

НОВЫЙ ПОДХОД К ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ОБЪЕКТАХ ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩ ГАЗА

С.В. Шевчук¹, С.С. Квятковская¹, Р.В. Шевчук²

¹ ООО «Газпром ПХГ»;

² НИТУ «МИСиС»

Аннотация: Представлена разработка нового подхода при интерпретации данных, полученных по результатам геодинамического мониторинга на подземных хранилищах газа. Целью предлагаемого подхода является получение абсолютных значений деформационных процессов, вызванных активизацией разломных зон, прогнозирование опасных ситуаций и своевременное определение опасных зон. Выполненная оценка существующих подходов по построению «пульсационных» и «эволюционных» графиков по профильным линиям геодинамического полигона показывает отсутствие возможности однозначной интерпретации происходящих геодинамических процессов. Основной причиной чего является наличие геомеханической составляющей в полученных данных. В качестве альтернативы предлагается подход по интерпретации сезонных «пульсационных» и сезонных «эволюционных» графиков, которые с высокой достоверностью позволяют определить наличие активных разломных зон и оценить вызванные ими абсолютные значения деформационных процессов в пределах горного отвода подземного хранилища газа. Кроме того, подобный взгляд на интерпретацию данных позволяет утверждать, что наблюдения на геодинамических полигонах подземных хранилищ газа могут быть сокращены до одного раза в год, при условии отсутствия зафиксированных ранее сверхинтенсивных деформаций в весенние периоды наблюдений, а также по результатам текущих измерений в осенние периоды.

Ключевые слова: подземное хранилище газа, геодинамический полигон, маркшейдерско-геодезические наблюдения, «пульсационные» графики, «эволюционные графики», разлом, оседания.

Для цитирования: Шевчук С.В., Квятковская С.С., Шевчук Р.В. Новый подход к интерпретации данных геодинамического мониторинга на объектах подземных хранилищ газа // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 2–1. – С. 77–91. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-77-91.

A new approach to the interpretation of geodynamic monitoring data at underground gas storage facilities

S.V. Shevchuk¹, S.S. Kvyatkovskaya¹, R.V. Shevchuk²

¹ Gazprom UGS LLC, Russia;

² NUST "MISIS", Russia

Abstract: The work is devoted to the development of a new approach to the interpretation of data obtained from the results of geodynamic monitoring at underground gas storage facilities.

The aim of the proposed approach is to obtain the absolute values of deformation processes caused by the activation of fault zones, to predict hazardous situations and timely identify hazardous zones. The assessment of the existing approaches to the construction of “pulsation” and “evolutionary” graphs along the profile lines of the geodynamic test site shows the absence of the possibility of an unambiguous interpretation of the ongoing geodynamic processes. The main reason for this is the presence of a geomechanical component in the data obtained. As an alternative, an approach is proposed for the interpretation of seasonal “pulsation” and seasonal “evolutionary” plots, which with high reliability allow determining the presence of active fault zones and assessing the absolute values of deformation processes caused by them within the mining allotment of an underground gas storage. In addition, such a view on the interpretation of the data suggests that observations at geodynamic test sites of underground gas storage facilities can be reduced to once a year, provided that there are no previously recorded super-intense deformations in the spring periods of observations, as well as based on the results of current measurements in the autumn periods.

Key words: underground gas storage, geodynamic testing ground, mine surveying and geodetic observations, “pulsation” graphs, “evolutionary graphs”, “seasonally pulsation” graphs, fault, subsidence.

For citation: Shevchuk S.V., Kvyatkovskaya S.S., Shevchuk R.V. A new approach to the interpretation of geodynamic monitoring data at underground gas storage facilities. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(2–1):77–91. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-77-91.

Введение

Интенсивное воздействие на недра в XXI веке оказывает значительно влияние на безопасность не только самих объектов недропользования, но и на безопасность рядом расположенных объектов инфраструктуры [1 – 12].

Согласно статье 24 Закона «О недрах» недропользователь обязан обеспечить проведение комплекса геологических, маркшейдерских и иных наблюдений, достаточных для обеспечения нормального технологического цикла работ и прогнозирования опасных ситуаций, своевременное определение и нанесение на планы горных работ опасных зон.

Для подземных хранилищ газа (ПХГ) основными наблюдениями, обеспечивающими прогнозирование опасных зон, являются систематические инструментальные маркшейдерско-геодезические и гравиметрические измерения на созданных геодинамических полигонах (ГДП).

Опыт создания геодинамических полигонов в пределах горного отвода подземных хранилищ газа России насчитывает уже более 10 лет, что позволяет произвести комплексную оценку полученных результатов и выявить существующие недостатки.

Основной проблемой при интерпретации данных геодинамического мониторинга подземных хранилищ газа видится взаимное наложение геомеханических и геодинамических процессов, которые не дают возможности сформировать однозначное мнение о природе возникновения деформационных процессов.

Структура геодинамического полигона и методы наблюдений

Геодинамический полигон при эксплуатации подземных хранилищ газа представляет собой совокупность реперов, закладываемых по профильным линиям, и обеспечивает изучение влияния эксплуатации ПХГ на окружающую среду.

В процессе геодинимического мониторинга проводится количественная оценка горизонтальной и вертикальной составляющих векторов сдвижения, а также выполняется изучение закономерностей изменений гравитационного и магнитного полей.

В качестве грунтовых (рабочих) реперов используется тип 160 оп. знак, а для фундаментальных (опорных) тип 161 оп. знак. Для повышения точности гравиметрических наблюдений репер совмещают с гравиметрической площадкой (см. рис. 1).

В качестве примера предлагается рассмотреть геодинимический полигон, заложённый на одном из подземных хранилищ газа, расположенном в центральной части России. Данное хранилище газа создано в водоносном пласте.

Для определения вертикального вектора сдвижения земной поверхности на территории подземных хранилищ газа проводится высокоточное нивелирование по программе II класса с допусками, характерными для нивелирования I класса. Схема нивелирных ходов на геодинимическом полигоне приведена на рис. 2.

Для определения горизонтального вектора сдвижения земной поверхности используются спутниковые наблюдения методом относительных определений в режиме классической статики. Схема спутниковых наблюдений приведена на рис. 3.

Авторами работы [13] выявлено, что спутниковые наблюдения не позволяют с требуемой точностью определить горизонтальный вектор сдвижения, и в качестве альтернативного метода предлагают использовать построение микротрилатерационных сетей, в связи с этим в данной работе полученные графики горизонтальных сдвижений земной поверхности оцениваться не будут.

Для оценки флюидодинамических процессов, происходящих при эксплуатации ПХГ применяются геофизические методы. Гравиметрические наблюдения направлены на выявление локальных вариаций силы тяжести во времени, обусловленных изменением плотностных характеристик горных пород. Данный метод обеспечивает получение дополнительной информации и рассматривается совместно с результатами нивелирования.

Поскольку эксплуатация подземного хранилища газа имеет свою особенность, которая выражена циклическим изменением пластового давления от максимального (осенний период) до минимального (весенний период), проектом геодинимического полигона предусмотрено проведение маркшейдерско-геодезических и гравиметрических наблюдений не реже двух раз в год в нейтральные периоды.

Интерпретация «эволюционных» и «пульсационных» графиков

Обработка результатов наблюдений производится после каждого цикла измерений. По полученным результатам наблюдений составляются графики вертикальных и горизонтальных смещений, а также графики изменения силы тяжести.

Для оценки происходящих геодинимических процессов используются две формы построения графиков: «эволюционные» и «пульсационные» [14].

«Эволюционные» графики отражают сдвижения земной поверхности относительно первого цикла наблюдений, показывая временную динамику, и определяются вычитанием текущих величин из значений, полученных при первом наблюдении. Второй тип графиков отражает периоды возникновения пульсаций сдвижения и определяет длительность протекания аномального сдвижения [14].

В работе [15] авторы отмечают, что учет циклического воздействия подземных хранилищ газа на недра целесообразнее анализировать, используя «пульсационные» графики.

На рис. 4 приведены «эволюционные» графики по результатам высокоточного нивелирования профильной линии I—I.

Первый цикл наблюдений был выполнен в весенний период, поэтому для нечетных циклов нейтральный период характерен после отбора газа, а для четных циклов — после закачки газа.

На рис. 5 приведены три пульсационных графика (2—1; 3—2; 4—3) по результатам высокоточного нивелирования, характерные для того же периода наблюдений, что и на рис. 4.

Интерпретация графиков в обязательном порядке выполняется с учетом ранее проанализированных данных по давлениям в пласте-коллекторе.

Стоит отметить, что третий цикл был проведен после нейтрального периода в процессе закачки газа (июнь-июль), что было выполнено для оценки происходящих процессов в период активной стадии изменения давления в пласте. Давление в пласте с нейтрального периода до момента наблюдений было увеличено на 11,8 кгс/см², что составляет 78 % от максимально возможного. Данные по разности давлений (ΔP) между циклами приведены на графиках.

Описывая «эволюционные» графики, можно заметить закономерное нахождение кривой выше оси абсцисс, что коррелируется с положительным значением ΔP .

Поведение реперов (2—5) в третьем и четвертом циклах подтверждает наличие разломной зоны, которая была выявлена на стадии проектирования.

Центральная часть графика характеризуется беспорядочным движением

реперов, что объясняется наличием сильной раздробленности исследуемой части профиля. В пределах данного интервала выделяется поведение 17-го репера, который начиная с третьего цикла наблюдений позволяет зафиксировать гамма-аномалию с одинаковой амплитудой и в третьем, и в четвертом циклах.

Восточная часть профиля показывает, что по имеющейся разломной зоне происходит оседание северной части, в которой расположены реперы с 22-го по 24-ый. Поднятие 27-го репера достигает 12 мм, что, учитывая наличие разломной зоны, может служить основанием для подтверждения возникновения опасных процессов.

При анализе пульсационного графика 3—2 отмечается поднятие земной поверхности, что не согласуется с имеющимися данными по давлению. Фиксируется проявление гамма-аномалии по 17-ому реперу. Напротив, график 4—3 характеризуется своим положением ниже оси абсцисс, что также позволяет утверждать о «нелогичном» поведении земной поверхности.

Согласно геологической информации, купол, который и является объектом хранения газа, располагается в центральной части профильной линии, ориентировочно с 6-го репера по 24-ый репер. Необходимо уточнить, что данное ПХГ имеет водонапорный режим эксплуатации. Учитывая эти обстоятельства, а также понимая, что флюидодинамические процессы в значительной мере зависят от геологических условий, можно рассмотреть поднятие 26-го и 27-го реперов не как активизацию разломной зоны, а как естественный процесс водооттеснения, что подтверждается данными пьезометрических скважин. Аналогичная ситуация характерна и для реперов со 2-го по 4-ый. Обоснованием данного пред-

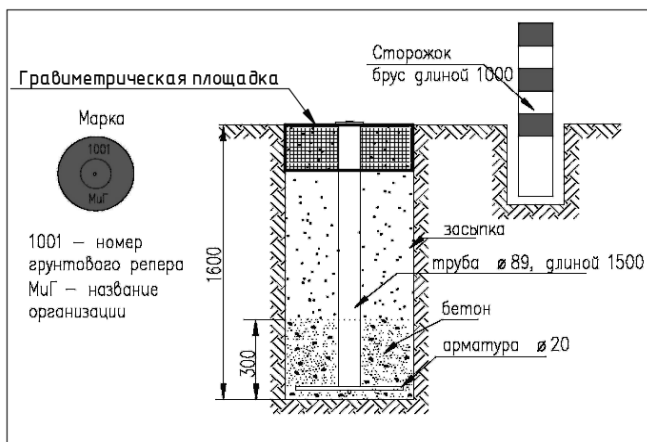


Рис. 1. Пункт геодинамического полигона, совмещенный с гравиметрической площадкой
 Fig. 1. The point of the geodynamic polygon, combined with the gravimetric site

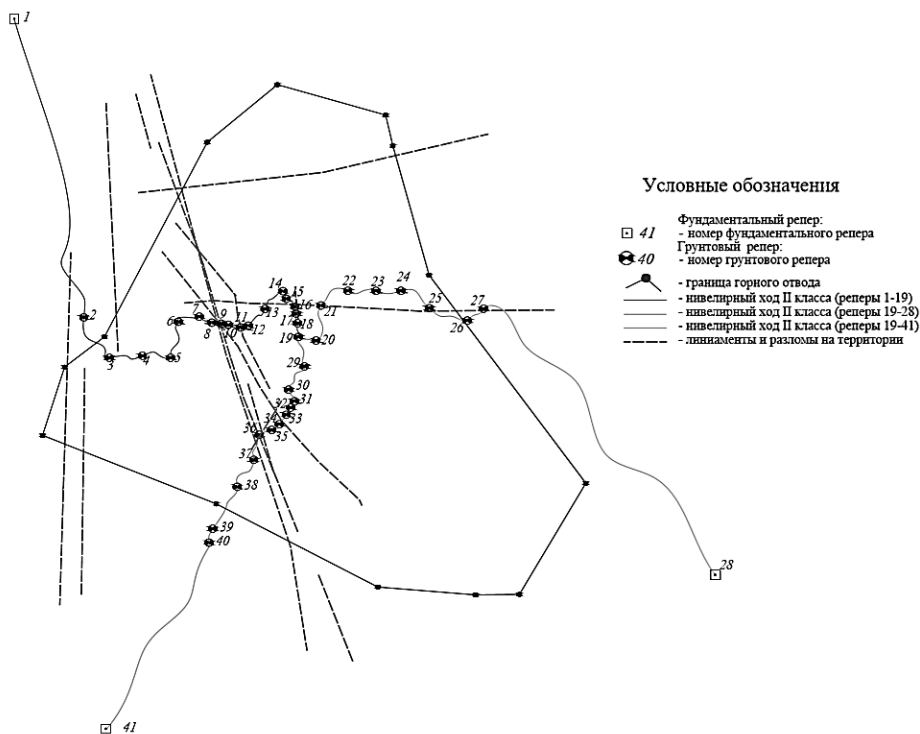


Рис. 2. Схема нивелирных ходов
 Fig. 2. Scheme of leveling moves

положения является поведение кривой на «пульсационном» графике между четвертым и третьим циклами. Так, в центральной части, где находятся

основные эксплуатационные скважины, фиксируется стабилизация давления и, как следствие, — отсутствие процесса сдвижения. Если разделить

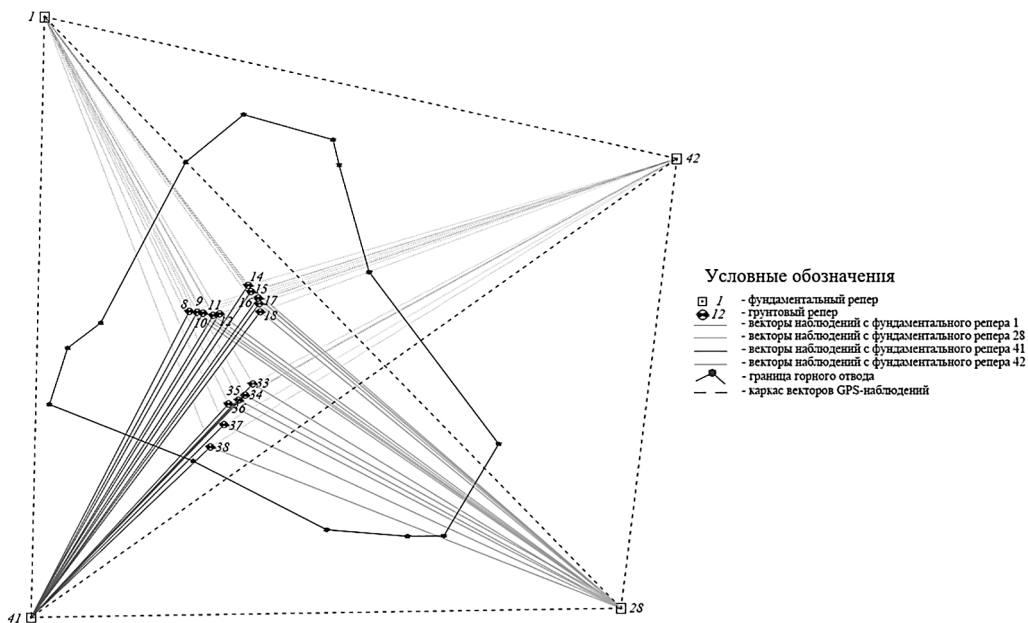


Рис. 3. Схема спутниковых наблюдений
 Fig. 3. Scheme of satellite observations

график на две части по реперу 18, исключив фундаментальные реперы и проведя две линии тренда, можно заметить, что они будут зеркально отображать друг друга, позволяя с требуемой достоверностью утверждать, что поведение 26-го и 27-го реперов является следствием естественного процесса эксплуатации хранилища и никак не зависит от разломной зоны. Рассматривая совместно «эволюционные» графики (3–1 и 4–1) и «пульсационный» график 4–3, можно заметить оседание по реперам западной половины профиля, что объясняется ранее озвученным процессом водооттеснения. Однако полученные графики не исключают наличия разломной зоны между 3-им и 4-ым реперами, которая с одинаковой амплитудой зафиксирована и на «эволюционном» графике 3–1, и на «эволюционном» графике 4–1.

Отсюда можно сделать заключение, что при рассмотрении «пульсационных» и «эволюционных» графиков полученный вектор сдвижения в зоне динамического влияния разлома имеет две составляющие: геомеханическую, вызванную изменением давления в пласте, и геодинамическую, вызванную активизацией разломной зоны. Так, репер 17 имеет одинаковую геодинамическую составляющую и в третьем, и в четвертом циклах, а его абсолютная отметка меняется в зависимости от геомеханической составляющей. По реперам 26–27 геодинамическая составляющая не выявлена, а полученные поднятия обусловлены процессом оттеснения воды.

В качестве дополнительного аргумента для подтверждения предположения о возникновении аномальных значений деформаций на границах горного отвода вследствие замещения воды газом

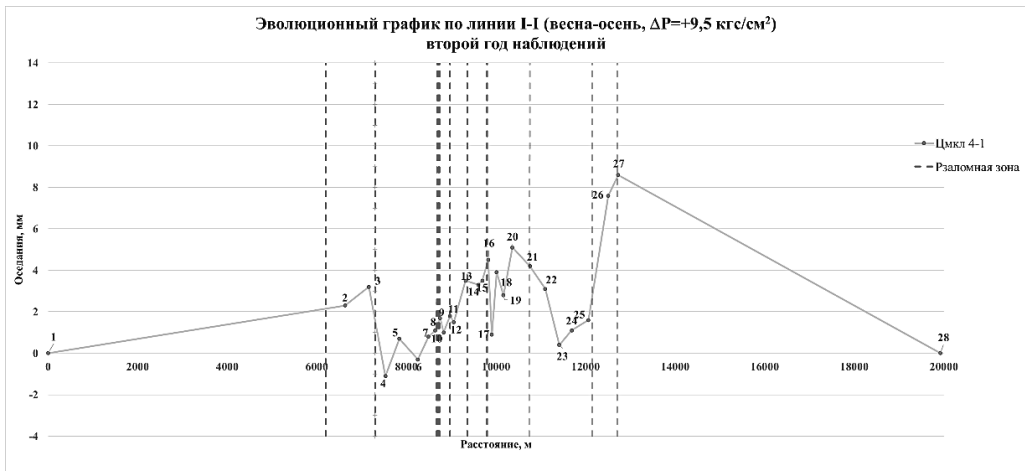
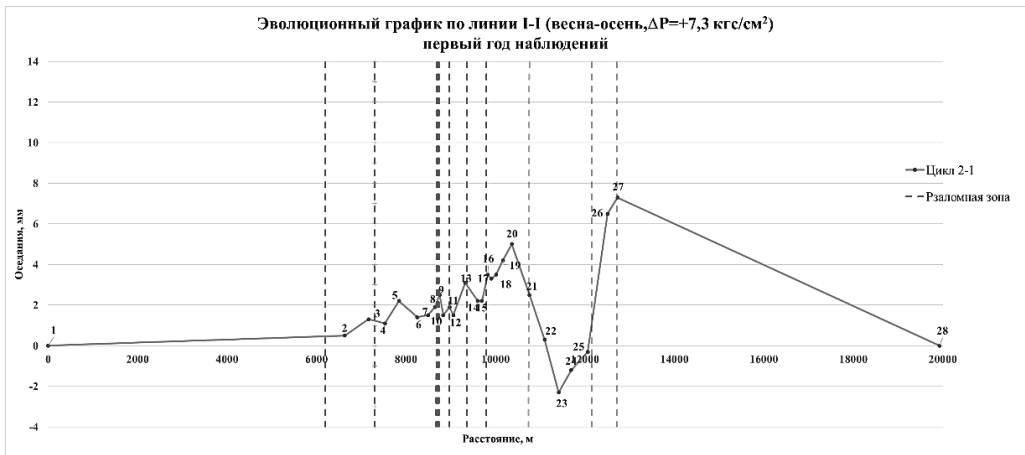


Рис. 4. «Эволюционные» графики профильной линии I-I
Fig. 4. “Evolutionary” graphs of the I-I profile line

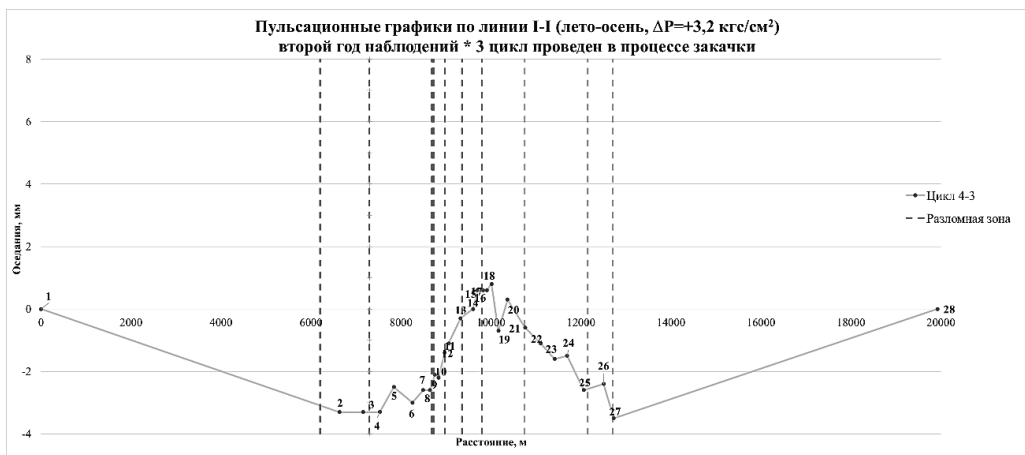
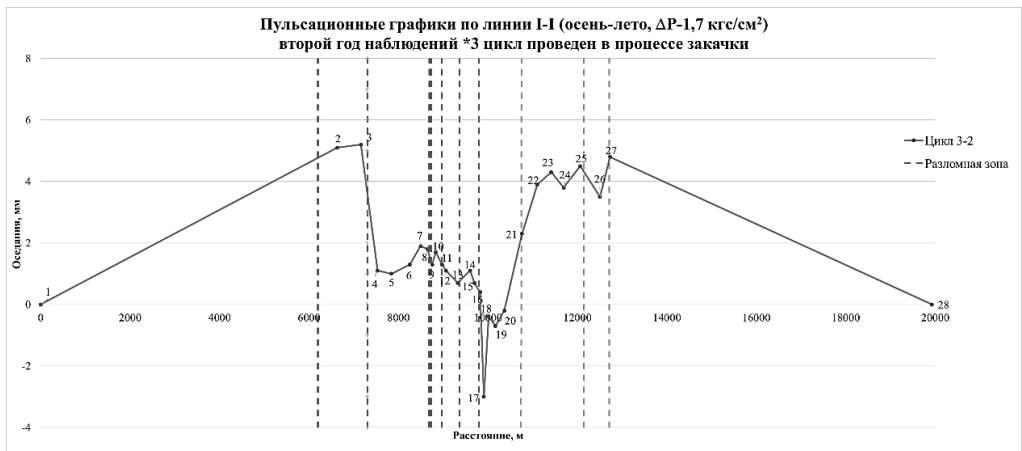


Рис. 5. «Пульсационные» графики профильной линии I—I
Fig. 5. "Ripple" graphs of the profile line I—I

на рис. 6 приведены «эволюционные» графики, а на рис. 7 «пульсационные» графики по профильной линии II—II.

Поведение реперов по профилю II—II, в отличие от профильной линии I—I, полностью коррелируется со значениями по давлению, что объясняется геометрическими параметрами купола для хранения газа.

Как и по предыдущему профилю, на периферии фиксируются значения поднятия земной поверхности выше, чем в центральной части. Важно заметить, что в интервале между 38-ым и 40-ым реперами отсутствуют разломные зоны. Данное обстоятельство подтверждает ранее озвученное предположение о поднятии земной поверхности, связанном с оттеснением воды. Что нельзя сказать о выявленном оседании по 33-му реперу, который находится в пределах разломной зоны и подтверждает ее наличие.

Значения, приведенные на графиках, коррелируют с процессом вытеснения воды, которая при стадии закачки газа в ПХГ перемещается в большей степени в восточную часть горного отвода, а уже после начинает распространяться в южную часть.

Построение «пульсационных» и «эволюционных» графиков позволяет полностью описать геомеханические процессы, вызванные циклической эксплуатацией ПХГ, однако создает трудности при интерпретации поведения разломных зон, основной целью чего и является геодинамический мониторинг на ПХГ.

Недостатком существующего подхода при интерпретации данных геодинамического мониторинга в пределах горного отвода подземного хранилища газа можно считать отсутствие получения абсолютных значений деформаций, вызванных активизацией разломных зон, исключая влияния геомеханических процессов.

Интерпретация данных по сезонным графикам

Результаты проведенной авторами аналитической работы по имеющимся наблюдениям на геодинамических полигонах подземных хранилищ газа России, в том числе и по рассмотренному ПХГ, позволили заметить, что, как правило, за первый цикл принимаются значения, полученные в весенний нейтральный период. И, соответственно, построение всех «эволюционных» графиков выполняется относительно первого весеннего цикла. По мнению авторов данной статьи, существующий подход требует пересмотра.

Давление в пласте-коллекторе в весенний нейтральный период зависит от ряда факторов, что накладывает дополнительные условия на полученные данные. Так, результаты наблюдений между двумя весенними периодами не позволяют определить абсолютные значения деформаций, вызванных проявлением разломных зон, ввиду отсутствия установленной зависимости между изменением давления в пласте и абсолютными значениями геомеханической составляющей.

На рис. 8 и 9 представлены графики, построенные по осенним циклам измерений при давлении в пласте-коллекторе, стремящемся к максимальному значению. Для разграничения «пульсационных» и «эволюционных» графиков и графиков «осень-осень», «весна-весна» предлагается ввести термины: сезонные «пульсационные» и сезонные «эволюционные» графики.

До начала интерпретации графиков нужно оговорить, что разница давлений между осенними циклами наблюдений составляла $+1,5 \text{ кгс/см}^2$.

Описывая график по профилю I—I, мы фиксируем незначительное проявление геомеханической составляющей в краевых частях, вызванной флюидо-

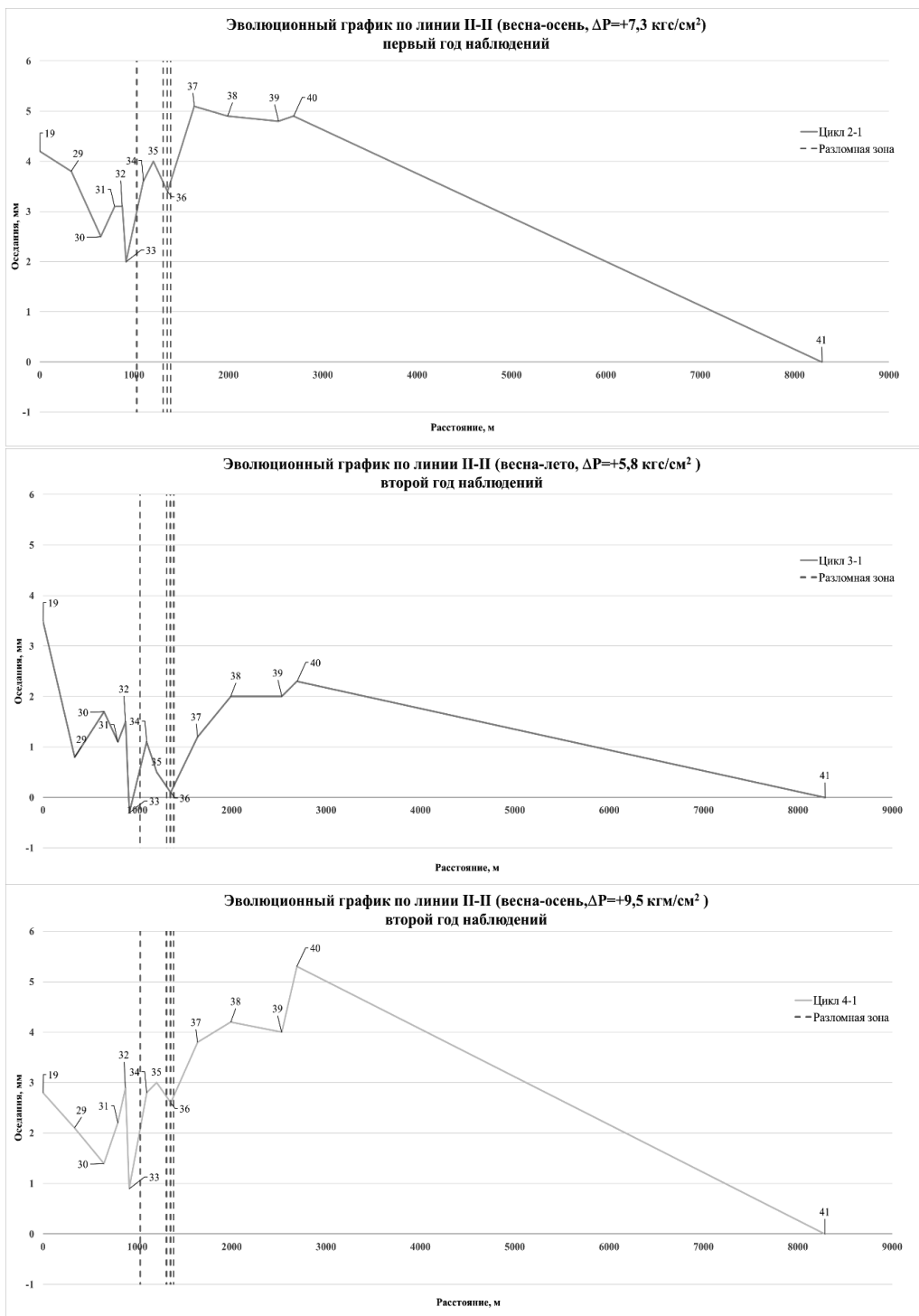


Рис. 6. «Эволюционные» графики профильной линии II—II
 Fig. 6. “Evolutionary” graphs of the profile line II—II

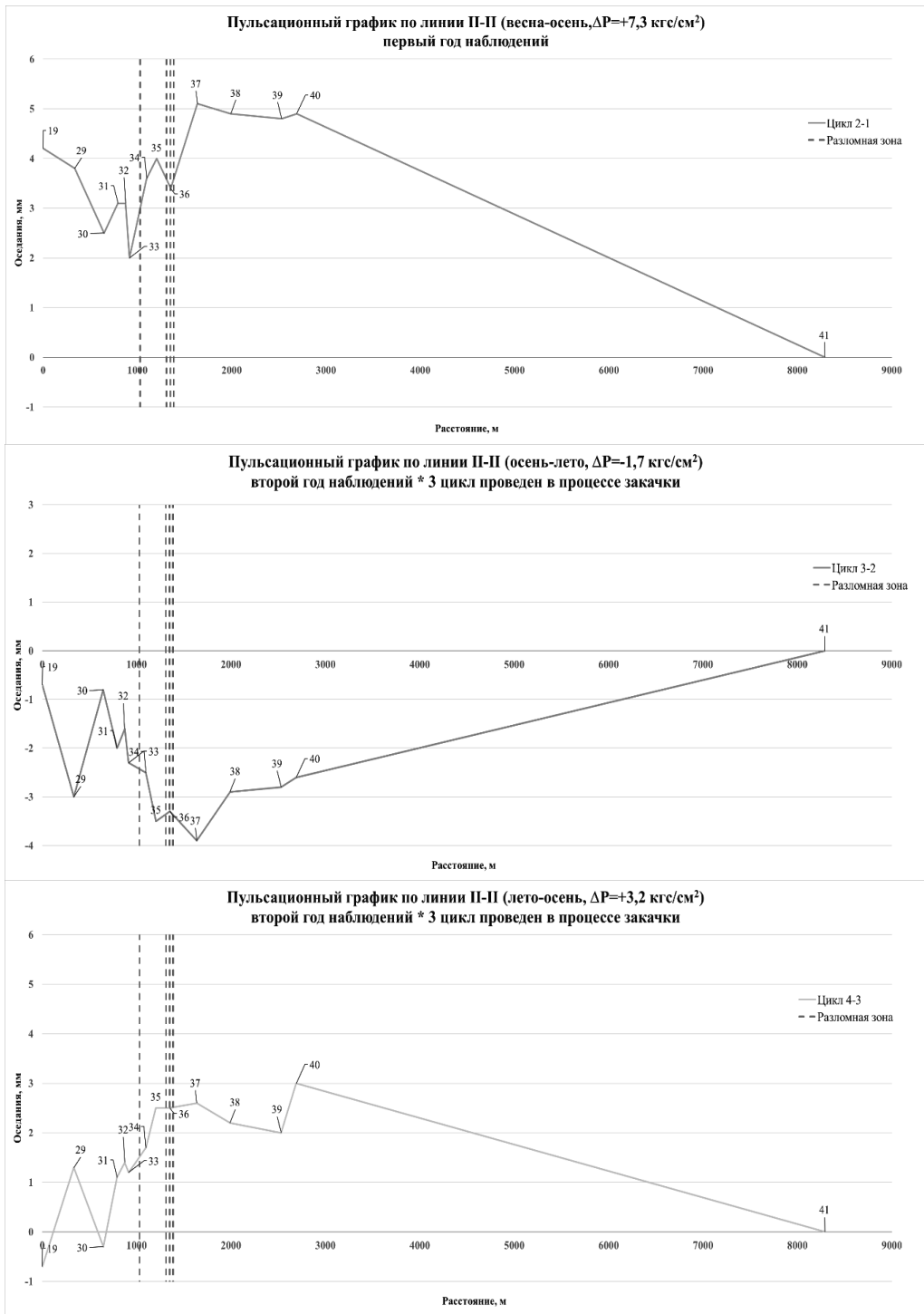


Рис. 7. «Пулсационные» графики профильной линии II—II
Fig. 7. "Ripple" graphs of the profile line II—II



Рис. 8. Сезонный «пульсационный» график (осень-осень) профильной линии I—I
 Fig. 8. Seasonal “pulsation” schedule (autumn-autumn) of the profile line I—I

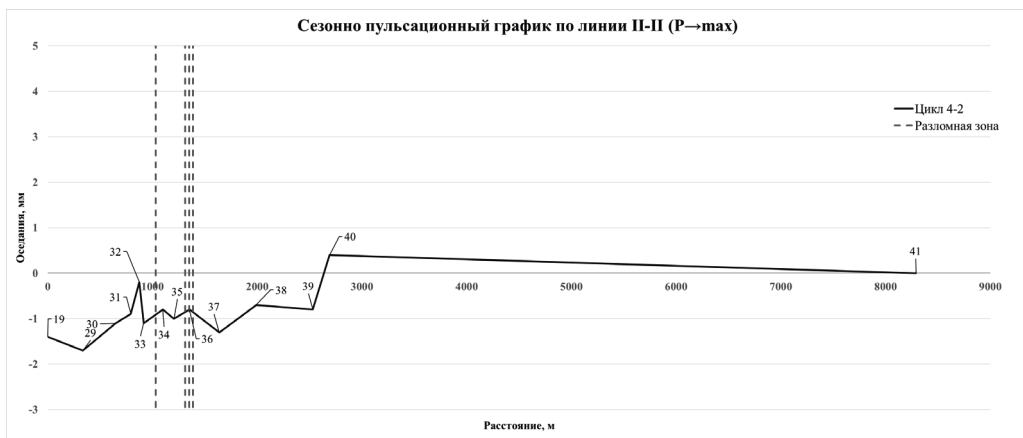


Рис. 9. Сезонный «пульсационный» график (осень-осень) профильной линии II—II
 Fig. 9. Seasonal “pulsation” schedule (autumn-autumn) of the profile line II—II

динамическими процессами, что также подтверждается гравиметрическими наблюдениями. Сезонный «пульсационный» график коррелируется с ранее описанными данными и позволяет выявить проявление разломной зоны между 3-им и 4-ым реперами. Поведение 5-го и 6-го реперов может быть вызвано как незначительными геомеханическими процессами, так и их нахождением в зоне динамического влияния разлома.

На профиле между 15-ым и 20-ым реперами проявляется гамма-аномалия,

которая ранее была зафиксирована между третьим и вторым циклами. Репер 18 отклоняется от общей закономерности, что может быть обусловлено его расположением относительно разлома.

Значения по профилю II—II не превышают величины инструментальной ошибки. Полученные значения полностью коррелируются с происходящими процессами.

Так как данные графики построены по результатам одного года наблюдений, то их значения в аномальных зонах могут

быть меньше по сравнению с вышеописанными графиками, поскольку деформационные процессы в разломных зонах не являются линейной зависимостью от времени. Что и объясняет отсутствие разломной зоны на сезонном «пульсационном» графике по профилю II – II.

Данный подход позволяет оценить происходящие геодинамические процессы, исключив геомеханическую составляющую.

По результатам интерпретации предлагаемых форм графиков получены одинаковые заключения о наличии в пределах горного отвода двух разломных зон, которые в значимой степени проявили себя.

Приведенные результаты позволяют утверждать, что «пульсационные» графики, построенные по данным осенних циклов, обеспечивают достоверное выявление происходящих геодинамических процессов, исключая циклическое влияние эксплуатации ПХГ и связанные с ним геомеханические процессы.

Согласно представленному обстоятельству и тому факту, что в течении двух лет наблюдений поднятие земной поверхности после стабилизации давления было абсолютно одинаковым, можно утверждать, что геомеханическая составляющая не оказывает влияния на безопасность эксплуатации наземного комплекса. В связи с чем проведение одного цикла наблюдений в год, по мнению авторов, можно считать достаточным для подземных хранилищ газа при усло-

вии отсутствия зафиксированных ранее сверхинтенсивных деформаций в проведенных наблюдениях в весенние периоды, а также по результатам сезонных «пульсационных» графиков.

Выводы

Было показано, что интерпретация «эволюционных» и «пульсационных» графиков по результатам весенних и осенних циклов геодинамического мониторинга в пределах горного отвода подземных хранилищ газа не позволяет однозначно выявить и оценить абсолютные значения деформаций, вызванных проявлением разломных зон, исключив геомеханическую составляющую.

Для совершенствования интерпретации данных геодинамического мониторинга предложено в качестве первого цикла наблюдений использовать значения, полученные в осенний нейтральный период, когда давление в пласте-коллекторе стремится к максимальному значению. В качестве основных графиков для интерпретации поведения разломных зон могут служить сезонные «эволюционные» и «пульсационные» графики, обеспечивающие одинаковое давление на момент проведения измерений.

Полученные результаты позволяют утверждать, что одного осеннего цикла наблюдений в год достаточно для выявления геодинамических процессов на подземных хранилищах газа при условии отсутствия зафиксированных ранее сверхинтенсивных деформаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Batugin A., Musina V., Golovko I.* Analysis of geodynamical conditions of region of burning coal dumps location. In: Proceedings of World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS-2017), Praga, on September 11 – 15, 2017. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 95 (2017) 042023. doi :10.1088/1755-1315/95/4/042023.
2. *Batugin A.S., Odintsev B.N., Kolikov K.S., Khotchenkov Ev. V.* Dynamical destruction of rock mass due to excavation of a coal seam. In: Proceeding of the 2018 European Rock Mechanics Symposium “Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses” (EUROCK-2018, Saint-Petersburg, Russia, 22 – 26 May 2018), vol.1, pp. 593 – 598.

3. *Kashnikov Y.A., Ashikhmin S.G., Shustov D.V., Kondratiev S.A., Utochkin Y.W.* In situ stress in the oil fields of Western Ural. *Neftyanoe Khozyaystvo – Oil Industry* [Electronic resource], 2016., Vol. 5., pp. 64–67.

4. *Гришко С.В., Кашников Ю.А.* Определение необходимого и достаточного числа опорных пунктов в локальных геодинамических спутниковых сетях // *Маркшейдерский вестник*. – 2017. – № 2(117). – С. 29–32.

5. *Рассказов И.Ю., Саксин Б.Г., Усиков В.И., Потапчук М.И.* Геодинамическое состояние массива пород Николаевского полиметаллического месторождения и особенности проявления удароопасности при его освоении // *Горный журнал*. – 2016. – № 12. – С. 13–19. DOI 10.17580/gzh.2016.12.03.

6. *Козырев А.А., Семенова И.Э., Журавлева О.Г., Пантелеев А.В.* Гипотеза происхождения сильного сейсмического события на расрумчоррском руднике 09.01.2018 // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2018. – № 12. – С. 74–83. DOI 10.25018/0236-1493-2018-12-0-74-83.

7. *Foulger G.R., Wilson M.P., Gluyas J.G., Julian B.R., Davies R.J.* Global review of human-induced earthquakes // *Earth-Science Reviews*. 2018. Vol. 178. Pp. 438–514.

8. *Сластунов С.В., Коликов К.С., Ермак Г.П., Ютяев Е.П.* Решение проблемы безопасности угледобычи в долгосрочной программе развития отрасли // *Горный журнал*. – 2015. – № 4. – С. 46–49.

9. *Баловцев С.В., Шевчук Р.В.* Геомеханический мониторинг шахтных стволов в сложных горно-геологических условиях // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2018. – № 8. – С. 77–83. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-8-0-77-83.

10. *Pleshko M., Kulikova E., Nasonov A.* Assessment of the technical condition of deep mine shafts. *MATEC Web of Conferences*, 2018, 239, 01021. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823901021>.

11. *Kulikova E. Yu., Balovtsev S.V.* Risk control system for the construction of urban underground structures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, 962(4), 042020. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/962/4/042020>.

12. *Баловцев С.В., Шевчук Р.В.* Обеспечение геомеханической безопасности при строительстве и эксплуатации подземных сооружений // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2017. – № 6. – С. 213–219.

13. *Квятковская С.С., Кузьмин Ю.О., Никитин Р.С., Фаттахов Е.А.* Анализ деформаций земной поверхности на Степновском подземном хранилище газа методами спутниковой и наземной геодезии // *Вестник СГУГиТ*. – 2017. – С. 16–32.

14. *Кузьмин Ю.О.* Современные аномальные деформации земной поверхности в зонах разломов: сдвиг или раздвиг? // *Геодинамика и тектонофизика*. – 2018. – Т. 9. – № 3. – С 967–987. DOI: 10.5800/GT-2018-9-3-0379.

15. *Квятковская С.С., Фаттахов Е.А.* Сравнительный анализ деформационных процессов на подземных хранилищах газа // *Проблемы Недропользователя*. – 2019. – № 4. – С. 38–49. DOI: 10.25635/2313-1586.2019.04.038. **PLAS**

REFERENCES

1. *Batugin A., Musina V., Golovko I.* Analysis of geodynamical conditions of region of burning coal dumps location. In: *Proceedings of World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS-2017), Praga, on September 11–15, 2017*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 95 (2017) 042023. doi :10.1088/1755-1315/95/4/042023.

2. *Batugin A.S., Odintsev B.N., Kolikov K.S., Khotchenkov Ev. V.* Dynamical destruction of rock mass due to excavation of a coal seam. In: *Proceeding of the 2018 European Rock Mechanics Symposium “Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses” (EUROCK-2018, Saint-Petersburg, Russia, 22–26 May 2018)*, vol.1, pp. 593–598.

3. *Kashnikov Y.A., Ashikhmin S.G., Shustov D.V., Kondratiev S.A., Utochkin Y.W.* In situ stress in the oil fields of Western Ural. *Neftyanoe Khozyaystvo – Oil Industry* [Electronic resource]. 2016, no. 5, pp. 64–67.

4. Kashnikov Y.A., Grishko S.V. Determination of the required and sufficient number of control points in local geodynamic satellite networks. *Mine Surveying Bulletin*. 2017, no. 2(117), pp. 29–32. [In Russ].
5. Rasskazov I., Saksin B., Usikov V., Potapchuk M. Rock mass geodynamics and mining-induced rockbursting at Nikolaev complex deposit. *Gornyi Zhurnal*. 2016, no. 12, pp. 13–19. Doi: 10.17580/gzh. [In Russ].
6. Kozyrev A.A., Semenova I.E., Zhuravleva O.G., Panteleev A.V. Hypothesis of strong seis-mic event origin in rasvumchorr mine on January 9, 2018. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 12. Pp. 74–83. DOI 10.25018/0236-1493-2018-12-0-74-83.
7. Foulger G.R., Wilson M.P., Gluyas J.G., Julian B.R., Davies R.J. Global review of human-induced earthquakes. *Earth-Science Reviews*. 2018. Vol. 178. Pp. 438–514.
8. Slastunov S.V., Kolikov K.S., Ermak G.P., & Yutyaev E.P. Safety of coal mining in long-run development. *Gornyi Zhurnal*, 2015, no. 4, pp. 46–49. [In Russ].
9. Balovtsev S.V., Shevchuk R.V. Geomechanical monitoring of mine shafts in difficult ground conditions. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 8, pp. 77–83. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-8-0-77-83. [In Russ].
10. Pleshko M., Kulikova E., Nasonov A. Assessment of the technical condition of deep mine shafts. MATEC Web of Conferences, 2018, 239, 01021. <https://doi.org/10.1051/matec-conf/201823901021>.
11. Kulikova E. Yu., Balovtsev S.V. Risk control system for the construction of urban underground structures. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 962(4), 042020. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/962/4/042020>.
12. Balovtsev S.V., Shevchuk R.V. Geomechanical safety in construction and operation of underground structures. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2017, no. 6, pp. 213–219. [In Russ].
13. Kwiatkowska S.S., Kuzmin Y.O., Nikitin R.S., Fattakhov E.A. Analysis of the deformations of the ground surface on Stepnovskaya underground gas storage by methods of satellite and ground-based geodesy. *Bulletin SGUGaT*. 2017, no. 3, pp. 16–32. [In Russ].
14. Kuzmin Yu. O. Recent anomalous deformation of the ground surface in fault zones: shear or tensile faulting? *Geodynamics & Tectonophysics*. 2018, no. 9(3), pp. 967–987. DOI: 10.5800/GT-2018-9-3-0379. [In Russ].
15. Kvyatkovskaya S.S., Fattakhov Y.A. Comparative analysis of deformation processes at underground gas storage facilities. *Problems of subsurface use*. 2019, no. 4, pp. 38–49. DOI: 10.25635/2313-1586.2019.04.038. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шевчук Степан Васильевич – заместитель начальника службы главного маркшейдера, ООО «Газпром ПХГ», Shevchuk.Stepan@yandex.ru;
Квятковская Светлана Сергеевна – начальник службы – главный маркшейдер, ООО «Газпром ПХГ», Sveta17@bk.ru;
Шевчук Роман Васильевич – аспирант второго года обучения, Shevchuk002@mail.ru, НИТУ «МИСиС».

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Shevchuk S.V., Deputy Head of the Chief Mine Surveyor Service, Gazprom UGS LLC, Shevchuk.Stepan@yandex.ru;
Kvyatkovskaya S.S., Head of Service – Chief Mine Surveyor, Gazprom UGS LLC, Sveta17@bk.ru;
Shevchuk R.V., post-graduate student of the second year of study, NUST «MISiS», Moscow, Russia, Shevchuk002@mail.ru.

Получена редакцией 11.12.2020; получена после рецензии 29.12.2020; принята к печати 01.02.2021.
 Received by the editors 11.12.2020; received after the review 29.12.2020; accepted for printing 01.02.2021.