

УДК 551.243:622.278

Квятковская Светлана Сергеевна
заместитель начальника
службы главного маркшейдера,
ООО «Газпром ПХГ»,
196105, г. Санкт - Петербург,
МО Московская застава,
Московский проспект, 139, корп. 1, стр.1
e-mail: s.kvyatkovskaya@phg.gazprom.ru

Фаттахов Евгений Альбертович
младший научный сотрудник,
Институт физики Земли
им. О.Ю. Шмидта РАН,
123242, г. Москва,
Большая Грузинская ул., 10, стр. 1
e-mail: Fea@ifz.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩАХ ГАЗА

Аннотация:

Возможность проведения наземных и спутниковых измерений на уникальных объектах, таких как подземные хранилища газа (ПХГ), позволила проанализировать их поведение во времени. Главное различие этих объектов заключается в том, что первое ПХГ, расположенное на границе с Московской областью, создано в водоносном горизонте, а второе расположено в Саратовской области, в выработанном нефтегазоконденсатном месторождении. По завершении 4-х циклов маркшейдерско-геодезических наблюдений были построены графики и проведен сопоставительный анализ полученных результатов. Показано, что ПХГ, созданное в водоносном пласте, характеризуется в основном поднятиями и оседаниями по всей площади объекта, а при эксплуатации ПХГ, созданного на базе истощенного месторождения, возникают еще и локальные деформации земной поверхности в разломных зонах. В результате анализа совмещенных спутниковых (GPS) и наземных (высокоточное геометрическое нивелирование II класса) наблюдений было предложено использовать для измерения горизонтальных смещений в зонах разломов наземную повторную тахеометрическую съемку в виде построения локальных трилатерационных сетей.

Ключевые слова: геодинамический полигон, подземное хранилище газа, нивелирование, спутниковые методы измерения, деформация земной поверхности, разломная зона, трилатерационные сети

DOI: 10.25635/2313-1586.2019.04.038

Kvyatkovskaya Svetlana S.
Deputy Head of Chief Surveyor's Service,
Limited Liability Company Gazprom UGS,
196105, Saint-Petersburg,
municipal district Moscovskaya Zastava,
139 Moskovsky prospect, block 1, building 1,
e-mail: s.kvyatkovskaya@phg.gazprom.ru

Fattakhov Yevgeny A.
Junior Researcher,
Schmidt Institute of Physics of the Earth, RAS,
123242, Russia, Moscow,
10 Bolshaya Gruzinskaya Str., build. 1
e-mail: Fea@ifz.ru

COMPARATIVE ANALYSIS OF DEFORMATION PROCESSES AT UNDERGROUND GAS STORAGE FACILITIES

Abstract:

The ability to conduct ground and satellite measurements at unique sites, such as underground gas storage facilities (UGSF), has enabled to analyze their behavior over time. The main difference between these facilities is that the first UGSF located on the border with the Moscow region is created in the aquifer, and the second UGSF is located in Saratov region, in the depleted oil and gas condensate deposit. Upon completion of 4 cycles of surveying and geodetic observations, the authors have drawn up the graphs and carried out the comparative analysis of the obtained results. It is shown that UGSF created in the aquifer is characterized mainly by uplifts and subsidences over the entire area of the facility, and the exploitation of the UGSF created on the basis of depleted deposit results also in local deformations of the earth's surface in the fault zones. As a result of the analysis of combined satellite (GPS) and ground (high-precision geometric leveling of class II) observations, it was proposed to use ground-based re-tacheometric survey in the form of construction of local trilateration networks to measure horizontal displacements in fault zones.

Key words: geodynamic test site, underground gas storage facility, levelling, satellite measurement methods, earth's surface deformation, fault zone, trilateration network

Введение

Подземное хранилище газа (ПХГ) — это комплекс инженерно-технических сооружений в пластах-коллекторах геологических структур, предназначенных для закачки, хранения и последующего отбора газа. Главной геодинамической особенностью таких

объектов является циклический характер современного напряженно-деформированного состояния недр, обусловленного их эксплуатацией. Как известно, основным инструментом, который позволяет осуществлять мониторинг недр в местах расположения объектов нефтегазового комплекса, являются системы маркшейдерско-геодезических наблюдений за современными геодинамическими процессами – геодинамические полигоны [1 – 6]. К настоящему времени в нашей стране создано более сотни таких полигонов, которые осуществляют обеспечение промышленной безопасности на геодинамической основе для различных месторождений углеводородов (УВ), включая шельфовые [7 – 10]. В самое последнее время были запроектированы и проводятся наблюдения за деформациями земной поверхности на ряде подземных хранилищ газа, включая те, которые рассмотрены в этой статье. При проведении горно-геологического обоснования проекта геодинамического полигона на территориях ПХГ обосновывается уровень возможных деформационных процессов и выявляются разломные зоны. Последнее особенно актуально, т.к. именно эти зоны являются областями потенциальных аварий объектов нефтегазового комплекса [1, 3, 11, 12].

Также в рамках проводимого исследования необходимо отметить тот факт, что в центральной части объекта вертикальная компонента смещений земной поверхности всегда существенно больше горизонтальной, а вблизи его границ, напротив, горизонтальная компонента начинает сравниться, а затем и превалирует над вертикальной. Это обусловлено тем, что вертикальные смещения происходят на поверхности, практически свободной от напряжений, а горизонтальные формируются в обстановке бокового сопротивления со стороны окружающих горных пород [1, 13, 14].

*Анализ повторных маркшейдерско-геодезических наблюдений на ПХГ,
созданном в водоносной структуре*

Подземное хранилище газа, расположенное на границе с Московской областью, создано в водоносном горизонте. Специфика данного способа строительства подземного газохранилища определяет гидростатический (объемный) режим циклических нагрузок на газонасыщенный пласт. В этом случае характер распределения вертикальных смещений земной поверхности носит практически симметричный характер. При закачке газа поверхность испытывает поднятие, а при отборе – оседание. При этом экстремальные значения смещений формируются в центральной части ПХГ.

В соответствии с проектными решениями в 2015 г. на территории ПХГ было заложено 50 реперов геодинамического полигона по трем профильным линиям. С 2016 по 2018 г. было проведено 4 цикла маркшейдерско-геодезических наблюдений по реперам, заложенным по профильным линиям. Результаты повторных наблюдений на геодинамических полигонах лучше всего представлять в двух вариантах: «эволюционном» и «пульсационном». Так, для анализа нивелирных измерений в «эволюционном» варианте вертикальных смещений земной поверхности результаты определяются вычитанием текущих величин превышений от значений, полученных при первом наблюдении, то есть рассматриваются повторные циклы наблюдений: 2-1, 3-1, 4-1 и т.д. В этом случае прослеживается временная эволюция смещений земной поверхности. В «пульсационном» варианте для представления результатов наблюдений используются разности между смежными эпохами наблюдений и определяются периоды пульсаций вертикальных движений: 2-1, 3-2, 4-3 и т.д. Естественно, что приведенные формы представления информации целесообразно использовать и при других видах повторных геодезических и геофизических наблюдений.

Ситуация с подземными хранилищами газа существенно отличается от газовых месторождений, где добыча сопровождается понижением пластового давления. Учет циклического воздействия на недра целесообразно анализировать, используя именно «пульсационные» графики, где отображено поведение каждого цикла относительно предыдущего. «Эволюционные» построения в этом случае мало информативны.

Для удобства рассмотрения анализ графического материала проводится по каждому из характерных профилей отдельно.

Профиль 1-1

На рис. 1 представлены результаты повторных нивелирных наблюдений, проведенных вдоль профиля 1-1.

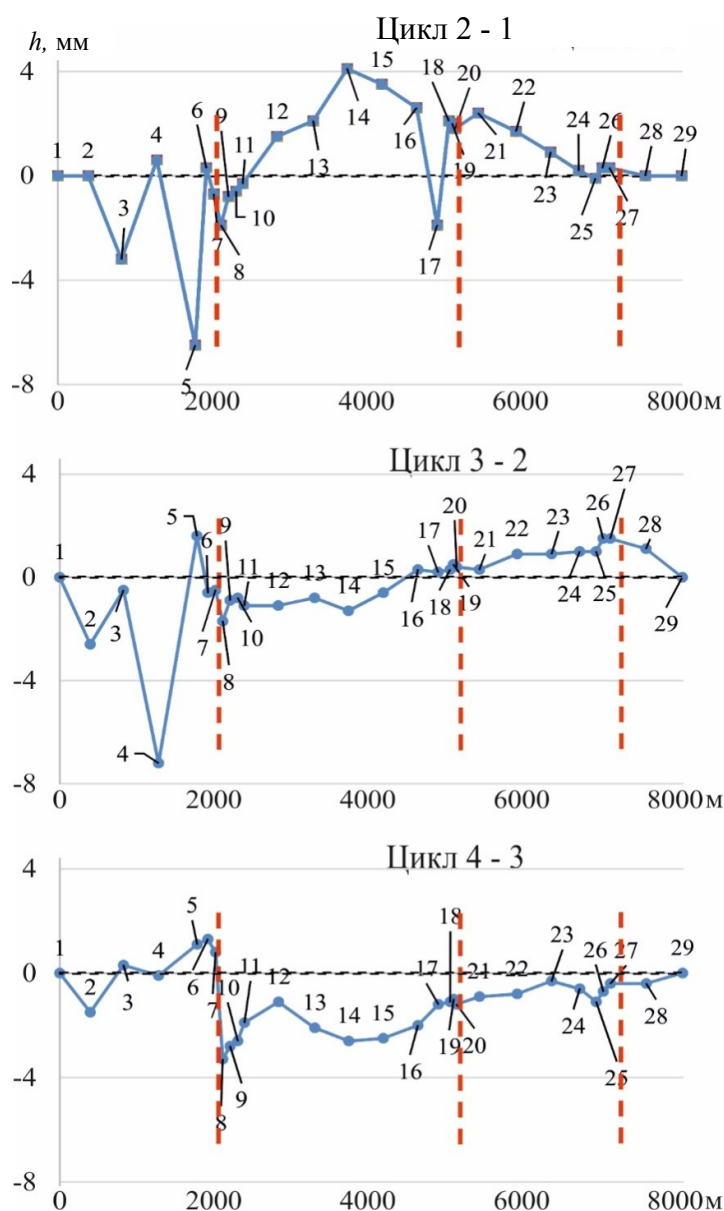


Рис. 1 – Результаты повторных нивелирных наблюдений вдоль профиля 1-1, представленные в «пульсационном» варианте.

Красная пунктирная черта – местоположение осевой линии разломной зоны

Увеличение пластового давления в период между закачкой газа в пласт и отбором составляет величину 1,5 – 2 раза. Из рис. 1 видно, что отмечается поднятие земной поверхности в центральной части ПХГ с максимальной амплитудой в 5 мм.

В период наблюдений (3-2) изменений пластового давления практически не было, что нашло отражение в отсутствии значимых, превышающих ошибки измерений, смещений земной поверхности на значительной части профиля (от репера № 6 до репера № 29). При этом поведение реперов № 3, 4 и 5 не связано с воздействием эксплуатации ПХГ. Во-первых, в период (3-2) пластовое давление не менялось, а во-вторых, начиная с 3-го цикла наблюдений произошла замена репера № 5, что привело к изменению отме-

ток, которые входят в расчет разности превышений. В период наблюдений (4-3) пластовое давление падает, и это приводит к оседанию земной поверхности в центральной части ПХГ с максимальной амплитудой – 3 мм.

Профиль 1-1 пересекает триразломные зоны. Если их пронумеровать слева направо, то очевидно, что значимые аномалии смещений обнаруживаются только в пределах 1 и 2 разломов. При этом, учитывая ширину разломных зон (0,3 – 0,5 км), можно отметить, что на втором разломе происходят локальные оседания (аномалии типа γ), которые означают активизацию раздвиговых смещений внутри разломной зоны, а в пределах первого разлома формируются сдвиговые аномалии типа S. Однако проблемы с устойчивостью реперов, формирующих эту аномалию, не позволяют однозначно идентифицировать ее как геодинамическую.

Профиль 3-3

Профиль 3-3 находится чуть восточнее центральной части ПХГ и пересекает три разломные зоны. На рис. 2 представлены результаты повторных нивелирований на этом профиле.

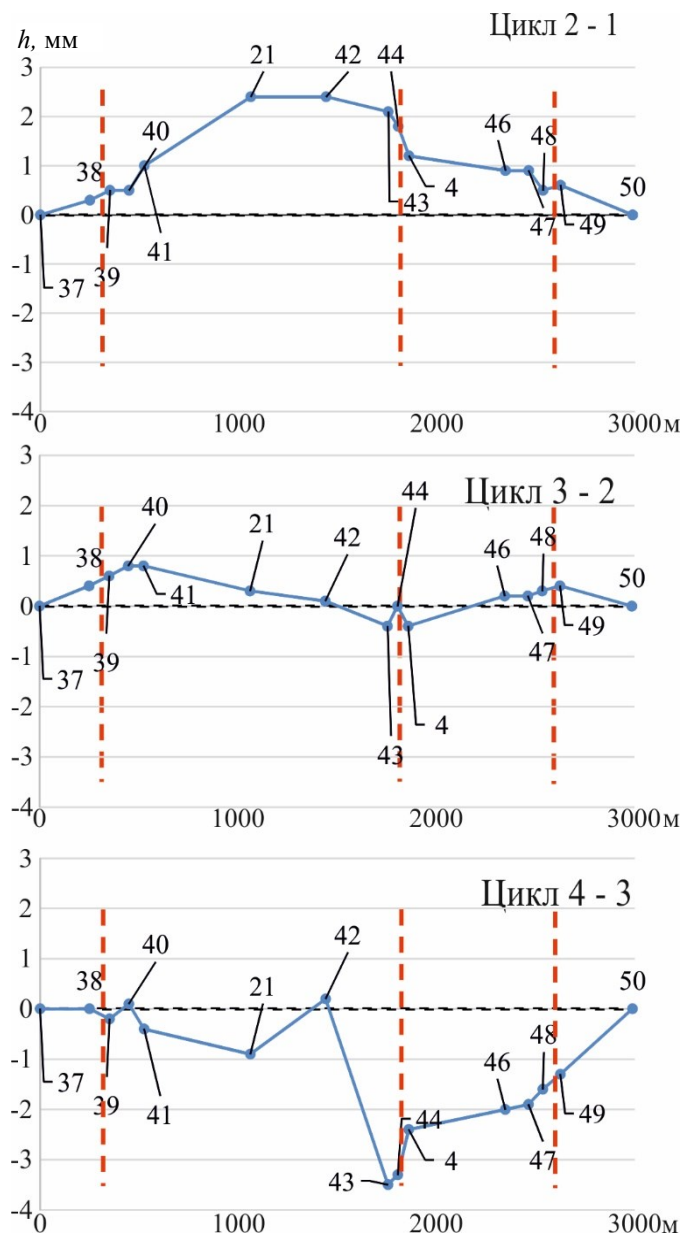


Рис. 2 – Результаты повторных нивелирных наблюдений вдоль профиля 3-3, представленные в «пульсационном» варианте.

Красная пунктирная черта – местоположение осевой линии разломной зоны

Характер и цикличность вертикальных смещений на этом профиле идентичен тем изменениям, которые наблюдались на профиле 1-1. В период наблюдений (2-1) происходит подъем земной поверхности с максимальной амплитудой в 3 мм. В период (3-2) смещения земной поверхности происходят знакопеременно вдоль всего профиля с амплитудами, не превышающими ошибки измерений. В период (4-3) отмечается оседание. Если исключить влияние локальных смещений, обусловленное активизацией среднего разлома, то максимальная амплитуда оседания составляет величину в 2 мм. Как было отмечено ранее, отношение положительной (закачка) и отрицательной (отбор) разности пластовых давлений составляет величину 1,5 – 2 раза. Отношение амплитуд поднятия и оседания на профиле 1-1 равно 2, а на профиле 3-3 – 1,5, что соответствует модельным оценкам.

Повторные GNSS-наблюдения проводились одновременно с нивелированием по совмещенным реперам, но исключительно в зонах разломов, которые были выделены на стадии разработки горно-геологического обоснования.

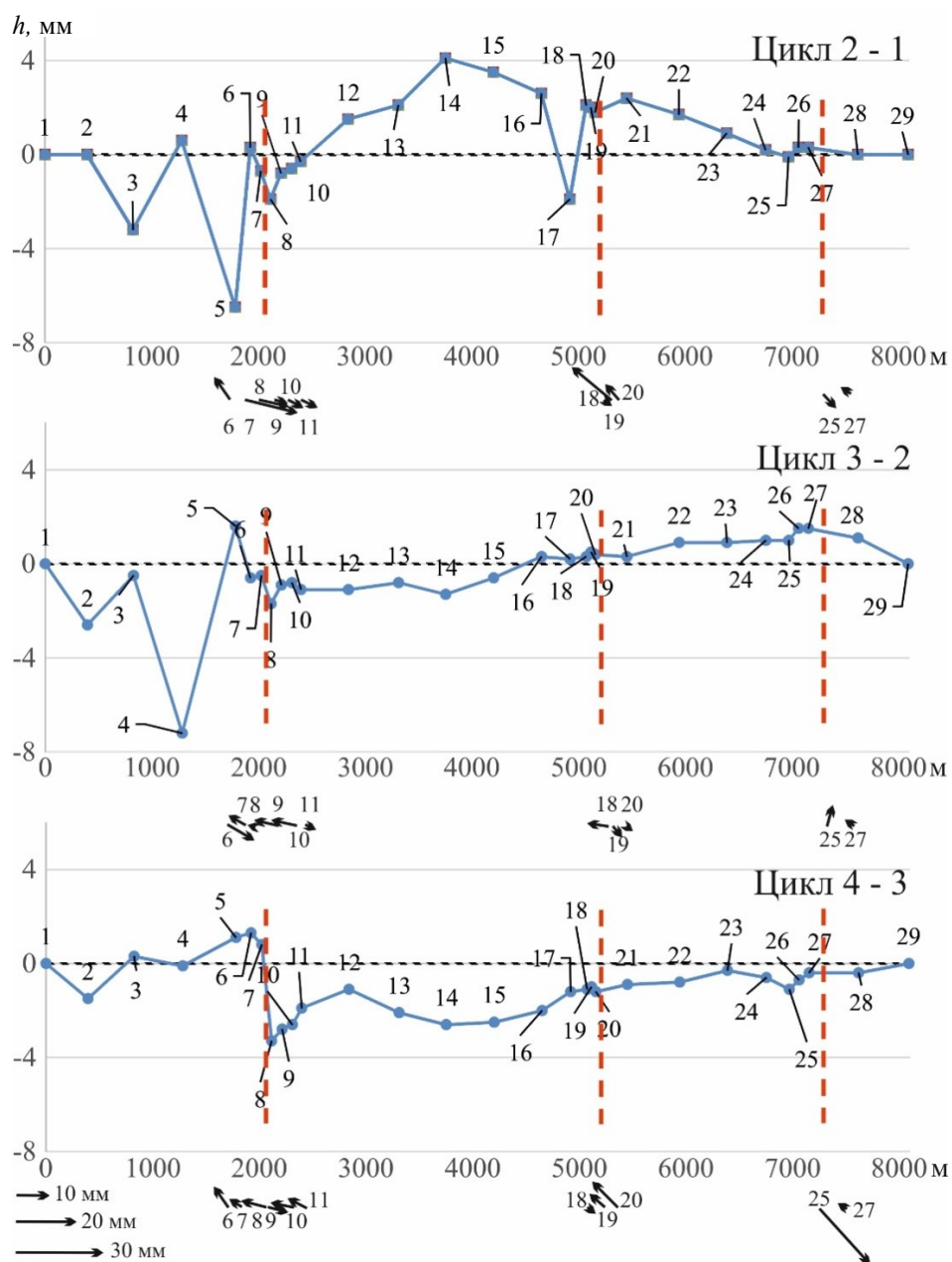


Рис. 3 – Соотношение вертикальных и горизонтальных смещений земной поверхности вдоль профиля 1-1.

Красные пунктирные линии – оси разломных зон. Величина стрелки означает амплитуду смещений

На рис. 3 результаты GNSS-наблюдений редуцированы на направление профиля. Иными словами, векторы горизонтальных смещений в географической системе координат спроецированы на направление профиля. Таким образом, векторы горизонтальных смещений оказываются строго ориентированы вдоль направления профиля.

Прямое сопоставление вертикальных и горизонтальных смещений земной поверхности показывает, что максимальные амплитуды вертикальных смещений оказались на порядок меньше, чем горизонтальных. При этом хорошо известно, что при объемном деформировании вертикальные смещения земной поверхности (свободной от нагрузок) всегда превосходят горизонтальные, которые происходят в обстановке бокового стеснения.

*Анализ повторных маркшейдерско-геодезических наблюдений на ПХГ,
созданном на базе истощенного месторождения*

Данное подземное хранилище газа, созданное на базе выработанного одноименного нефтегазоконденсатного месторождения, располагается на территории Советского района Саратовской области. В соответствии с проектными решениями в декабре 2011 – январе 2012 гг. были заложены 60 пунктов геодинамического полигона по трем профильным линиям.

Конфигурация измерительной сети представляет собой два протяженных профиля (1 и 2), которые пересекают территорию ПХГ и локальный профиль (3), который пересекает разломную зону. Анализу было подвергнуто 4 цикла нивелирных наблюдений и 3 временных интервала вертикальных смещений. Графики построены также в «пульсационном» виде (рис. 4).

Профиль 1 - 1

На профиле отчетливо видны три аномалии вертикальных движений. При этом, если идентифицировать аномалии слева направо, то первая и третья аномалии приурочены к зонам разломов, а вторая нет.

В разломной зоне «слева» во всех циклах наблюдений прослеживается динамика смещений на уровне ± 2 мм. При этом в цикле 2-1 ширина аномалий больше, чем в остальных циклах. Из-за повреждения 7 репера в 4 цикле измерений в графике цикла 4-3 имеется пробел в данных.

«Вторая» аномалия имеет знакопеременный характер, и изменения, как у «первой» аномалии, находятся на уровне среднеквадратической погрешности измерений II класса нивелирования. Их накопленные амплитуды не превосходят по величине двукратную ошибку измерений.

Анализ аномалии «справа» показал, что амплитуда смещения земной поверхности в цикле 2-1 в центре разломной зоны достигает величины 8 мм. В остальных циклах прослеживается знакопеременная динамика, но уже с меньшими амплитудами.

Данный тип аномалии полностью соответствует представлениям о техногенно-индуцированных деформациях разломных зон. Морфологически эта аномалия представляет собой пикообразное, локальное оседание земной поверхности. Подобный «пикообразный» тип аномалий в разломных зонах широко распространен. Он получил название «аномалия типа гамма», т.к. по форме напоминает соответствующую букву греческого алфавита – γ [15, 16]. Этот тип аномалий характерен для разломов с раздвиговым кинематическим типом движений бортов [17].

Как правило, для этих аномалий характерны пикообразные оседания в окрестностях разлома. Уровень относительных среднегодовых деформаций для этой аномалии составляет порядка $2,1 \cdot 10^{-5}$ в год. Такой уровень скоростей относительных деформаций позволяет отнести данный участок разломной зоны к категории опасного разлома [12].

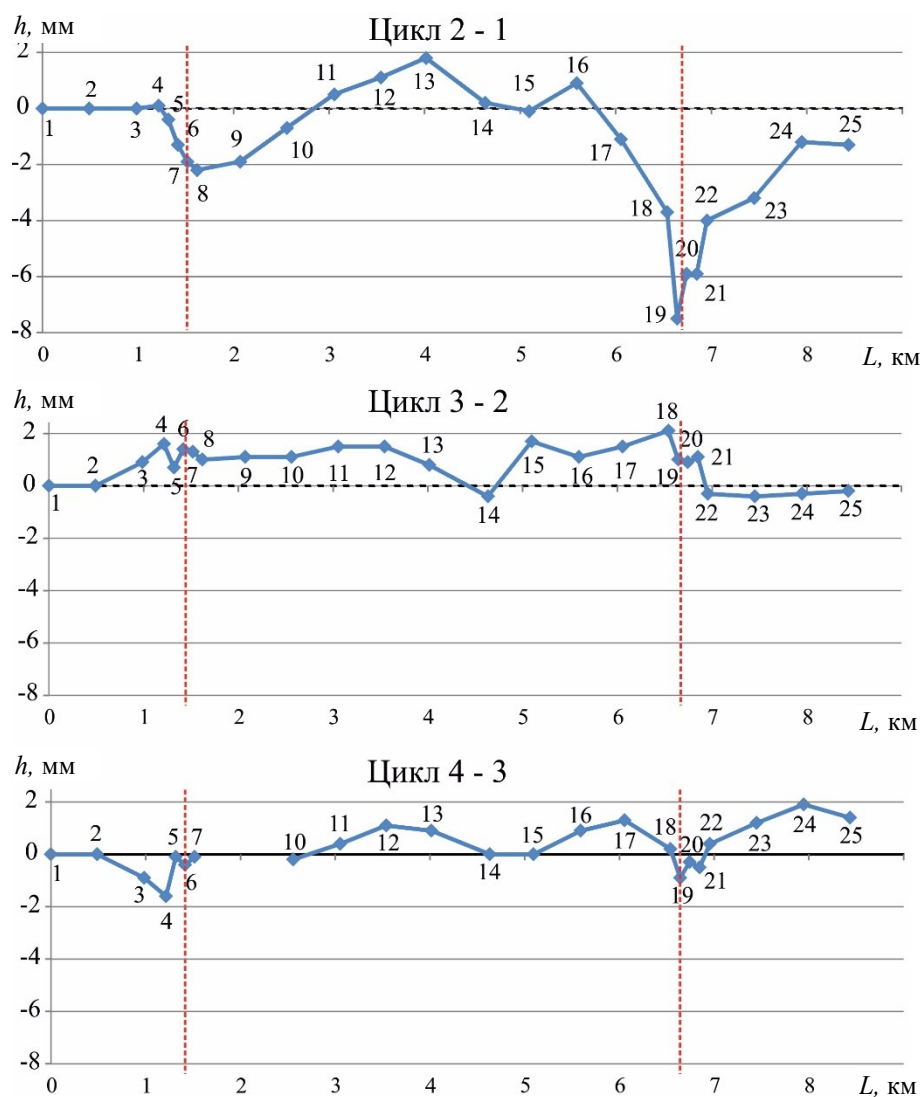


Рис. 4 – Результаты повторных нивелирных наблюдений на профиле 1, представленные в «эволюционной» и «пульсационной» формах. Красным пунктиром отмечены разломные зоны

Профиль 2 - 2

Анализ результатов повторного нивелирования вдоль профиля 2-2 (рис. 5) показал, что практически все аномальные смещения земной поверхности, которые либо незначительно, либо существенно превышают ошибки измерений, приурочены к выявленным по результатам геофизики разломным зонам. Исключение составляет аномалия, которая расположена в крайней правой стороне графика с центром в районе репера № 27.

Нумеруя, как и для предыдущего профиля, аномалии слева направо, можно отметить, что практически все аномальные изменения испытывают знакопеременный характер. Рассматривая динамику изменений амплитуды аномалии № 1, которая расположена в окрестностях реперов № 51, 50, 49, 48, можно отметить влияние знакопеременного характера смещений на итоговую, накопленную амплитуду. В период между циклами 2-1 ее амплитуда составляет величину 3 мм, затем, в период 3-2 за счет знакопеременности движений амплитуда выросла всего на 1,8 мм и, наконец, в цикле 4-3, она увеличилась на 1 мм. Накопленная амплитуда составляет величину порядка 4 мм. Учитывая малую ширину аномалии (200 м), можно отметить, что среднегодовая скорость относительных деформаций составляет величину порядка $4 \cdot 10^{-5}$ в год, что позволяет отождествлять данную разломную зону как опасную.

Аномалия № 2 характеризуется четкими знакопеременными смещениями с амплитудами порядка 2 – 3 мм. Итоговая накопленная величина смещений земной поверхности у этой аномалии имеет небольшую величину – 4 мм. Но учитывая, что ширина аномалии равна 0,6 км, ее относительная среднегодовая деформация равна всего $8 \cdot 10^{-6}$ в год. Поэтому этот разлом является активным, но неопасным за весь период инструментальных наблюдений.

Аномалия № 3 также имеет пульсационный знакопеременный характер. Амплитуды знакопеременных импульсов составляют величины порядка 1 – 1,5 мм, что при ширине аномалии в 0,5 км даст уровень относительных среднегодовых деформаций, равный всего $5 \cdot 10^{-6}$ в год. Поэтому интенсивность современной деформационной активности данного разлома не позволяет отнести его к категории опасных разломов.

Аномалия № 4 морфологически выглядит как «двойная» аномалия, приуроченная к одной разломной зоне. Подобное поведение аномалий характерно для тех случаев, когда разломная зона состоит из нескольких разрывных нарушений, что приводит к эффекту наложения аномалий [18, 19].

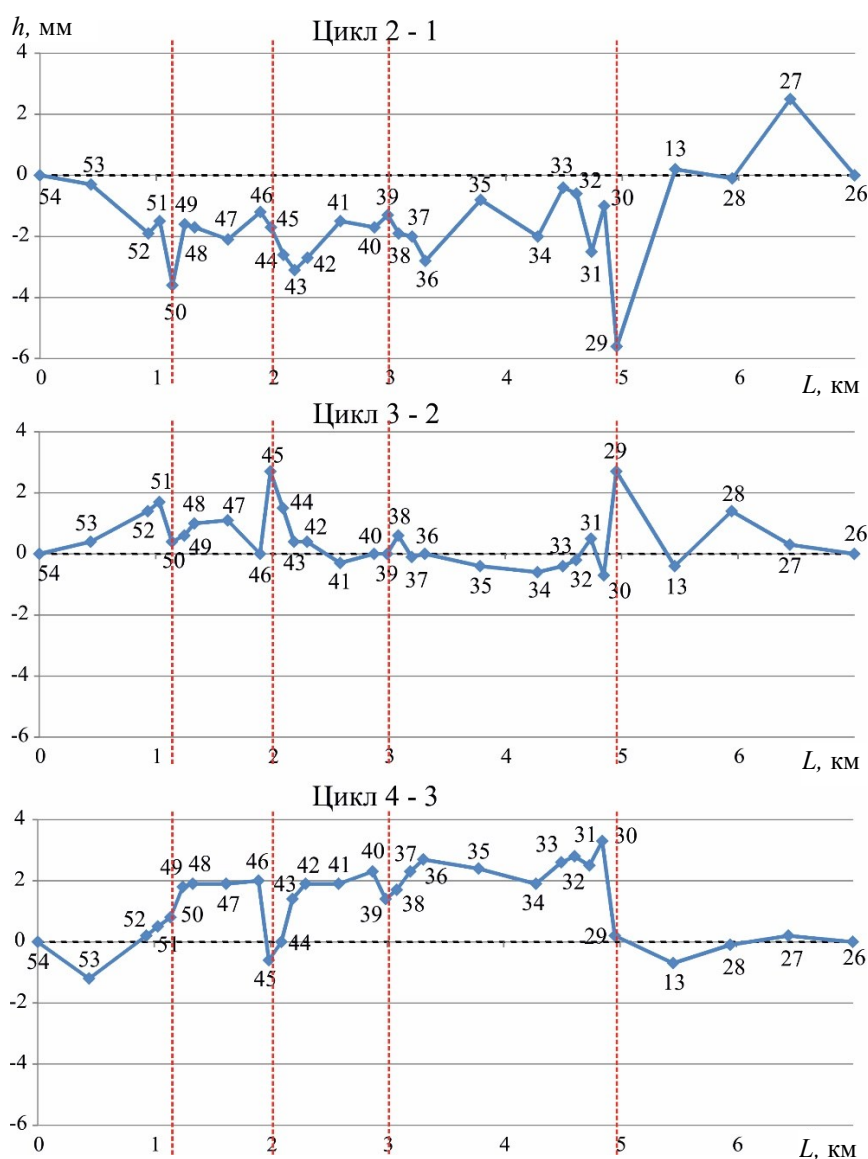


Рис. 5 – Результаты повторных нивелирных наблюдений на профиле 2, представленные в «пульсационной» форме. Красным пунктиром отмечены разломные зоны

Отчетливо выделяются два «пика» оседаний: в окрестностях реперов № 31 и 29. По всей вероятности, данная разломная зона является еще и областью повышенной трещиноватости, имеющей несколько разрывных нарушений, которые по результатам сейсморазведки определяются как единый разлом. Если рассматривать наибольшую по амплитуде из сдвоенной аномалии, то следует отметить ее высокую интенсивность. В период между циклами 2 и 1 амплитуда (смещение вниз) составляет 6 мм при ширине 0,6 км. В период между циклами 3-2 (смещение вверх) она имеет амплитуду 4 мм. В период между циклами 4-3 она меняет свою форму, и земная поверхность в окрестностях репера № 29 оседает на 3,6 мм. Если оценивать среднегодовую скорость относительных деформаций земной поверхности в зоне этого разлома, то она равна $6 \cdot 10^{-6}$ в год. Поэтому данная зона относится к категории опасного разлома.

Пятая аномалия, которая не связана с разломами, в основном фиксируется смещениями реперов № 27 и 28. Поскольку они знакопеременно не изменяются в пульсационном ритме, то можно констатировать, что их смещения не связаны ни с эксплуатацией ПХГ, ни с активизацией разломов. По всей вероятности, они обусловлены причинами экзогенного характера.

Профиль 3

На рис. 6 приведены данные повторных нивелирных наблюдений вдоль локального профиля 3.

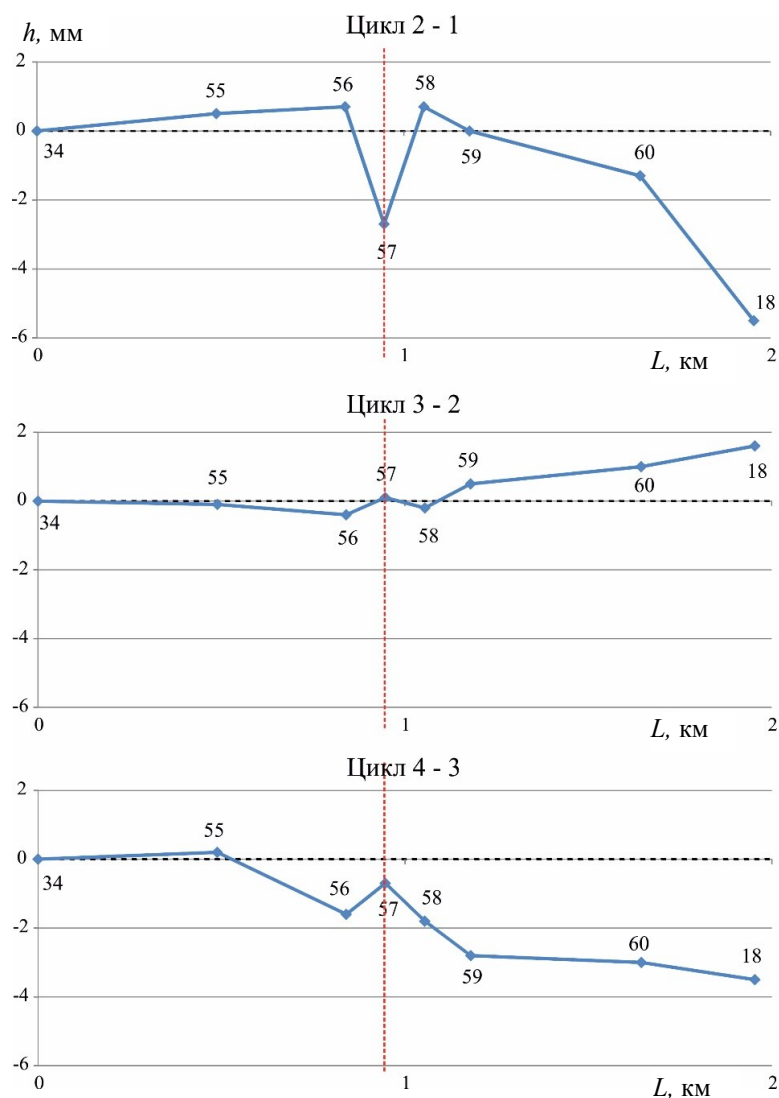


Рис. 6 – Результаты повторных нивелирных наблюдений на профиле 3, представленные в «пульсационной» форме. Красным пунктиром отмечены разломные зоны по данным сейсморазведки

Как следует из рис. 6, в зоне разлома имеет место аномалия типа γ с амплитудой в цикле 2-1 – 3,6 мм. Ширина аномалии составляет 0,2 км. Среднегодовая относительная деформация будет равна $3,6 \cdot 10^{-5}$ в год. Естественно, что данный разлом следует отнести к категории опасных. Анализируя график, можно отметить наличие знакопеременных смещений земной поверхности. Причем наибольшая амплитуда переменного знака, равная 1,5 мм, отмечается в цикле 4-3.

Для прямого сопоставления вертикальных и горизонтальных смещений земной поверхности на рис. 7 представлены результаты нивелирных и GPS измерений, проведенные по совмещенным наблюдательным пунктам [20, 21].

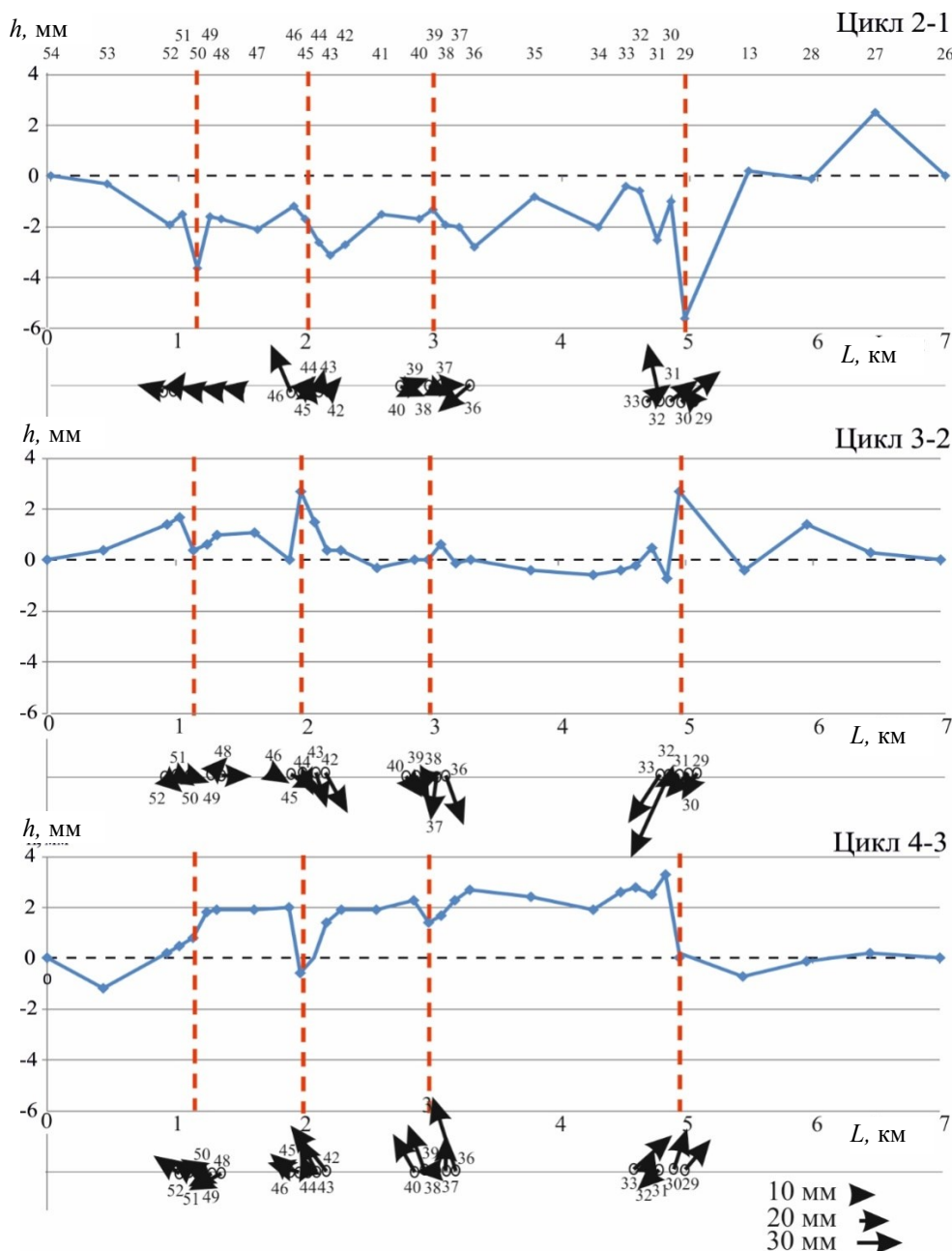


Рис. 7 – Сопоставление нивелирных и GPS наблюдений вдоль профиля II-II

Как видно из графика, величины аномальных горизонтальных смещений на порядок и более превосходят вертикальные. Согласованность в направлении векторов минимальная, при том что расстояние между реперами меньше 100 м.

Заключение

Сравнительный анализ деформационных процессов на подземных хранилищах газа, построенных в различных геологических структурах, показал, что результаты мониторинга, проведенного в пределах ПХГ, организованного в водоносных горизонтах, отличаются от аномальных деформаций на ПХГ, созданных в истощенных залежах. В первом случае наиболее контрастно проявляют себя «региональные» поднятия и оседания земной поверхности территории всего ПХГ, а локальные, приразломные аномалии выражены более слабо. Во втором случае, когда при строительстве ПХГ используется истощенная залежь, деформационная активность разломных зон явно доминирует над общим поднятием и оседанием земной поверхности территории ПХГ.

Анализ данных GPS показал, что при паспортной точности приемников (точность определения горизонтальной компоненты в постобработке $\pm 3\text{ мм} + 0,5\text{ ppm}$) определить величину смещения амплитудой меньше 5 мм достаточно затруднительно, поскольку расстояния до базовых станций, относительно которых проводятся измерения реперов, расположенных в зонах разломов, исчисляются несколькими километрами. Тем самым во время циклического воздействия на недра, когда пластовое давление изменяется на сравнительно небольшие величины, получить истинные смещения спутниковыми методами в зонах разломов достаточно сложно [21]. Однако хорошо известно, что именно к этим зонам приурочены аварийные ситуации на объектах нефтегазового комплекса [1, 3, 11]. В этой связи в качестве альтернативы был предложен способ измерений горизонтальных смещений путем построения микротрилатерационных сетей в разломных зонах, что позволяет не только многократно повысить точность измерений и информативность их результатов по сравнению со спутниковыми методами, но и значительно сократить финансовые расходы на выполнение работ по геодинамическому мониторингу территории.

Литература

1. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика и оценка геодинамического риска при недропользовании / Ю.О. Кузьмин. - М.: Агентство Экономических Новостей, 1999. - 220 с.
2. Кузьмин Ю.О. Современная аномальная геодинамика недр, индуцированная разработкой месторождений нефти и газа / Ю.О. Кузьмин // Фундаментальный базис новых технологий нефтяной и газовой промышленности. Вып. 2. - М.: ГЕОС, 2002. - С. 418 – 427.
3. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика разломов и эколого-промышленная безопасность объектов нефтегазового комплекса / Ю.О. Кузьмин // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. - 2007. - № 1. - С. 33 – 41.
4. Кузьмин Ю.О. Геодинамический мониторинг объектов нефтегазового комплекса / Ю.О. Кузьмин, А.И. Никонов // Фундаментальный базис новых технологий нефтяной и газовой промышленности. Вып. 2. - М.: ГЕОС, 2002. - С. 427 – 433.
5. Маркшейдерия: Учебник для вузов / М.Е. Певзнер, В.Н. Попов, В.А. Букринский и др. - М.: МГГУ, 2003. - 419 с.
6. Грунин А.Г. Проблемные вопросы проектирования геодинамических полигонов на месторождениях УВ / А.Г. Грунин, Ю.О. Кузьмин, Е.А. Фаттахов // Маркшейдерский вестник. - 2014. - № 6. - С. 24 – 31.
7. Жуков В.С. Оценка процессов проседания земной поверхности при разработке газовых месторождений (на примере Северо-Ставропольского месторождения) / В.С. Жуков, Ю.О. Кузьмин, Г.А. Полоудин // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. - № 7. - 2002. - С. 54 – 57.
8. Современная геодинамика и сейсмичность Юго-Востока Татарстана / Р.С. Хисамов, Н.С. Гатиятуллин, Ю.О. Кузьмин, Р.Х. Бакиров и др. - Казань: «Фэн», 2012. -

240 с.

9. Инклинометрические наблюдения на месторождении им. Ю. Корчагина / Ю.О. Кузьмин, А.В. Дещеревский, Е.А. Фаттахов, Д.К. Кузьмин и др. // Геофизические процессы и биосфера. – 2018. – Т. 53. – № 3. – С. 31 – 41.

10. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика: от движений земной коры до мониторинга ответственных объектов / Ю.О. Кузьмин // Физика Земли. – 2019. – № 1. – С. 78 - 103.

11. Кузьмин Ю.О. Геодинамическая природа аварийности скважин и трубопроводных систем / Ю.О. Кузьмин, А.И. Никонов // Перспективы развития экологического страхования в газовой промышленности. - М.: Газпром, 1998. – С. 315 – 328.

12. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика опасных разломов /Ю.О. Кузьмин // Физика Земли. – 2016. – № 5. – С. 87 – 101.

13. Кузьмин Д.К. Моделирование современных геодеформационных процессов в разломных зонах / Д.К. Кузьмин, Ю.О. Кузьмин, Е.А. Фаттахов // Современная геодинамика недр и эколого-промышленная безопасность объектов нефтегазового комплекса: Материалы Всероссийской конференции / Российская Академия Наук; Отделение наук о Земле; Институт проблем нефти и газа; Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта. – М., 2013. – С. 90 – 99.

14. Абрамян Г.О. Решение обратных задач современной геодинамики недр на месторождениях углеводородов и подземных хранилищах газа / Г.О. Абрамян, Д.К. Кузьмин, Ю.О. Кузьмин // Маркшейдерский вестник. –2018. – № 4. – С. 52 – 61.

15. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика разломных зон осадочных бассейнов и процессы подготовки землетрясений / Ю.О. Кузьмин // Прогноз землетрясений. – № 11. – М.: Дониш, 1989. – С. 52 – 60.

16. Сидоров В.А. Пространственно-временные характеристики современной динамики геофизической среды сейсмоактивных и асейсмичных областей / В.А. Сидоров, Ю.О. Кузьмин // Дискретные свойства геофизической среды. – М: Наука, 1989. – С. 33 - 46.

17. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика раздвиговых разломов / Ю.О. Кузьмин // Физика Земли. – 2018. – № 6. – С. 87 – 105.

18. Кузьмин Ю.О. Актуальные проблемы идентификации результатов наблюдений в современной геодинамике / Ю.О. Кузьмин // Физика Земли. – 2014. – № 5. – С. 51 - 64.

19. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика системы разломов / Ю.О. Кузьмин // Физика Земли. – 2015. – № 4. – С. 25 – 30.

20. Анализ деформаций земной поверхности на Степновском подземном хранилище газа методами спутниковой и наземной геодезии / С.С. Квятковская, Ю.О. Кузьмин, Р.С. Никитин, Е.А. Фаттахов // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Том 22. – № 3. – С. 16 - 32.

21. Кузьмин Ю.О. Парадоксы сопоставительного анализа измерений методами наземной и спутниковой геодезии в современной геодинамике / Ю.О.Кузьмин // Физика Земли. – 2017. – № 6. – С. 24 – 39.