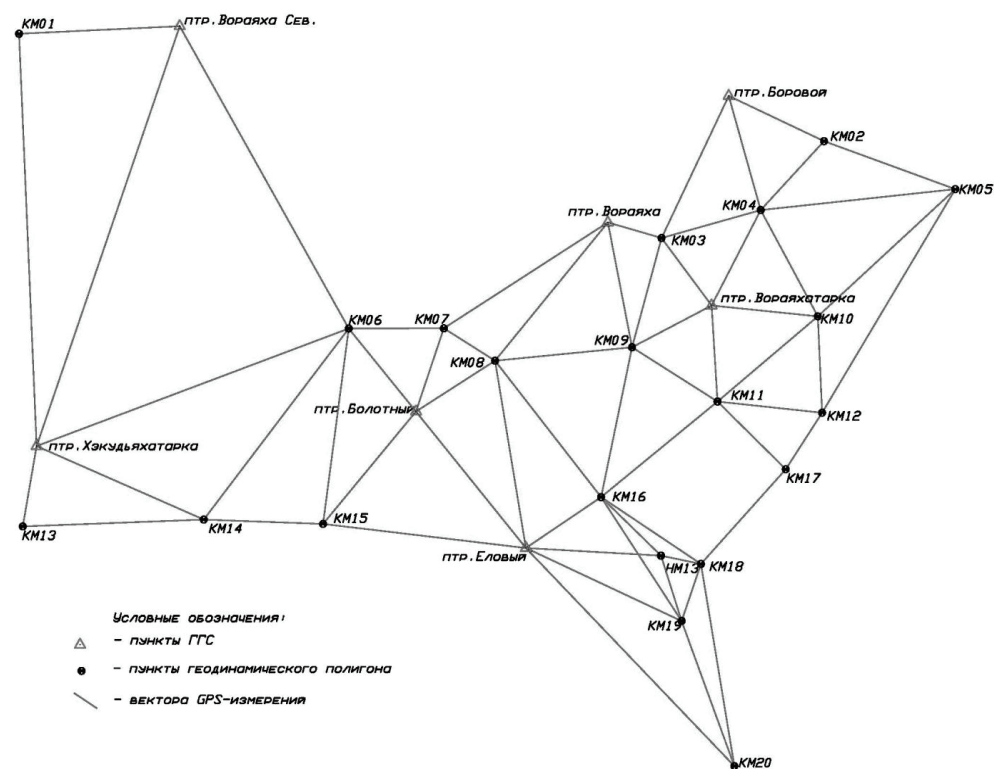


Рис. 5. Схема спутниковых наблюдений на геодинамическом полигоне Комсомольского месторождения

В графическом виде информация по смещению пунктов в плане по результатам наблюдений представлена на рисунке 6.

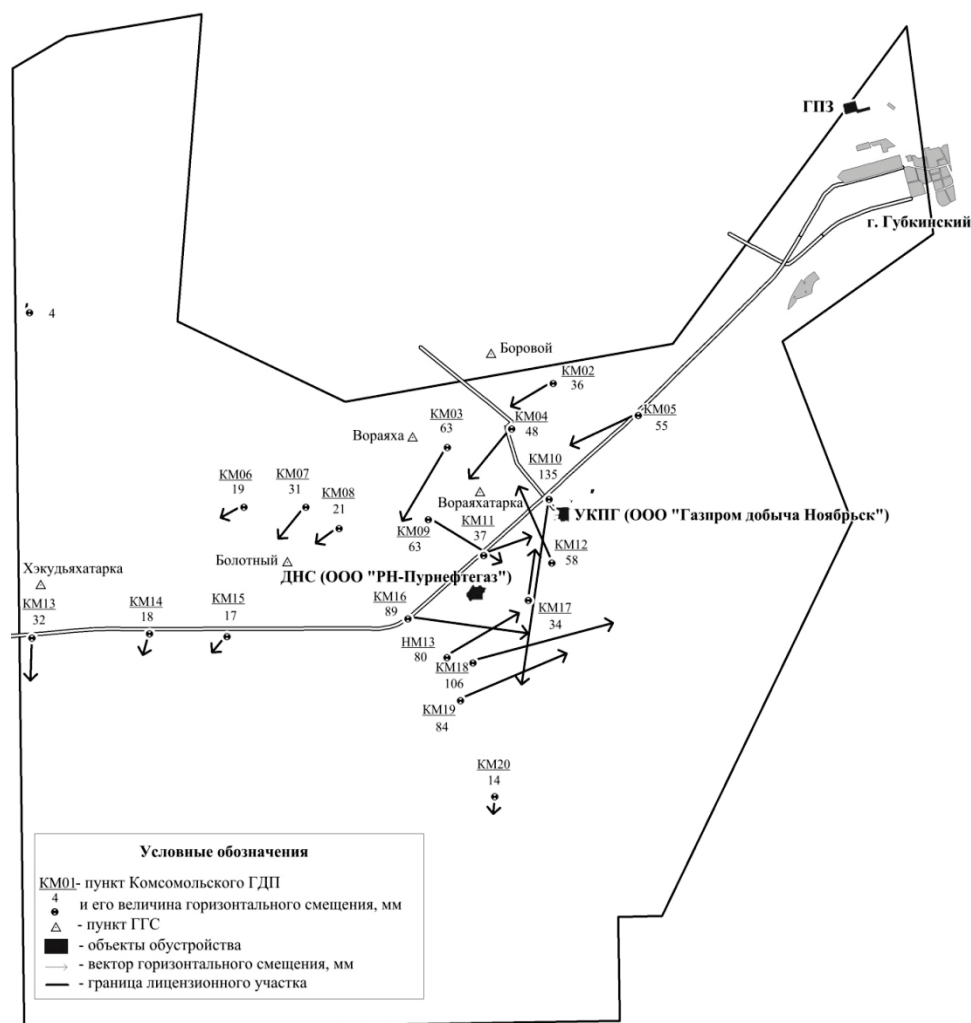


Рис. 6. Вектора смещения планового положения пунктов за период 2015–2017 гг.

При сравнении полученных координат пунктов в двух циклах наблюдений за 2015–2017 гг. разница в плане достигала от 4 до 135 мм. Максимальное значение горизонтальных сдвижений 135 мм наблюдалось на пункте KM10. При этом вектора горизонтальных деформаций имеют преимущественно юго-западную ориентировку.

Для оценки возможного негативного влияния горизонтальных сдвижений на устойчивость технологических сооружений Комсомольского промысла были выполнены расчеты относительных деформаций. Вычисление максимального значения относительных деформаций за 2015–2017 гг. на пункте KM10 с максимальным горизонтальным смещением 135 мм выполнено с учетом расстояния до близлежащего пункта KM12 (2 300 м). Расчетное значение относительной горизонтальной деформации составило $5,86 \cdot 10^{-5}$, что на два порядка ниже предельных и допустимых значений 1×10^{-3} согласно СП 22.13330.2011 [4].

Мониторинг деформационных процессов методом радарной интерферометрии. Интерферометрическая обработка радиолокационной съемки с повторных

орбит космического аппарата — это современный способ дистанционного зондирования, позволяющий получить цифровую модель рельефа и схему динамики подстилающих покровов за время между съемками.

Данный метод исследований является дополнением к геодезическим измерениям для подтверждения и уточнения цифровой модели местности, уточнения нулевой изогипсы (границы мульды) оседания, получения площадных оценок вертикальных деформаций земной поверхности [5].

В материалах дистанционного зондирования земли использованы данные многопроходной радиолокационной съемки с европейских спутников Sentinel-1A, Sentinel-B среднего пространственного разрешения, что позволяет проводить ежегодный мониторинг земной поверхности нефтегазовых месторождений и обнаруживать локальные деформации.

Съемка выполнена с нисходящих орбит космического аппарата (пролет с севера на юг) в TOPSAR с пространственным разрешением 3 м в направлении наклонной дальности (поперек трассы спутника) и 22 м в направлении азимута (вдоль трассы спутника). Длина волны зондирующего излучения радиолокатора составляет 5,6 см (С-диапазон). Вследствие того, что снежный покров для данной длины волны оказывает маскирующее воздействие и снижает когерентность разновременных радиолокационных сигналов, снимки в снежный период исключены из обработки.

На рисунке 7 представлена карта вертикальных деформаций земной поверхности, показывающая развитие оседаний в течение интервала наблюдений.

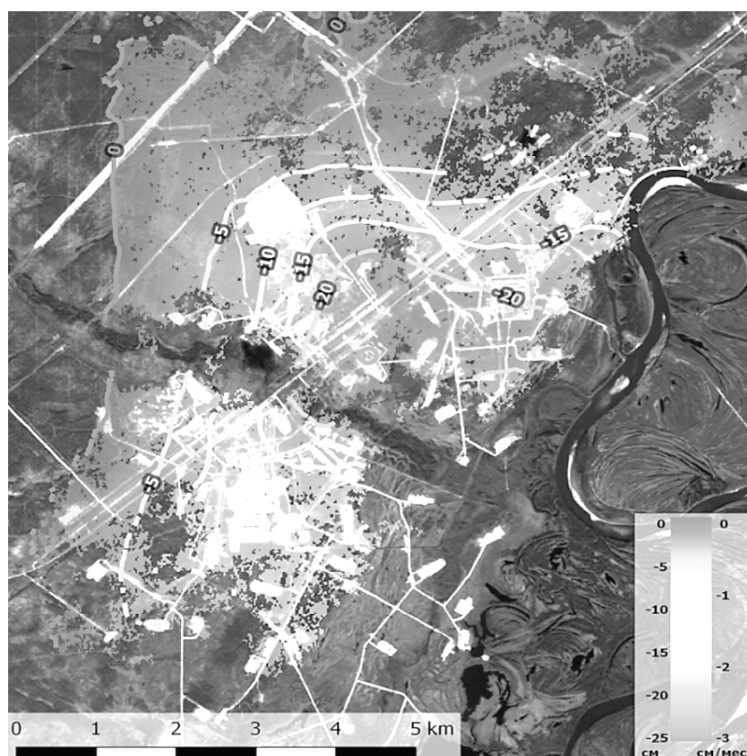


Рис. 7. Вертикальные смещения на территории Комсомольского месторождения за период с 29.09.2016 по 08.06.2017 (252 дня)

Анализ полученных построений позволил оценить локальное оседание, накопленное в течение всего интервала наблюдений для центральной области. График

указывает на наличие процесса оседания земной поверхности с постоянной скоростью 3 см/месяц (рис. 8).

Таким образом, по результатам интерферометрической обработки снимков за период с 06.07.2016 по 20.06.2017 в юго-восточной части Комсомольского месторождения подтверждена локальная зона оседания земной поверхности с максимальной величиной до –250 мм, ранее выявленная нивелированием II класса.

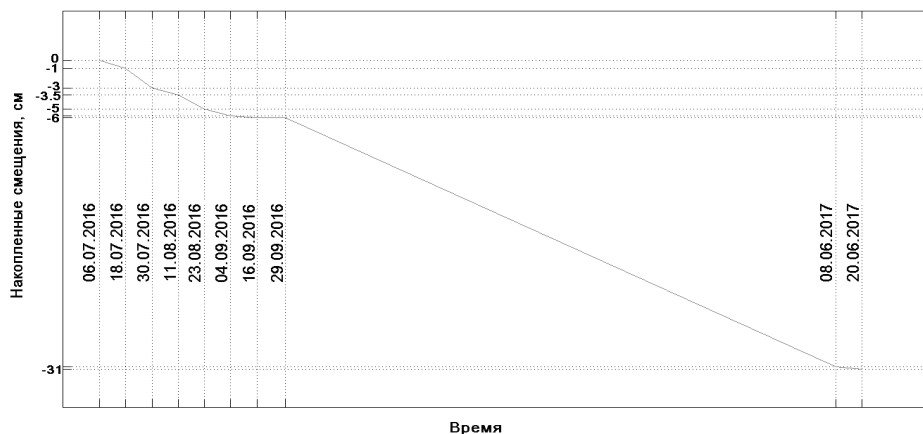


Рис. 8. График накопленных вертикальных смещений для центральной части мульды оседания

Анализ техногенной нагрузки на недра. Научно-практический опыт геодинамического мониторинга свидетельствует о том, что интенсивная эксплуатация нефтегазовых месторождений приводит к снижению первоначального высокого пластового давления. Результаты инструментальных геодезических исследований деформаций земной поверхности подтверждают, что величина оседания так или иначе увязывается с величиной уплотнения коллектора. Именно деформирование порового пространства и минерального скелета коллекторов, вследствие падения пластовых давлений, является основной причиной самого уплотнения и деформаций окружающих пород [6].

Краткий анализ истории разработки и эксплуатации Комсомольского месторождения свидетельствует о том, что происходит преимущественно падение пластовых давлений по основным объектам разработки. Это создает условия для снижения высотных отметок земной поверхности. Следует отметить, что при разработке сеноманской залежи пласта ПК₁ за период с 1993 по 2015 гг. пластовые давления от начального 9,7 МПа снизились до 1,6 МПа (на 70 %). При этом именно в центральной части восточного купола зафиксированы наибольшие отборы газа — до 25 млрд м³/год.

Анализ и интерпретация результатов маркшейдерско-геодезических измерений на Комсомольском геодинамическом полигоне с учетом данных геолого-промыслового мониторинга выполнены для определения степени техногенного влияния разработки на деформационные процессы, поскольку прослеживается взаимосвязь процесса оседания земной поверхности с динамикой пластовых давлений по основному пласту разработки ПК₁ (сеноман).

Сопоставительный анализ результатов нивелирования, интерферометрии, геолого-промысловых показателей свидетельствует о высокой корреляционной связи по совпадению зоны наибольших деформаций восточного купола с зоной максимальных депрессий и отборов газа, что подтверждает техногенное участие в формировании мульды оседания (рис. 9).

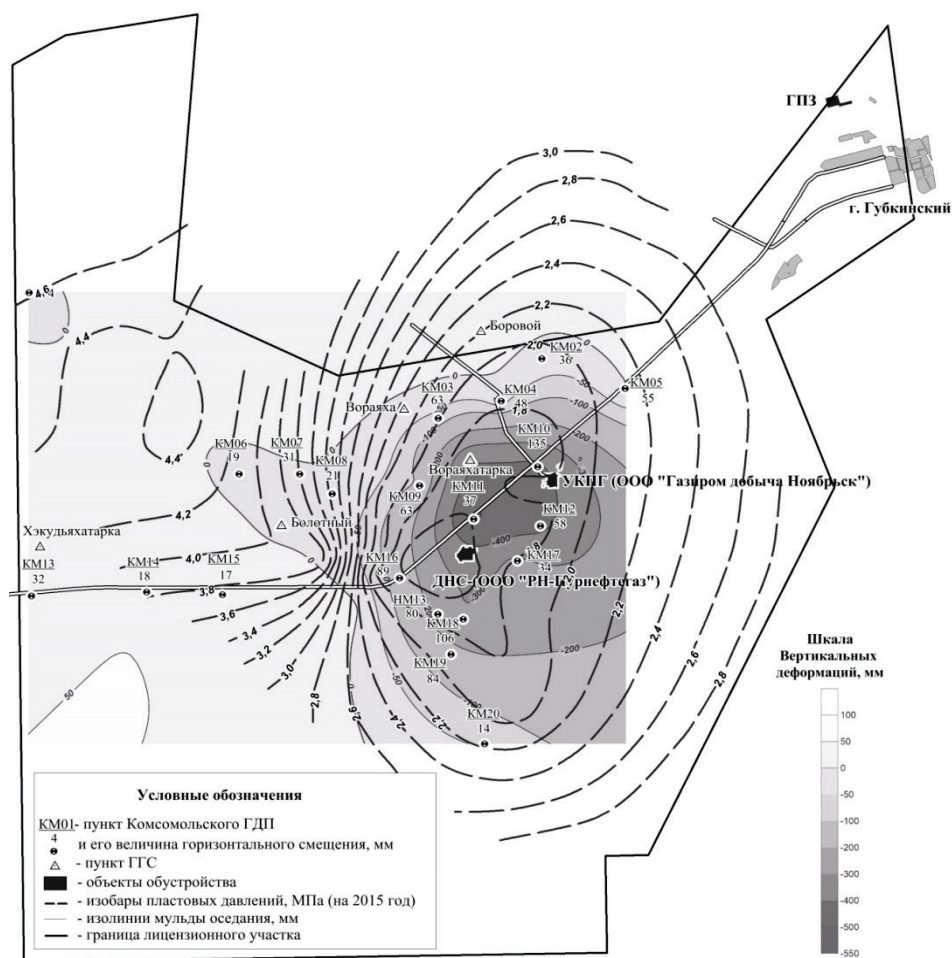


Рис. 9. Схема совмещения изолиний муьды оседания с изобарами пластовых давлений по пласту ПК₁ (сеноман)

Выводы

- За три годовых цикла высокоточных измерений (с 2015 по 2017 годы), полученных методом геометрического нивелирования II класса, выявлены снижения высотных отметок по большинству наблюдательных пунктов. В восточной части лицензионного участка выявлена локальная зона оседания земной поверхности с максимальным значением –514 мм. Это свидетельствует о стабильном процессе оседания земной поверхности над подрабатываемой территорией Комсомольского месторождения со скоростью более 100 мм/год.
- Анализ и интерпретация результатов геодинамического мониторинга позволили определить, что условием формирования современных деформаций земной поверхности является техногенный фактор, поскольку выявлена взаимосвязь формирования локальной муьды оседания земной поверхности в восточной части месторождения с динамикой накопленных отборов газа и падения пластовых давлений по основному продуктивному пласту ПК₁ (сеноман).
- Инструментальными геодезическими наблюдениями и радарной интерферометрией по космическим снимкам Sentinel-1A, Sentinel-B выявлена и подтверждена локальная зона геодинамического риска, где по изолинии –320 мм располагаются основные технологические объекты газового и нефтегазового Комсомольского промысла.

- Для обеспечения промышленной безопасности, эксплуатационной надежности, долговременной эксплуатации зданий и сооружений нефтегазового комплекса рекомендуется предусмотреть выполнение работ по геотехническому мониторингу по осадочным маркам и маякам на зданиях и сооружениях высокого уровня ответственности.

Библиографический список

1. РД 07-603-03. Инструкция по производству маркшейдерских работ / Госгортехнадзор России. – 2004.
2. ГКИНП (ГНТА)-03-010-02. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. – М.: Роскартография (ЦНИИГАиК), 2003.
3. ГКИНП (ОНТА)-02-262-02. Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем. – М., 2002.
4. СП22.133330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*.
5. Васильев Ю. В., Филатов А. В. Выявление зон локальных деформаций методом радарной интерферометрии по результатам мониторинга на Самотлорском геодинамическом полигоне // Маркшейдерский вестник. – 2016. – № 3. – С. 38–46.
6. Кашников Ю. А., Ашихмин С. Г. Механика горных пород при разработке месторождений углеводородного сырья. – М.: Недра, 2007. – 466 с.

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, тел. 89044968355, e-mail: radan92@list.ru

Мисюрев Денис Андреевич, инженер, Западно-Сибирский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, г. Тюмень, тел. 89526896682

Филатов Антон Валентинович, к. ф.-м. н., ведущий научный сотрудник, Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, г. Калининград, тел. 89814521179, e-mail: addmail9@gmail.com

Information about the authors

Vasilev Yu. V., 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, phone: 89044968355, e-mail: radan92@list.ru

Misyurev D. A., Engineer, West Siberian Division of Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, phone: 89526896682

Filatov A. V., Candidate of Physics and Mathematics, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, phone: 89814521179, e-mail: addmail9@gmail.com

УДК 553.982.2

ЗАПАДНО-СИБИРСКАЯ НЕФТЬ: ИСТОРИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ **WEST SIBERIAN OIL: HISTORY AND PROSPECTS**

Н. П. Запивалов

N. P. Zapivalov

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск

«Сибирь — это величайшее богатство России и залог ее благополучия. Мы еще поверхностно знаем, что она в себе таит. С годами будет выявлено очень и очень многое. Поэтому мы должны думать, как нам лучше все это выявить и сберечь»
C. Н. Перих, 1984 г.

«Древний нефтяной Азербайджан — ориентир и пример для сибиряков»
Н. П. Запивалов, К. А. Шпильман «Будет Сибирское Баку», г. Новосибирск, 1963 г.

Ключевые слова: 70-летие западно-сибирской нефти; новосибирские геологоразведчики; открытие XX века
Key words: 70th anniversary of West Siberian oil; geological prospectors from Novosibirsk; the find of the XX century

Азербайджан: древнейшая нефть планеты

Еще до нашей эры нефть получали в местах естественного выхода и в небольших «закопушках». Использовали ее для разных целей, включая и лечебные про-