

УДК 551.2;539.3

Анализ результатов геодинамического мониторинга на Когалымском месторождении ООО «ЛУКОЙЛ-АИК»

Ю. В. Васильев¹, Д. А. Мисюрёв^{1*}, Д. П. Иноземцев¹, П. И. Бежан²

¹*Западно-Сибирский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, г. Тюмень, Россия*

²*ООО «ЛУКОЙЛ-АИК», г. Когалым, Россия*

**e-mail: denis.misyrev@gmail.com*

Аннотация. В целях обеспечения промышленной безопасности объектов нефтегазодобычи на Когалымском месторождении нефти был создан геодинамический полигон с целью проведения многократных повторных наблюдений за современными деформационными процессами. Анализ и интерпретация результатов геодинамического мониторинга: спутниковых наблюдений, эксплуатационных параметров разработки месторождения позволили определить, что одним из условий формирования современных деформаций земной поверхности является техногенный фактор.

Ключевые слова: современные деформационные процессы; геодинамический мониторинг; мульда оседания земной поверхности; промышленная безопасность; маркшейдерско-геодезические работы; высокоточные спутниковые наблюдения

Analysis of the results of geodynamic monitoring at the Kogalym oil field of LUKOIL-AIK LLC

Yuri V. Vasilev¹, Denis A. Misyurev^{1*}, Dmitry P. Inozemtsev¹, Pavel I. Bezhan²

¹*West Siberian Division of Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia*

²*LUKOIL-AIK LLC, Kogalym, Russia*

**e-mail: denis.misyrev@gmail.com*

Abstract. The article gives valuable information on geodynamic monitoring. We created a geodynamical polygon to ensure the industrial safety of oil and gas production facilities. It was created on the Kogalym oil field for multiple repeated observations of recent deformation processes. Analysis and interpretation of the results of geodynamical monitoring: satellite observations, exploitation parameters of field development provided an opportunity to identify that an anthropogenic factor is one of the conditions for the formation of recent deformations of the Earth's surface.

Key words: modern deformation processes; geodynamic monitoring; subsidence trough of the Earth's surface; industrial safety; surveying and geodetic works; high-precision satellite observations

Введение

Техногенное воздействие в результате интенсивной и долговременной добычи углеводородов при разработке нефтегазовых месторождений с применением системы заводнения для поддержания пластового давления (ППД) и гид-

поразрыва пластов (ГРП) нарушает природное напряженно-деформированное состояние (НДС) массива недр. Это, как правило, сопровождается изменением фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС), срезом колонн скважин, нарушением устойчивости наземных и подземных сооружений, межпластовыми перетоками с загрязнением водоносных горизонтов, активизацией гидрогеологических и геокриологических процессов, что в конечном итоге может привести к оседанию земной поверхности [1–4].

Для обеспечения промышленной безопасности объектов нефтедобычи от техногенного влияния разработки месторождения, на основе требований нормативных документов Ростехнадзора, на Когалымском месторождении создан геодинамический полигон с целью проведения многократных повторных маркшейдерско-геодезических наблюдений за современными деформационными процессами [5–8].

Маркшейдерско-геодезические наблюдения нацелены на изучение развития деформаций земной поверхности в зависимости от горно-геологических условий^{1,2}. По результатам маркшейдерских наблюдений корректируются принятые геомеханические модели (повышение надежности прогноза на основе математического моделирования), уточняются параметры и закономерности процесса сдвижения, выделяются участки интенсивных смещений земной поверхности, выделяются зоны геодинамического риска [5, 9–11].

Объект и методы исследования

Когалымское нефтяное месторождение открыто в 1972 году, в разработку введено в 1985 году. Лицензией на право пользования недрами Когалымского месторождения в границах Когалымского лицензионного участка владеет ЗАО «ЛУКОЙЛ-АИК» (дополнение к лицензии ХМН № 10512 НЭ от 16.04.2013). В административном отношении месторождение находится в Сургутском районе Ханты-Мансийского автономного округа — Югры Тюменской области, приблизительно в 17 км северо-западнее г. Когалыма и в 97 км юго-восточнее г. Ноябрьска.

Продуктивная часть разреза на месторождении ограничивается отложениями поздней юры и раннего мела. По состоянию на 01.01.2019 года в разработке находятся семь объектов — БС₁₀¹⁶, БС₁₀², БС₁₁^{2a+26}, БС₁₆, БС₁₇, БС₁₈, ЮС₁¹, расположенные в интервале глубин 2 260–2 720 метров. Основными объектами разработки являются пласты БС₁₁^{2a+26} и ЮС₁¹, содержащие 56,6 и 22,7 % извлекаемых запасов нефти.

На площади лицензионного участка 606,8 км² находятся 998 скважин, сосредоточенных на 57 кустовых площадках. Основными объектами инфраструктуры промысла являются технологические сооружения двух дожимных насосных станций (ДНС). Общая протяженность промысловых нефтепроводов составляет 225 км. За более чем 30-летний период добычи углеводородного сырья накопленный объем нефти составил более 50 млн т, при этом произошло падение пластовых давлений по группе пластов БС до 7,2 МПа, по пласту ЮС₁ — до 10 МПа.

Создание геодинамического полигона на Когалымском месторождении нефти берет свое начало с разработки горно-геологического обоснования специалистами ООО «Горное дело» в 2012 году, а также разработки проекта геодинамического полигона в 2013 году Институтом горного дела Уральского отделения Российской академии наук. В результате чего было заложено 63 пункта геодинамического полигона (рис. 1).

¹ РД 07-603-03. Инструкции по производству маркшейдерских работ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.infosait.ru/norma_doc/43/43121/index.htm.

² РД 07-408-01. Положение о геологическом и маркшейдерском обеспечении промышленной безопасности и охраны недр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://snipov.net/c_4653_snip_109232.html.

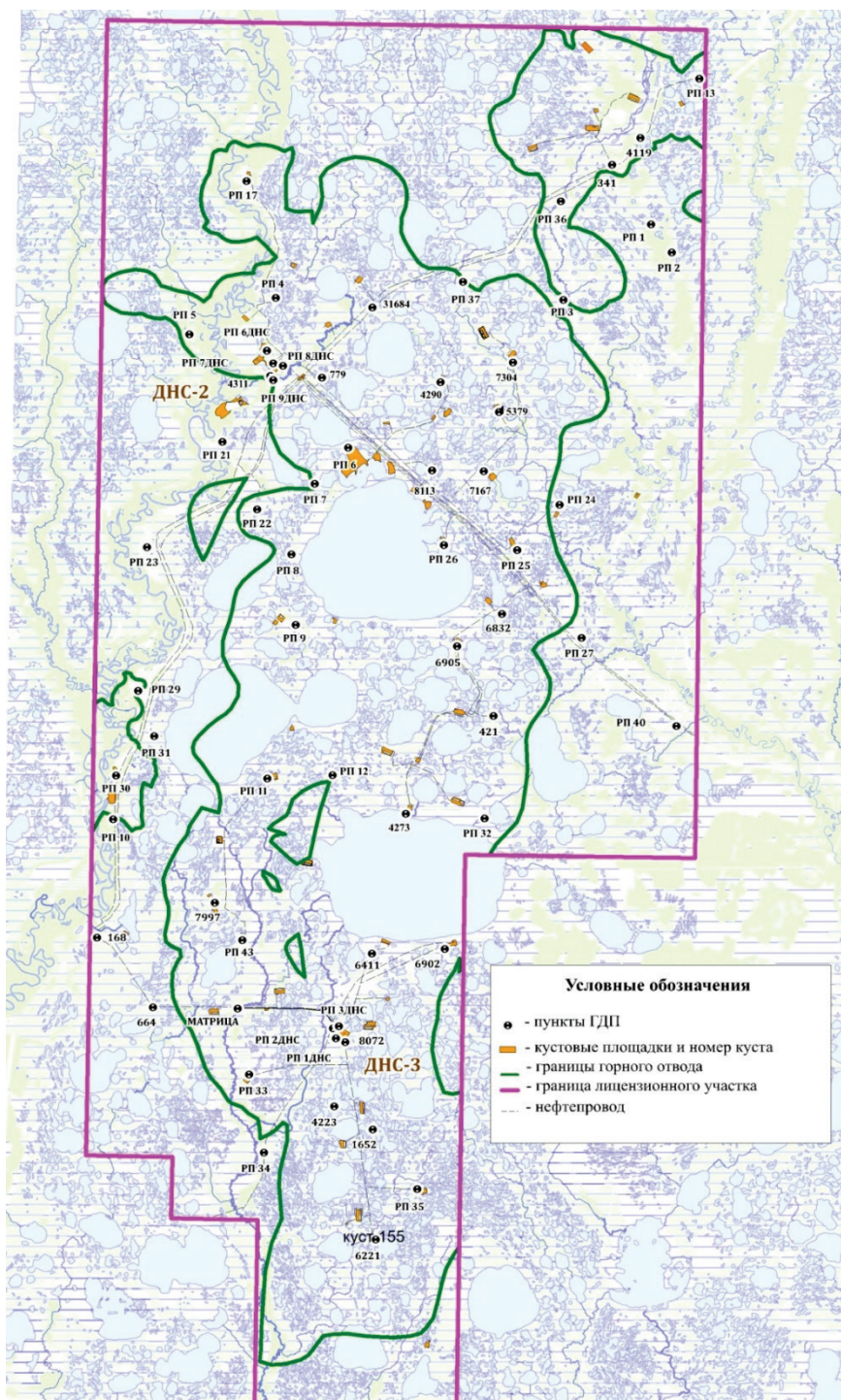


Рис. 1. Схема основных объектов обустройства и наблюдательной сети геодинамического полигона на Когалымском месторождении нефти

В 2018 году предприятием ООО «Горное дело» выполнен пятый цикл полевых маркшейдерско-геодезических наблюдений. В этом же году Западно-

Сибирским филиалом института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН проведены работы по анализу и интерпретации результатов геодинамического мониторинга за период 2014–2018 гг. [12–15], на основе нормативно-методических документов^{3,4,5,6,7}.

Уровень негативного воздействия отбора флюидов и проведения мероприятий по поддержанию пластового давления и нефтеотдачи на состояние сооружений и природных объектов осуществлялся путем сопоставления фактически измеренных геодезическими методами вертикальных и горизонтальных смещений земной поверхности^{8,9} и их распределения по территории с критериями допустимых деформаций [6].

Высокоточные спутниковые наблюдения

Наблюдательная сеть геодинамического полигона равномерно распределена по всей площади Когалымского месторождения. Кроме того, выделены особые объекты охраны: магистральный нефтепровод, пересекающий месторождение с юго-запада на северо-восток, и промышленные площадки ДНС-2 и ДНС-3. В районе магистрального нефтепровода расстояния между наблюдательными пунктами уменьшены, а по периметру площадок ДНС-2 и ДНС-3 созданы локальные наблюдательные сети. Схема наблюдательной сети Когалымского месторождения изображена на рисунке 1.

В соответствии с проектом геодинамического полигона на Когалымском месторождении нефти для определения превышений высотных отметок и координат пунктов геодинамического полигона выполнялись высокоточные спутниковые наблюдения. Схема геодезической спутниковой сети Когалымского месторождения нефти представлена на рисунке 2.

Высокоточные спутниковые наблюдения выполнялись 40-канальными ГЛОНАСС/GPS спутниковыми геодезическими приемниками Topcon GB 1 000 с применением антенн геодезического класса PG-A1. Антенны PG-A1 изготовлены с «прецизионной технологией микроцентрирования» и интегрированным отражателем для уменьшения погрешностей от многолучевости. Точность измерения плановых координат комплектом составляет 3 мм + 1 мм на километр удаления от базовой станции, высота измеряется с точностью 5 мм + 1 мм на км. Внешний вид высокоточного геодезического спутникового комплекта Topcon GB 1 000 представлен на рисунке 3.

Для достижения максимальной точности геодезических спутниковых измерений выполнялось планирование проведения сеансов наблюдения, так как в различные периоды суток наблюдалось неравномерное размещение спутников на небесной сфере и, соответственно, не всегда «геометрический фактор» пространственной геодезической засечки позволял с высокой точностью получать координаты¹⁰ пунктов геодинамического полигона [12–14].

³ РД 07-113-96. Инструкция о порядке утверждения мер охраны зданий, сооружений и природных объектов от вредного влияния горных разработок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200000845>.

⁴ РД 07-603-03.

⁵ РД 07-408-01.

⁶ ПБ 07-269-98. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200029691>.

⁷ СП 22.133330.2011. Свод правил основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200084710>.

⁸ ПБ 07-269-98.

⁹ СП 22.133330.2011.

¹⁰ РД 07-408-01.

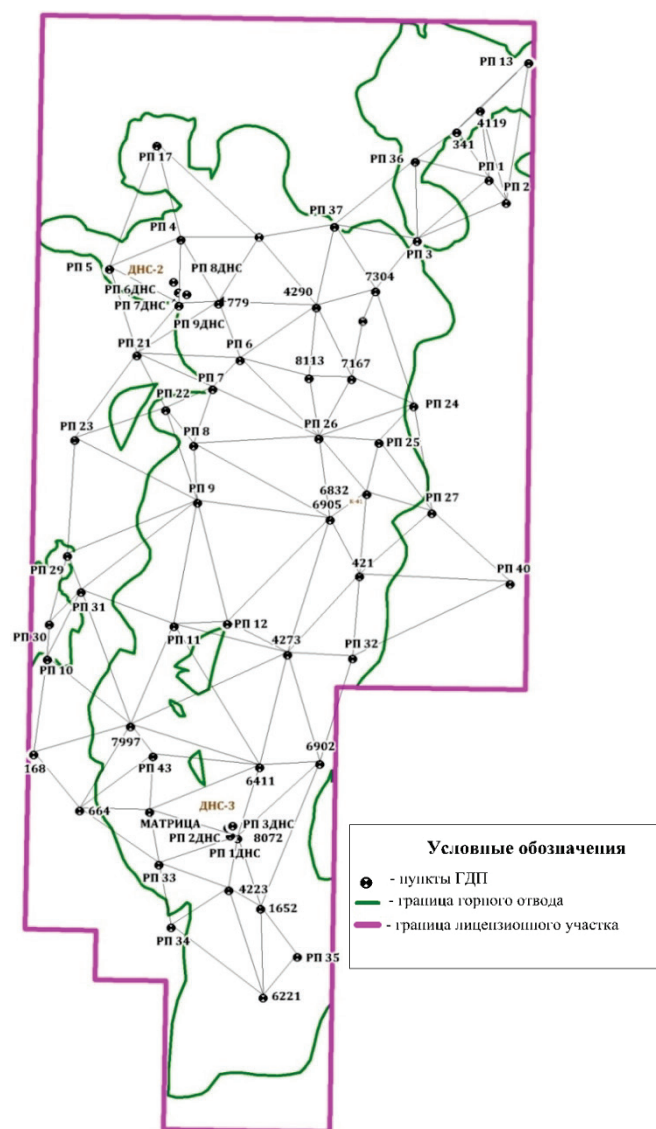


Рис. 2. Схема геодезической спутниковой сети Когалымского геодинамического полигона



Рис. 3. Геодезический спутниковый приемник Торсон GB 1 000 и антенна PG-A1

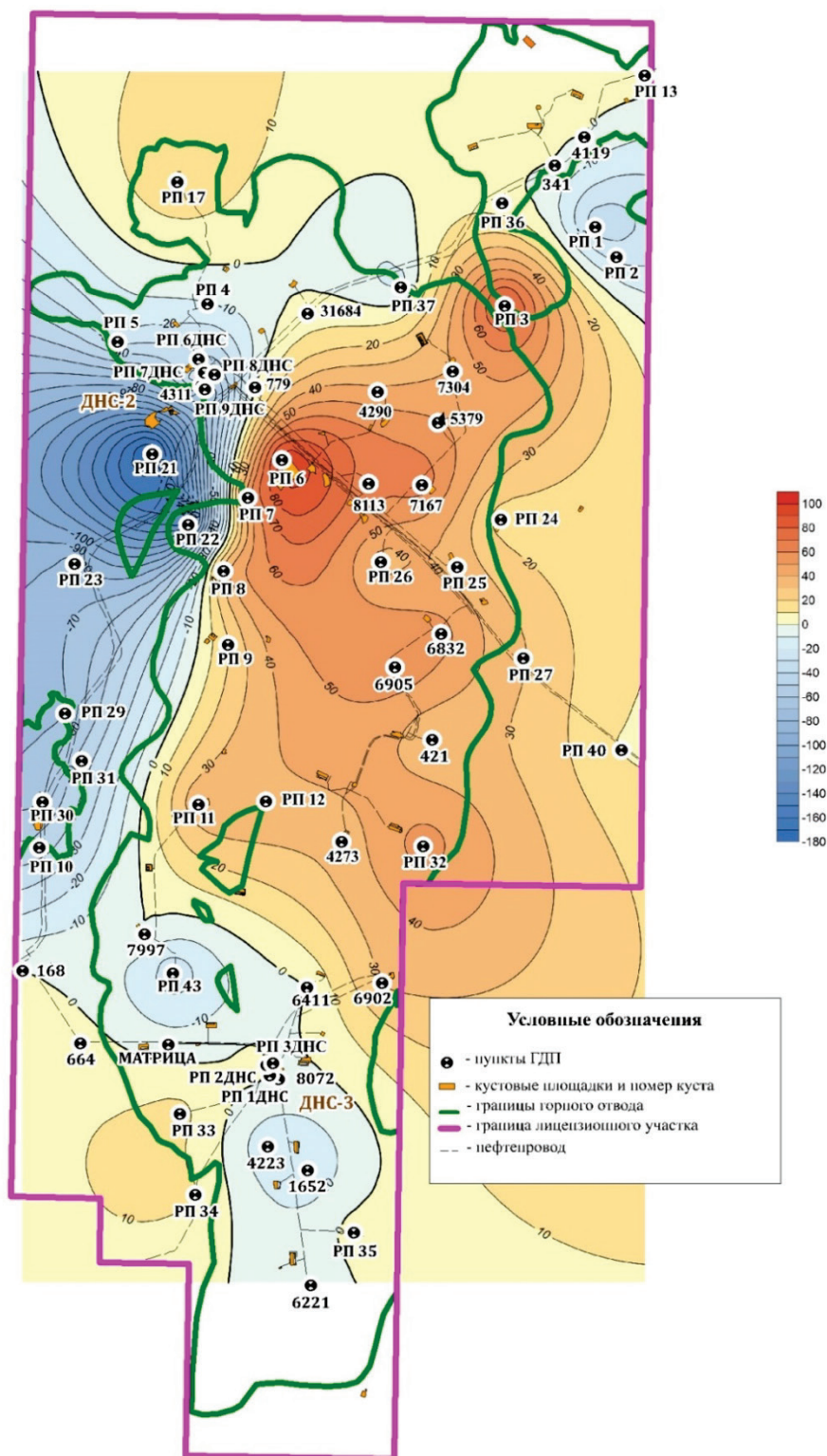


Рис. 4. Схема распределения вертикальных деформаций поверхности Когалымского месторождения за период наблюдения 2014–2018 гг.

Планирование наблюдений производилось с учетом местоположения месторождения и сроков производства работ. В зависимости от времени проведения наблюдений доступен выбор оптимального соотношения геометрических факторов расположения спутников и их наличия.

Материалы пяти циклов наблюдений с 2014 по 2018 гг. были систематизированы в табличном виде, результат статистического анализа для удобства зрительного восприятия представлен в графическом виде.

Результаты вертикальных сдвижений пунктов геодезического полигона

Изменения высоты земной поверхности представлены изогипсами, соединяющими точки с одинаковыми значениями вертикальных сдвижений.

Изогипсы вертикальных сдвижений проведены через 10 мм.

Соседние области, ограниченные изогипсами, отличаются контрастной тонной заливкой, что по данным (рис. 4) дает возможность оперативно и точно зрительно выделять зоны с максимальными поднятиями и осадками [16–20].

Сравнительный анализ полученных высот пунктов ГДП за 2014–2018 гг. показал, что северо-западная часть месторождения, в которой располагаются объекты охраны ДНС-2 и ДНС-3, подвержена понижению высотных отметок (см. рис. 4). Максимальное оседание на участке ДНС-2 составило –44 мм.

Максимальное понижение по всей площади месторождения –144 мм наблюдается на пункте РП 22.

Максимальное повышение +86 мм наблюдается на пункте РП 3.

Результаты горизонтальных сдвижений пунктов геодезического полигона

Разности плановых координат грунтовых реперов геодезического полигона, показывающие горизонтальные смещения участков земной поверхности Когалымского месторождения, для удобства зрительного восприятия представлены в виде векторов сдвижения.

Схема горизонтальных сдвижений наблюдательных пунктов изображена на рисунке 5.

Вычисленные значения горизонтальных смещений пунктов геодезического полигона по результатам высокоточных спутниковых наблюдений показали, что в районе основных объектов охраны ДНС-2 и ДНС-3 средняя величина вектора горизонтального смещения за период 2017–2018 гг. составила 5 мм.

Вектор максимального горизонтального смещения 19 мм наблюдается на пунктах РП 37, 7167 и 7304.

Анализ горизонтальных смещений за период 2014–2018 гг. в районе основных объектов охраны ДНС-2 и ДНС-3 показал, что максимальный вектор горизонтального движения 22 мм наблюдается на репере РП 9 ДНС в районе ДНС-2.

Максимальный вектор сдвижения по всему месторождению 123 мм наблюдается на РП 22.

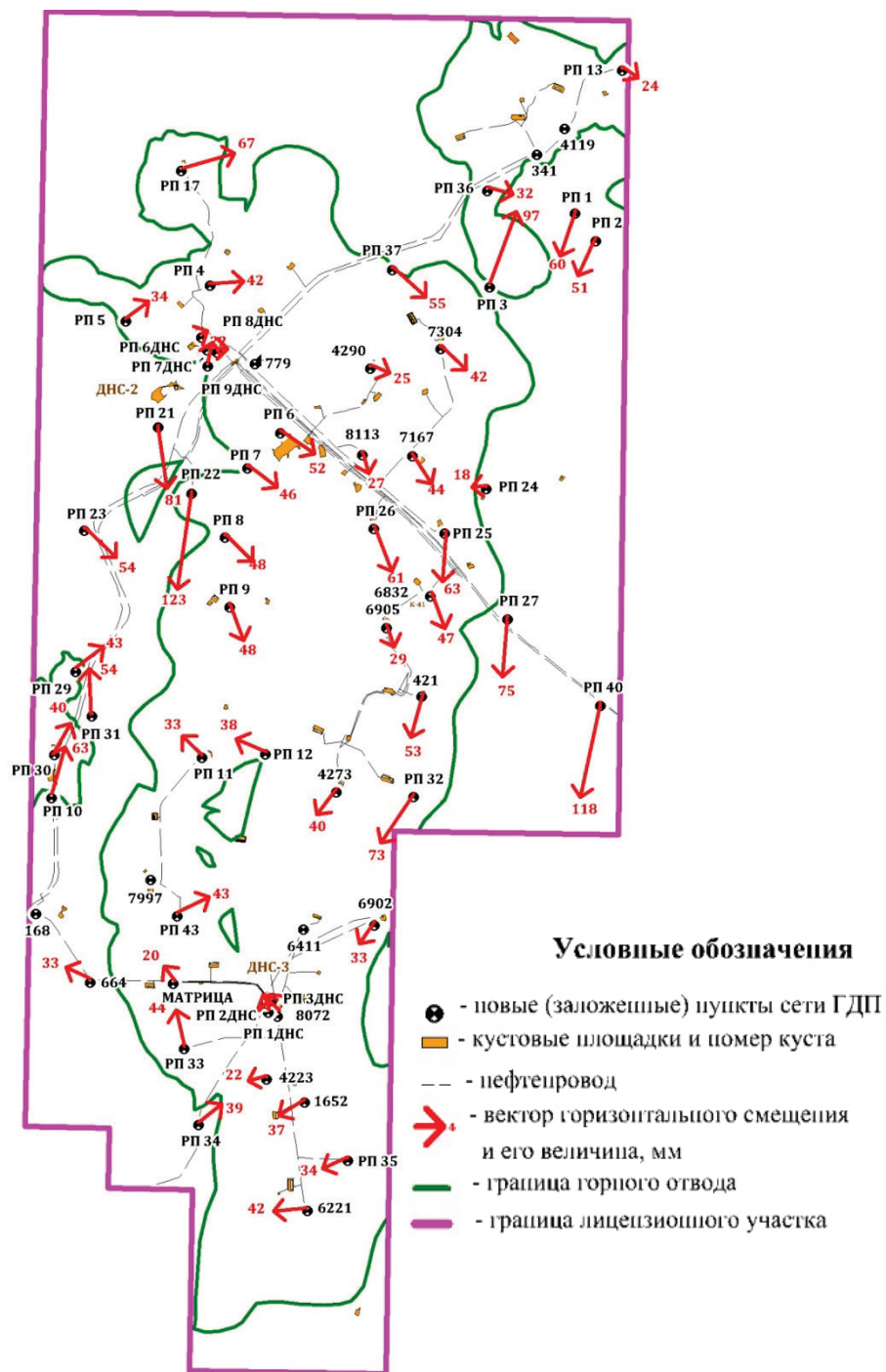


Рис. 5. Вектора горизонтального смещения пунктов за период 2015–2018 гг.

Выводы

- В крайне неблагоприятных природных условиях (заболоченность месторождения, отсутствие разветвленной дорожной сети) применение высоко-

точных геодезических спутниковых наблюдений для слежения за деформациями земной поверхности обеспечило необходимый уровень точности и достоверности данных.

- Общий анализ данных изменения высотных отметок показал, что примерно половина месторождения получает положительные, а другая половина — отрицательные вертикальные сдвигения. Пять циклов наблюдений позволяют выявить участки постоянных положительных и отрицательных сдвижений, на которых возможно модернизировать наблюдательную сеть с целью выявления более точных границ этих участков.

- Горизонтальные сдвигения на территории месторождения не однонаправлены. Величина горизонтального смещения пунктов на участке основных объектов охраны не превышает 22 мм. Полученные относительные величины горизонтальных деформаций путем сравнения измеренных расстояний между рабочими пунктами наблюдений показали, что вычисленные значения не превышают предельных и допустимых согласно данным нормативных документов.

Библиографический список

1. Геодезическое обеспечение жилищно-гражданского и промышленного строительства / Ф. В. Андреева [и др.]. — М.: Недра, 1988. — 270 с.
2. Кузьмин Ю. О., Жуков В. С. Современная геодинамика и вариации физических свойств горных пород. — М.: Изд-во МГГУ, 2004. — 262 с. — (Горные науки).
3. Сидоров В. А. Природно-техногенные явления, индуцированные разработкой месторождений нефти и газа // Фундаментальный базис новых технологий нефтяной и газовой промышленности. — М.: Наука, 2000. — С. 334–344.
4. Сидоров В. А., Кузьмин Ю. О. Современные движения земной коры осадочных бассейнов. — М., 1989. — 183 с.
5. Петухов И. М., Батугина И. М. Геодинамика недр. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во МГГУ, 1999. — 287 с.
6. Сидоров В. А., Кузьмин Ю. О., Хитров А. М. Концепция «Геодинамическая безопасность освоения углеводородного потенциала недр России». — М., ИГРГИ, 2000. — 56 с.
7. Определение параметров пластов по данным наблюдений за смещением поверхности земли / И. Д. Умрихин [и др.] // Нефтяное хозяйство. — № 10. — 1981. — С. 29–32.
8. Хайн В. Е., Ломизе М. Г. Геотектоника с основами геодинамики. — М.: Книжный дом «Университет», 2005. — 560 с.
9. Брайт П. И., Медведский Е. Н. Измерение осадков и деформаций геодезическими методами. — М.: Геоиздат, 1979. — 200 с.
10. Кашников Ю. А., Ашихмин С. Г. Механика горных пород при разработке месторождений углеводородного сырья. — М.: Недра, 2007. — 466 с.
11. Мазницкий А. С. Геодезический мониторинг и прогнозирование техногенной геодинамики на месторождениях нефти и газа: Автореф. дис. д-ра техн. наук. — Киев, 2002. — 22 с.
12. Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем. ГКИНП (ОНТА)-02-262-02. ФСГК РФ ЦНИИГАиК. — М., 2002.
13. Правила закрепления центров пунктов спутниковой геодезической сети, «Картгеоцентр» — «Геоиздат», М., 1993.
14. Антонович К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии: моногр. Часть 1. — Новосибирск: СГГА, 2005. — 333 с.
15. Антонович К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии: Автореф. дис. д-ра техн. наук. — Новосибирск, 2007. — 66 с.
16. Васильев Ю. В., Радченко А. В. Анализ результатов геодинамического мониторинга на Новомолодежном месторождении // Маркшейдерия и недропользование. — 2017. — № 1 (87). — С. 38–41.

17. Васильев Ю. В. Горно-геологическое обоснование необходимости создания геодинамических полигонов на Кальчинском, Усть-Тегусском, Тямкинском, Южно-Петегском, Радонежском, Протозановском месторождениях // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2017. – № 1. – С. 23–31. DOI: 10.31660/0445-0108-2017-1-23-31
18. Васильев Ю. В., Плавник А. Г., Радченко А. В. Техногенное влияние добычи углеводородов на современную геодинамику Самотлорского месторождения // Маркшейдерский вестник. – 2017. – № 4 (119). – С. 43–51.
19. Васильев Ю. В., Мисюрев Д. А., Филатов А. В. Техногенное влияние разработки Комсомольского месторождения на современные деформационные процессы // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2018. – № 2 (128). – С. 11–20. DOI: 10.31660/0445-0108-2018-2-11-20
20. Анализ и интерпретация результатов маркшейдерско-геодезических измерений на Губкинском геодинамическом полигоне / Ю. В. Васильев [и др.] // Маркшейдерский вестник. – 2018. – № 1 (122). – С. 58–67.

References

1. Andreeva, F. V., Borisenkov, B. G., Buzyatov, V. G., & Sytnik, V. S. (1988). Geodezicheskoe obespechenie zhilishchno-grazhdanskogo i promyshlennogo stroitel'stva. Moscow, Nedra Publ., 270 p. (In Russian).
2. Kuzmin, Yu. O., & Zhukov, V. S. (2004). Modern geodynamics and variations of rocks' physical properties. Moscow, Moscow State University Publishers, 262 p. (In Russian).
3. Sidorov, V. A. (2000). Prirodno-tekhnogennye yavleniya, indutsirovannye razrabotkoy mestorozhdeniy nefli i gaza. Fundamental'nyy bazis novykh tekhnologiy neftyanoy i gazovoy promyshlennosti. Moscow, Nauka Publ., pp. 334-344. (In Russian).
4. Sidorov, V. A., & Kuzmin Yu. O. (1989). Recent crustal movements in sedimentary basins. Moscow, 183 p. (In Russian).
5. Petukhov, I. M., & Batugina, I. M. (1999). Geodinamika neдр. 2nd edition, revised and expanded. Moscow, MGGU Publ., 287 p. (In Russian).
6. Sidorov, V. A., Kuzmin, Yu. O., & Khitrov, A. M. (2000). Kontseptsiya "Geodinamicheskaya bezopasnost' osvoeniya uglevodorodnogo potentsiala neдр Rossii". Moscow, IGRGI Publ., 56 p. (In Russian).
7. Umrikhin, I. D., Dneprovskaya, N. I., Entov, V. M., Kurenkov, O. V., Buzinov, S. N., Malakhova, T. A., & Liberman, G. I. (1981). Opredelenie parametrov plastov po dannym nablyudeniym za smeshcheniem poverkhnosti zemli. Oil Industry, (10), pp. 29-32. (In Russian).
8. Khayn, V. E., & Lomize, M. G. (2005). Geotektonika s osnovami geodinamiki. Moscow, Knizhnyy dom "Universitet" Publ., 560 p. (In Russian).
9. Brayt, P. I., & Medvedskiy, E. N. (1979). Izmerenie osadok i deformatsiy geodezicheskimi metodami. Moscow, Geoizdat, 200 p. (In Russian).
10. Kashnikov, Yu. A., & Ashikhmin, S. G. (2007). Rock mechanics in petroleum industry. Moscow, Nedra Publ., 466 p. (In Russian).
11. Maznitskiy, A. S. (2002). Geodezicheskiy monitoring i prognozirovaniye tekhnogennoy geodinamiki na mestorozhdeniyakh nefli i gaza. Avtoref. diss. dokt. tekhn. nauk. Kiev, 22 p. (In Russian).
12. Instruksiya po razvitiyu s'emochного obosnovaniya i s'emke situatsii i rel'efa s primeneniem global'nykh navigatsionnykh sputnikovykh sistem. (2002). GKNP (ONTA)-02-262-02. FSGiK RF TSNIIGAiK. Moscow. (In Russian).
13. Pravila zakrepleniya tsentrov punktov sputnikovoy geodezicheskoy seti (1993). "Kart-geo-tsentr" - "Geoizdat", Moscow. (In Russian).
14. Antonovich, K. M. (2005). Ispol'zovanie sputnikovykh radionavigatsionnykh sistem v geodezii. Chast' 1. Novosibirsk, SGGA Publ., 333 p. (In Russian).
15. Antonovich, K. M. (2007). Ispol'zovanie sputnikovykh radionavigatsionnykh sistem v geodezii. Avtoref. Diss. dokt. tekhn. nauk. Novosibirsk, 66 p. (In Russian).
16. Vasilyev, Yu., & Radchenko, A. (2017). Analysis of geodynamic monitoring results for Novomolodezhnoe field. Mine surveying and subsurface use, (1(87)), pp.38-41. (In Russian).
17. Vasiliev, Yu. V. (2017). Mining and geological substantiation for enable the creation of geodynamic polygons in Kalchinskoye, Ust-Tegusskoye, Tyamkinskoye, Yuzhno-Petegskoye, Radonezhskoye, Protozanovskoye fields. Oil and Gas Studies, (1), pp. 23-31. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2017-1-23-31

18. Vasil'ev, Yu. V., Plavnik, A. G., & Radchenko, A. V. (2017). The technogenic impact of hydrocarbon production on recent geodynamics of Samotlor oil field. *Mine Surveying Bulletin*, (4(119)), pp. 43-51. (In Russian).

19. Vasilev, Yu. V., Misyurev, D. A., & Filatov, A. V. (2018). Anthropogenic influence of the Komsomolsk oil and gas condensate field on modern deformation processes. *Oil and Gas Studies*, (2(128)), pp.11-20. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2018-2-11-20

20. Vasilyev, Yu. V., Inozemtsev, D. P., Misyurev, D. A., Dolganov, I. M., & Filatov, A. V. (2018). Analysis and interpretation of mine surveying-geodetic measurements on the geodynamic polygon of Gubkinskiy. *Mine Surveying Bulletin*, (1(122)), pp. 58-67. (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

Мисюрёв Денис Андреевич, младший научный сотрудник, Западно-Сибирский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, г. Тюмень, e-mail: denis.misyrev@gmail.com

Иноземцев Дмитрий Павлович, ведущий инженер, Западно-Сибирский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, г. Тюмень

Бежан Павел Иванович, главный маркшейдер, ООО «ЛУКОЙЛ-АИК», г. Когалым

Information about the authors

Yuri V. Vasilev, 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

Denis A. Misyurev, Junior Researcher, 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: denis.misyrev@gmail.com

Dmitry P. Inozemtsev, Leading Engineer, West Siberian Division of Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen

Pavel I. Bezhan, Chief Surveyor, LUKOIL-AIK LLC, Kogalym