

Научная статья / Original research article
УДК 551.2; 539.3
DOI:10.31660/0445-0108-2025-4-9-25
EDN: MPNFSW



**Техногенное влияние добычи углеводородов на современные
деформационные процессы Губкинского газового месторождения**

Ю. В. Васильев*, Д. П. Иноземцев, А. В. Гудков, В. И. Козырев

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

** radan92@list.ru*

Аннотация. Анализ материалов геодинамического мониторинга на месторождениях Западной Сибири свидетельствует о том, что добыча углеводородного сырья формирует мощное техногенное воздействие на геологическую среду, которое приводит к нарушению напряженно-деформированного состояния массива недр. Это нередко сопровождается сломом колонн скважин, межпластовыми перетоками и газовыми грифонами, загрязнением водоносных горизонтов, оседанием земной поверхности с нарушением устойчивости и эксплуатационной надежности технологических объектов нефтегазового обустройства. Для обеспечения промышленной безопасности и охраны недр на Губкинском месторождении создан геодинамический полигон с целью проведения многократных повторных наблюдений за современными деформационными процессами. В работе использован системный подход к выполнению анализа и интерпретация результатов геодинамического мониторинга: нивелирования II класса, спутниковых наблюдений, радарной интерферометрии, эксплуатационных параметров разработки месторождений. Это позволило определить, что условиями формирования современных деформаций земной поверхности является преимущественно техногенный фактор. Выявлена взаимосвязь условий формирования мульды оседания земной поверхности в центральной части месторождения с динамикой накопленных отборов газа и падения пластовых давлений по основному продуктивному пласту ПК1 (сеноман). Дана оценка современных деформаций и рекомендации по корректировке проекта геодинамического полигона.

Ключевые слова: современные деформационные процессы, нивелирование, спутниковые наблюдения, геодинамический мониторинг, радарная интерферометрия, пластовые давления, мульда оседания земной поверхности, промышленная безопасность

Благодарности: Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № FWZZ-2022-0015).

Для цитирования: Техногенное влияние добычи углеводородов на современные деформационные процессы Губкинского газового месторождения. Ю. В. Васильев, Д. П. Иноземцев, А. В. Гудков, В. И. Козырев. – DOI 10.31660/0445-0108-2025-4-9-25 // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2025. – № 4. – С. 9–25. – EDN: MPNFSW

**Technogenic impact of hydrocarbon production on modern deformation
processes at the Gubkinskoye gas field**

**Yuri V. Vasiliev*, Dmitry P. Inozemtsev, Arkady V. Gudkov,
Vladimir I. Kozyrev**

Abstract. Geodynamic monitoring data from Western Siberian fields attests to the fact that hydrocarbon production has significant anthropogenic impacts on the geological environment. These impacts disrupt the subsurface rocks stress-strain state, leading to various problems. Among these are: casing failures, crossflows, gas springs, pollution of aquifers, land surface subsidence with violation of stability and reliability of oil and gas infrastructure. To ensure the industrial safety and protection of the subsoil at the Gubkinskoye gas field, a geodynamic polygon was established. This form of geodynamic monitoring facilitates repeated measurements of modern deformation processes. The study authors used a system-based approach to analyze and interpret the data of geodynamic monitoring: second-class leveling, satellite observations, radar interferometry, and operating data of field development. The results demonstrate that technogenic factor is the primary conditions for the formation of current surface deformation. The authors established a correlation between conditions for the formation of a subsidence trough of the earth's surface and dynamics of accumulated gas extractions and the reduction in reservoir pressure in the main productive layer. This paper provides an assessment of modern deformation and offers recommendations for enhancing the monitoring program.

Keywords: modern deformation processes, leveling, satellite observations, geodynamic monitoring, radar interferometry, reservoir pressures, subsidence trough, industrial safety

Acknowledgments: This work was supported financially by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Project No. FWZZ-2022-0015).

For citation: Vasiliev, Yu. V., Inozemtsev, D. P., Gudkov, A. V., & Kozyrev, V. I., (2025). Technogenic impact of hydrocarbon production on modern deformation processes at the Gubkinskoye gas field. *Oil and Gas Studies*, (4), pp. 9-25. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2025-4-9-25

Введение

Губкинское газовое месторождение, введенное в разработку в 1999 году, расположено в Пуровском районе ЯНАО, в 10 километрах северо-восточнее города Губкинского. В настоящее время ЗАО «Пургаз» осуществляет отбор газа из продуктивного горизонта ПК1 в интервале глубин 745–900 м.

Для выполнения существующих нормативных требований^{1,2}, предъявляемых к недропользователям в процессе освоения месторождений углеводородного сырья, а также обеспечения промышленной безопасности и охраны недр создан Губкинский геодинамический полигон.

На территории южного купола Губкинского месторождения расположены технологические сооружения газового промысла: установка комплексной подготовки газа и дожимная компрессорная станция. Введено в эксплуатацию 20 кустов на добычу сеноманского газа, с общим числом 80 действующих скважин.

Особый статус необходимости создания полигона состоял в том, что в площади горного отвода месторождения, а значит, в зоне техногенного влияния разработки располагаются гражданские сооружения поселка Пурпе, трасса железной дороги Сургут — Новый Уренгой. Кроме того,

¹Закон Российской Федерации «О недрах» (от 21.02.1992 г. №2395-1).

²Правила осуществления маркшейдерской деятельности. Утверждено Ростехнадзором (приказ №186 от 19.05.2023)

в площади лицензионного участка месторождения находится восточная часть городских сооружений города Губкинского.

Закладка геодезического полигона на Губкинском месторождении и первый цикл маркшейдерско-геодезических работ выполнены в 2001 году (рис. 1). Геодезический полигон представлял собой пространственное геодезическое построение в виде площадной сети, наблюдательные пункты которой равномерно покрывают территорию месторождения и охватывают зону предполагаемых деформаций земной поверхности [1, 2]. За период наблюдений с 2003 по 2024 год плано-высотная сеть полигона часто изменялась из-за конкурсной основы ежегодного выбора исполнителей [3, 4].

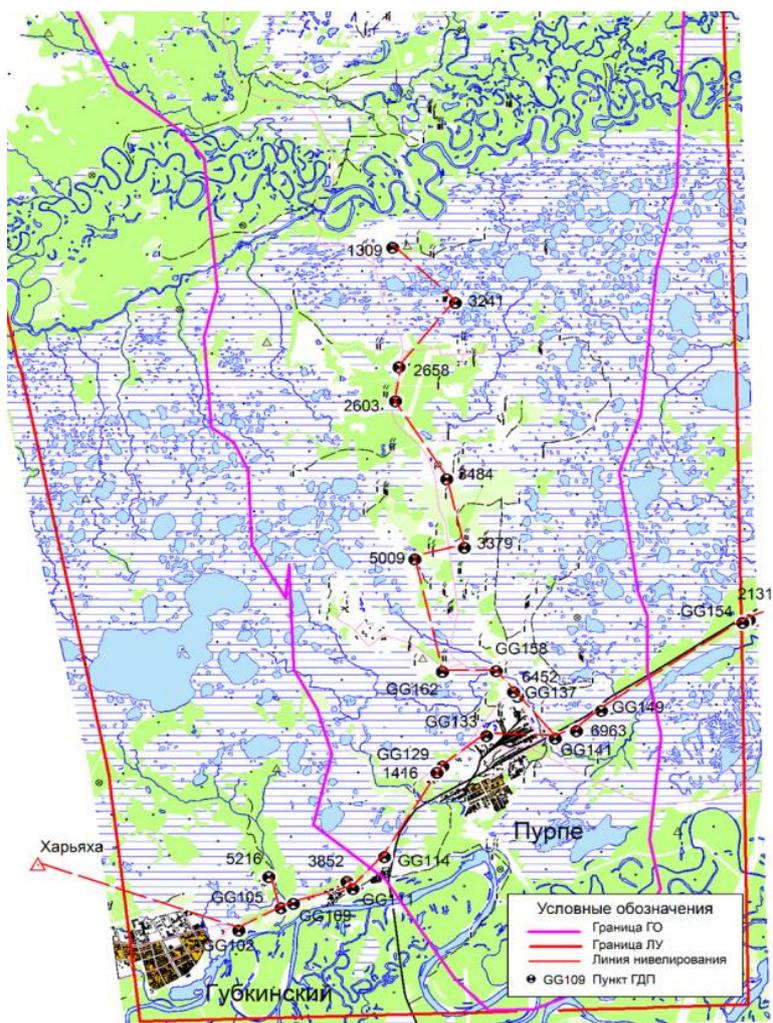


Рис. 1. Схема наблюдательной сети и нивелирования на Губкинском геодезическом полигоне в 2024 году

Объект и методы исследования

Нивелирование II класса

Наблюдения за вертикальными деформациями земной поверхности территории Губкинского месторождения выполнялись методом геометрического нивелирования II класса точности по двум профильным линиям³.

Цель измерений заключалась в следующем:

- получение превышений между пунктами ГГДП;
- сравнение высот пунктов ГДП, полученных в различных циклах наблюдений;
- по результатам анализа материалов нивелирования — получение вертикальной составляющей векторов сдвижения земной поверхности.

Нивелирование II класса в 2024 году произведено по двум линиям: GG154 — п. тр. Харьяха по 16 пунктам; GG141 — 1309 по 12 пунктам, узловой пункт — GG141.

В процессе камеральной обработки нивелирования выполнялись:

- систематизация полевых материалов;
- создание компьютерного проекта обработки нивелирования;
- уравнивание высотной сети.

Поправки в превышения по секциям и между осадочными реперами за среднюю длину метра комплекта реек вводят по результатам эталонирования реек на компараторе.

Поправки в превышения по секциям за различие температуры реек при эталонировании и нивелировании вводят по формуле

$$\delta_h = \alpha(t_n - t_s)h,$$

где α — средний коэффициент линейного расширения реек, принимаемый равным 2×10^{-6} ; t_s — температура реек при эталонировании; t_n — среднее значение температуры воздуха при нивелировании; h — превышение, мм.

Для анализа результатов наблюдений в надежности полученных данных вычислялись средние квадратические случайные и систематические погрешности и сравнивались с допустимыми погрешностями⁴.

Случайные η и систематические σ погрешности вычислялись по следующим формулам:

$$\eta^2 = \frac{1}{4n} \sum \frac{d^2}{r},$$

³ Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. ГКИНП (ГНТА)-03-010-02. М.: Роскартография (ЦНИИГАиК), 2003 г.

⁴ ГОСТ Р 8.736-2011 Национальный стандарт РФ. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения.

Предельная случайная ошибка для нивелирования II класса принимается $\pm 2,0$ мм/км,

$$\sigma^2 = \frac{1}{4\sum L} \sum \frac{S^2}{L}.$$

Предельная систематическая ошибка для нивелирования II класса принимается $\pm 0,20$ мм/км, где d — разность превышений между прямым и обратным ходами (мм); n — число секций; $\sum d$ — накопление разностей, (км); L — длина линии (км); S — накопление разностей на участке (мм).

Было выполнено вычисление высот пунктов геодинимического полигона в системе высот (Балтийская 1977) от одного опорного репера GG-154.

За период наблюдений (2011–2024) из 27 пунктов на 21 зафиксировано понижение высотных отметок, что составляет 78 % от общего числа анализируемых пунктов. При этом максимальное значение оседаний достигает -194 мм (3 379), в то время как максимальное поднятие равняется $+164$ мм (GG 102).

Построенная схема изолиний вертикальных смещений пунктов за период 2011–2024 годов показала наличие зоны оседания в центральной купольной зоне Губкинского газового месторождения (рис. 2).

Полученные расчетом максимальные относительные деформации на площади геодинимического полигона находятся в пределах допуска⁵ и не угрожают безопасной эксплуатации Губкинского месторождения.

В результате анализа было выявлено, что в годовом интервале между последними циклами наблюдений (2023–2024) отмечаются небольшие колебания высотных отметок наблюдательных пунктов с амплитудой, соразмерной точности наблюдений. Максимальное отрицательное сдвигение зафиксировано на пункте 3 484 (-27 мм), максимальное поднятие уровня поверхности выявлено на пункте GG105 ($+20$ мм).

Спутниковые наблюдения

С целью дополнения результатов интерпретации данных высокоточного нивелирования при изучении напряженно-деформируемого состояния скелета коллектора и вмещающих его пород на месторождении проводятся спутниковые определения горизонтальной составляющей вектора движения земной поверхности [5]. Спутниковые наблюдения выполнялись в соответствии с требованиями нормативно-технической документации^{6,7}.

⁵ СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* (с Изменениями № 1, 2, 3) Применяется с 17.06.2017 взамен СП 22.13330.2011 Статус: Действующий (действующий 29 с 17.06.2017)

⁶ ГОСТ Р 57373-2016 Глобальная навигационная спутниковая система. Методы и технологии выполнения геодезических работ. Пункты спутниковой геодезической сети I класса (СГС-1). Технические условия.

⁷ ГОСТ 32453-2017 Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразования координат определяемых точек.

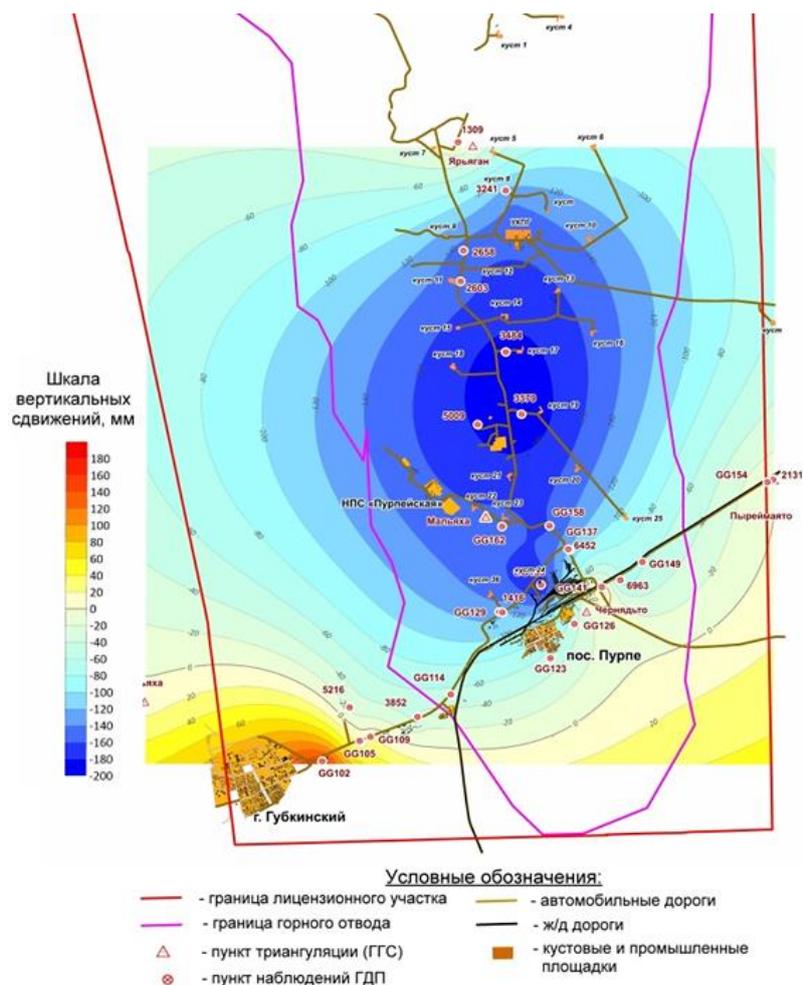


Рис. 2. Схема вертикальных сдвижений земной поверхности по данным нивелирования II класса за период наблюдений за 2011–2024 годы

С 2003 года неоднократно менялись схемы спутниковых геодезических наблюдений, поэтому с 2015-го принято решение использовать в качестве исходного пункта один, находящийся вне границ горного отвода. Таким пунктом стал гр. рп. 2131.

Камеральная обработка с оценкой точности спутниковых геодезических измерений выполнена в специализированном программном продукте по следующим этапам:

- 1) предварительная обработка — разрешение неоднозначностей фазовых псевдодальностей до наблюдаемых спутников, получение координат определяемых пунктов в системе координат WGS-84 и оценка точности;
- 2) уравнивание геодезических построений и оценка точности;
- 3) трансформация координат в поперечную цилиндрическую равноугольную картографическую проекцию для корректного сравнения

координат пунктов из разных циклов наблюдений в процессе выполнения анализа материалов работ.

Для учета редукации фазовых центров антенн при камеральной обработке спутниковых измерений выбраны актуальные данные калибровки используемых спутниковых антенн (сайт <https://geodesy.noaa.gov/ANTCAL/>).

Оценка точности измерений геодезической спутниковой аппаратурой выполнена по замкнутым фигурам (полигонам).

Допустимая невязка приращений координат вычислялась по формуле

$$W_{f, \text{доп}} = \sqrt{(m_{1, \text{доп}})^2 + (m_{2, \text{доп}})^2 + (m_{3, \text{доп}})^2},$$

где $m_{i, \text{доп}}$ — допустимые значения погрешностей по сторонам треугольника.

Фактическая невязка приращений координат рассчитывалась по формуле

$$W_f = \sqrt{(W_{\Delta X})^2 + (W_{\Delta Y})^2 + (W_{\Delta Z})^2},$$

где $W_{\Delta X}$, $W_{\Delta Y}$, $W_{\Delta Z}$ — невязки по осям координат.

При этом допустимая погрешность измерения длины определялась по формуле

- для линий длиной менее 5 км

$$m_x = (5 + 5 * 10^{-6} * D) \text{ мм},$$

где D — измеряемое расстояние в м;

- для линий длиной более 5 км используется формула

$$m_x = (5 + 1 * 10^{-6} * D) \text{ мм}.$$

Средние квадратические погрешности взаимного положения пунктов геодинамического полигона не превышали:

- $(3 + 1 \cdot 10^{-7} \cdot D)$ мм по каждой из плановых координат;

где D — расстояние между пунктами в мм.

При выполнении камеральной обработки использовались точные эфемериды (сайт https://cddis.nasa.gov/Data_and_Derived_Products/GNSS/).

Уравнивание в специализированном программном комплексе выполнялось в автоматическом режиме. В ходе уравнивания оценивались и исключались большие ошибки. Для обнаружения любых расхождений во введенных данных и подтверждения того, что все данные точек находятся в пределах заданных допусков, полученная сеть подвергалась логической оценке (ГОСТ Р ИСО 6707-1-202).

Схема спутниковых наблюдений на геодинамическом полигоне Губкинского месторождения приведена на рисунке 3.

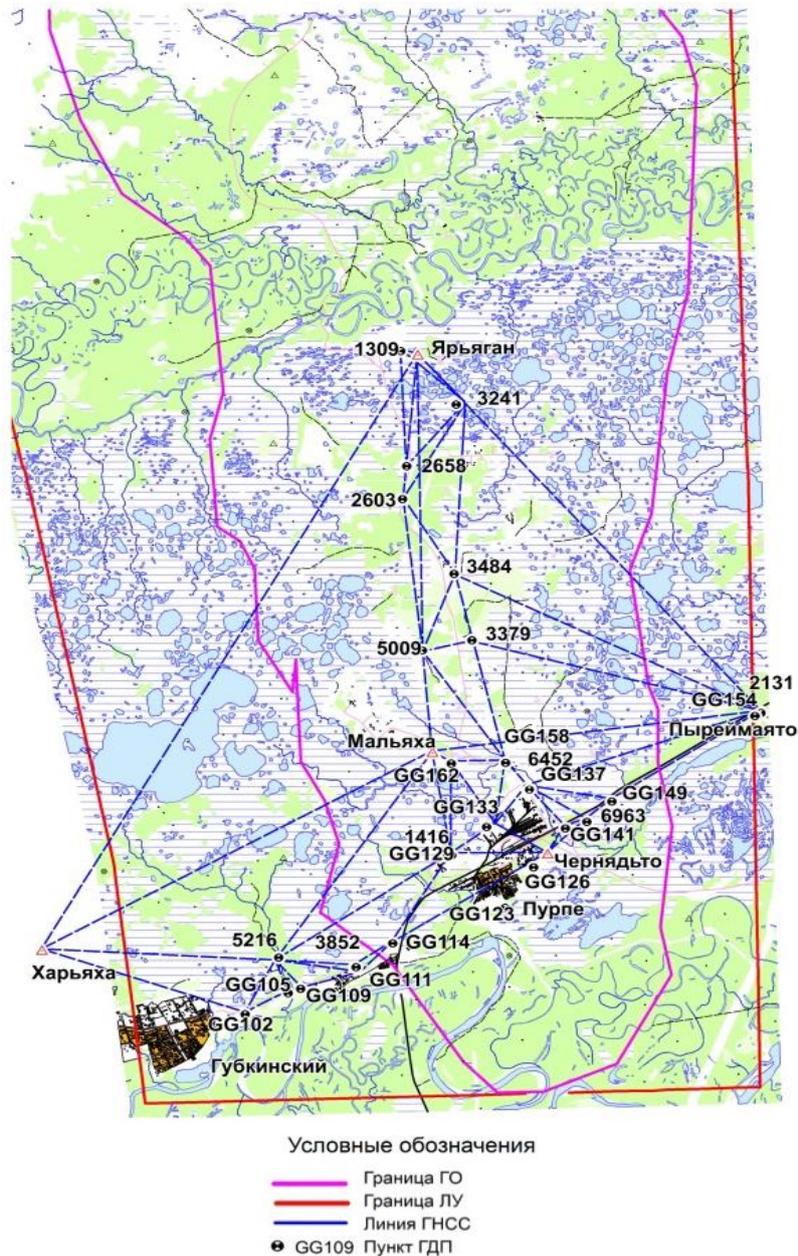


Рис. 3. Схема спутниковых наблюдений на Губкинском геодинамическом полигоне 2024 года

Горизонтальные сдвигения пунктов на территории Губкинского месторождения оценивались по результатам геодезических спутниковых наблюдений по двум интервалам наблюдений: циклы 2015–2024 и 2023–2024 годов.

В качестве исходных данных для наблюдения за горизонтальными деформациями между указанными циклами измерений использовались координаты, полученные в системе координат WGS-84 [6].

По результатам высокоточных спутниковых наблюдений за период 2015–2024 годов был выполнен сравнительный анализ координат пунктов Губкинского геодезического полигона (таблица).

Ведомость изменения координат пунктов Губкинского геодезического полигона, вычисленных по результатам геодезических спутниковых наблюдений

№ п/п	Имя пункта	Период 2015-2024гг			Период 2023-2024гг		
		ΔX , м	ΔY , м	D, м	ΔX , м	ΔY , м	D, м
	1	2	3	4	5	6	7
1	1309	-0,017	0,037	0,041	-0,011	0,007	0,013
2	1416	-0,017	0,023	0,029	-0,004	0,018	0,018
3	2131	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4	2603	-0,034	0,023	0,041	-0,016	-0,003	0,016
5	2658	-0,059	-0,072	0,093	-0,002	-0,024	0,024
6	3241	-0,072	-0,039	0,082	-0,036	-0,014	0,039
7	3379	-0,061	0,028	0,067	-0,025	0,004	0,025
8	3484	-0,016	-0,056	0,058	-0,008	-0,033	0,034
9	3852	-0,031	0,045	0,055	-0,019	0,024	0,031
10	5009	-0,062	0,045	0,077	-0,022	0,027	0,035
11	5216	0,004	0,059	0,059	-0,005	0,037	0,037
12	6452	-0,021	0,038	0,043	-0,017	0,015	0,023
13	6963	0,050	0,003	0,050	0,014	0,005	0,015
14	GG102	0,021	0,041	0,046	-0,005	0,027	0,027
15	GG105	0,040	0,055	0,068	0,022	0,029	0,036
16	GG109	0,013	0,025	0,028	0,007	0,009	0,011
17	GG111	-0,027	0,020	0,034	-0,022	0,009	0,024
18	GG114	0,005	0,035	0,035	0,014	0,018	0,023
19	GG129	-0,024	0,033	0,041	-0,009	0,027	0,028
20	GG133	-0,025	-0,002	0,025	0,003	0,014	0,014
21	GG137	-0,009	0,004	0,010	0,002	-0,003	0,004
22	GG141	0,023	0,028	0,036	0,009	0,024	0,026
23	GG149	0,044	0,004	0,044	0,016	0,005	0,017
24	GG154	-0,010	-0,041	0,042	-0,009	-0,009	0,013
25	GG158	-0,037	-0,005	0,037	-0,015	-0,009	0,017
26	GG162	-0,041	0,005	0,041	-0,018	0,011	0,021

Горизонтальные сдвигения пунктов геодезического полигона, вычисленные по результатам измерений за период 2015–2024 годов методом GPS-измерений, имеют величины в пределах от 10 до 93 мм. Наблюдательные пункты получили разнонаправленную ориентировку векто-

ров горизонтальных сдвижений. Максимальное сдвижение наблюдается на пункте 2 658 (93 мм). Результаты спутниковых измерений за 2023–2024 годы получены в диапазоне от 4 до 39 мм. Максимальное сдвижение наблюдается на пункте 3 241 (39 мм).

Далее полученные координаты были использованы для вычисления относительных горизонтальных деформаций. Полученные значения находятся в пределах от $2,55 \cdot 10^{-7}$ до $2,48 \cdot 10^{-5}$, что на порядок не превышает предельных и допустимых деформаций согласно п. 4 ПБ 07-269-98⁸.

Изменения длин линий каркасной спутниковой сети Губкинского геодезического полигона на 1–2 порядка меньше предельных и допустимых деформаций по нормативному документу⁸. Таким образом, выявленные горизонтальные сдвижения земной поверхности не представляют опасности для объектов нефтегазового обустройства.

Спутниковая радарная интерферометрия

Метод спутниковой радарной интерферометрии необходим для получения дополнительной информации к инструментальным геодезическим измерениям о смещениях объектов инфраструктуры и деформаций земной поверхности Губкинского газового промысла по требованиям СТО Газпром⁹.

Интерферометрическая обработка радиолокационной съемки с вторичных орбит космического аппарата (КА) — это современный способ дистанционного зондирования, позволяющий получить цифровую модель рельефа (ЦМР), уточнение нулевой изогипсы (границы мульды) оседания, площадные оценки вертикальных деформаций земной поверхности за время между съемками.

Метод спутниковой радиолокационной интерферометрии использует эффект интерференции электромагнитных волн и основан на математической обработке нескольких когерентных амплитудно-фазовых измерений одного и того же участка земной поверхности со сдвигом в пространстве приемной антенны РСА. Преимущество интерферометрического метода перед обработкой стереоснимков заключается в более высокой точности получаемых результатов, достигаемой за счет использования фазовой компоненты отраженного поверхностью радиосигнала. Метод площадной дифференциальной интерферометрии подробно описан в работах Howard Zebker, Alessandro Ferretti, Ramon Hanssen [7–9].

Точки измерения представляют собой отражения радиолокационного сигнала от техногенных объектов и элементов микрорельефа земной поверхности. Исходя из геометрии съемки, смещения рассчитываются в проекции на направление обзора радиолокатора [10].

Для использованных кадров отклонение линии обзора от перпендикуляра к земной поверхности составило 28°. Для каждой точки при помощи линейной аппроксимации рассчитаны среднегодовая скорость смещений и

⁸ ПБ 07-269-98 Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях.

⁹ СТО Газпром 2-3.1-439-2010 «Методика проведения космического мониторинга состояния территорий горных отводов для обеспечения промышленной безопасности при добыче и хранении нефти и газа». (Утверждено распоряжением ОАО «Газпром» от 11.01.2010 № 3.– 23 с.).

среднеквадратичное отклонение. Точность результатов обработки радарных данных ниже, чем геодезические инструментальные измерения на пунктах геодезического полигона, однако метод интерферометрии дает площадную оценку смещений и позволяет выделить места формирования зон геодезического риска [11].

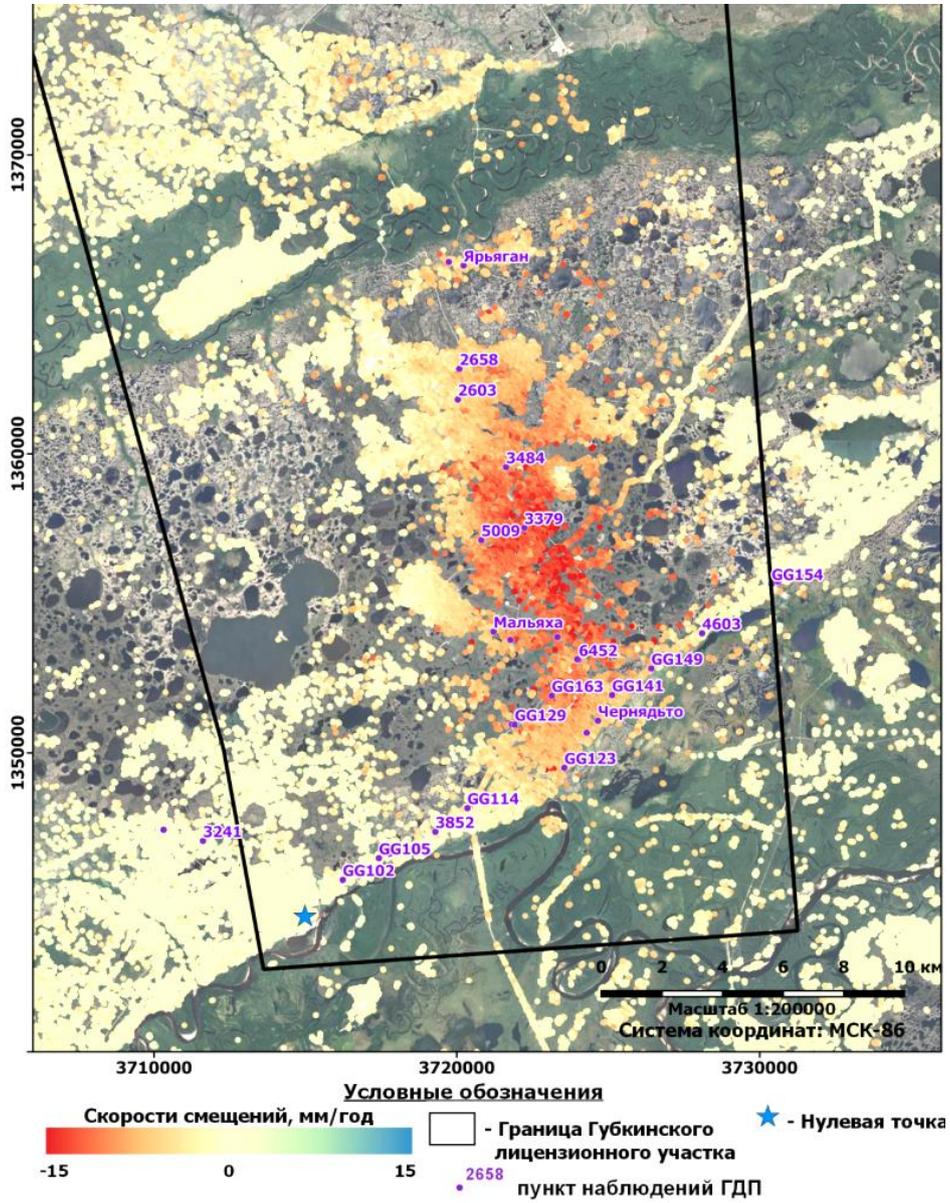


Рис. 4. Среднегодовые скорости сдвижений постоянных отражателей на земной поверхности по результатам интерферометрической обработки многопроходных данных Sentinel-1A/B (апрель 2019 — сентябрь 2024)

Результаты выполнения интерферометрической обработки 99 радиолокационных сцен Sentinel-1A/B, полученных в течение 66 месяцев с апреля 2019 по сентябрь 2024 года, представлены на рисунке 4. Они свидетельствуют о формировании мульды оседания земной поверхности в центральной части месторождения от –15 до –25 мм.

Рассчитаны смещения для 170 245 постоянных отражателей от техногенных объектов и элементов микрорельефа ландшафта земной поверхности. Временные ряды смещений указывают на оседание земной поверхности с постоянной скоростью, достигающей в центре месторождения 10 мм/год.

Результаты геодинамического мониторинга

Анализ истории разработки и основных геолого-промысловых показателей Губкинского месторождения свидетельствует о том, что происходит снижение первоначально высоких пластовых давлений, изменяется состав пластового флюида, плотность и прочностные свойства горных пород, что в итоге приводит к потере механической устойчивости дискретной динамически активной геологической среды.

Подтверждаются аналитические зависимости, используемые при прогнозных оценках оседания земной поверхности, и наличие связей вертикальных оседаний от падения пластовых давлений. Процесс добычи углеводородов сопровождается уплотнением пород, приводит к оседанию слоев, перекрывающих продуктивные горизонты [12].

На территории Губкинского месторождения отмечаются участки постоянного снижения пластовых давлений и уровней пластовых вод, участки их хаотического колебания и участки стабильных пластовых давлений и уровней (рис. 5). Причиной разброса нестабильности являются неодинаковые скорости обводнения скважин и прискважинной зоны. В результате интенсивной и долговременной эксплуатации месторождения с 1999 по 2024 годы текущее пластовое давление составляет 15,85 атм. (падение $R_{пл}$ – 79,63 % от начального).

Прослеживается взаимосвязь процесса оседания земной поверхности в центральной части Губкинского газового месторождения с техногенным влиянием разработки: по максимальным отборам газа в купольной части, по зонам (депрессии) падения давлений основного объекта разработки пласта ПК1 сеноман (рис. 6).

Сопоставительный анализ результатов нивелирования, спутниковых наблюдений, радарной интерферометрии, основных геолого-промысловых показателей свидетельствует о высокой корреляционной связи подтверждения максимальных оседаний с зонами максимальных отборов и депрессий, что подтверждает техногенное участие в формировании мульды оседания.

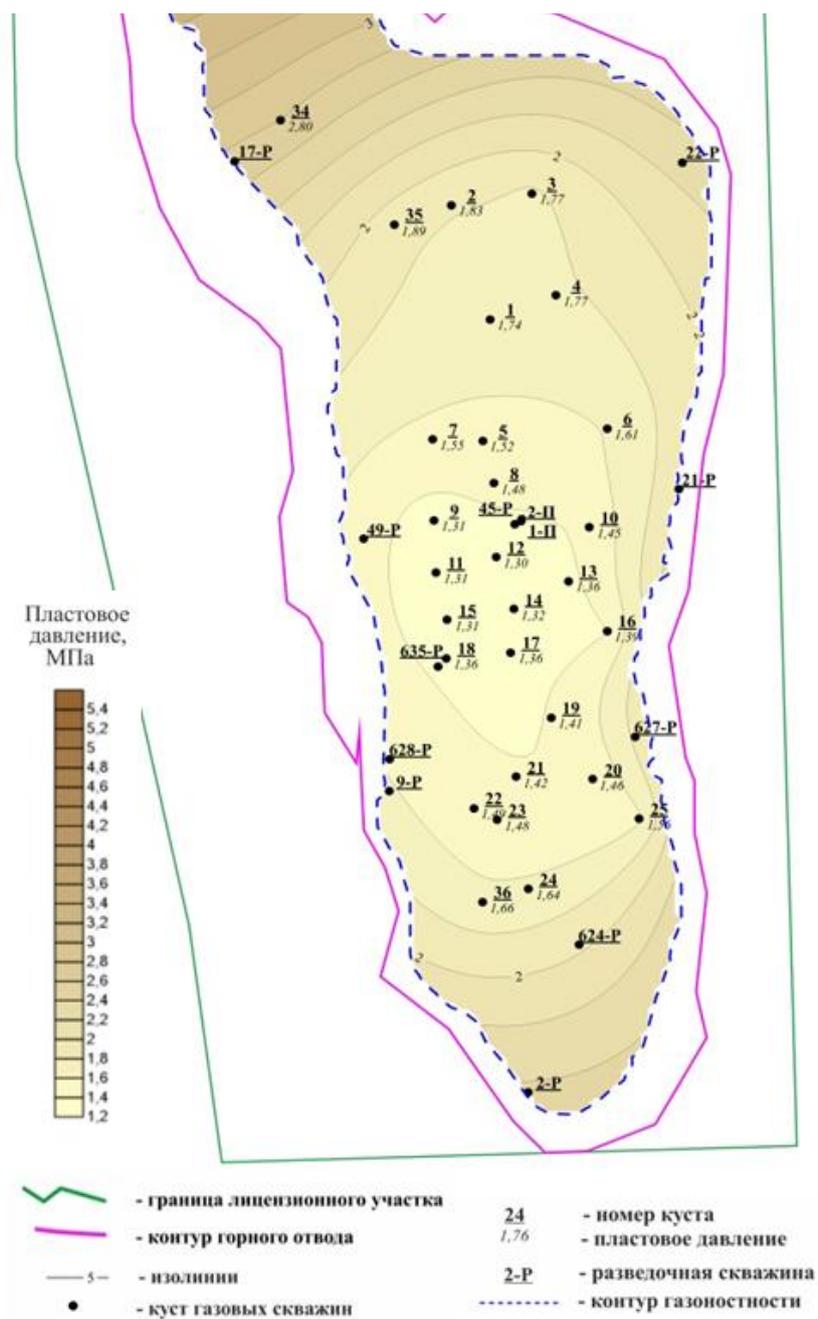


Рис. 5. Карта изобар пласта ПК1 Губкинского месторождения на 01.10.2024

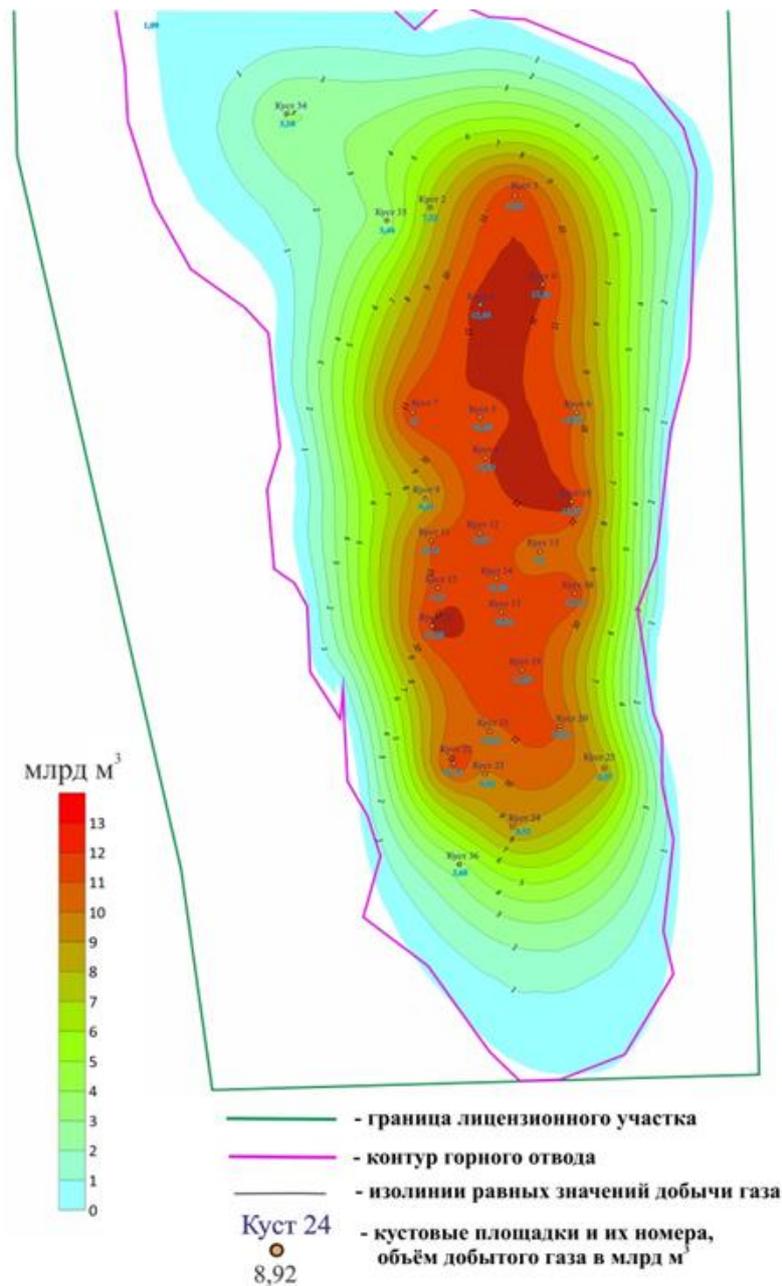


Рис. 6. Схематическая карта накопленных отборов сеноманской газовой залежи Губкинского месторождения на 01.11.2024

Выводы

1. Исходя из выявленных величин вертикальных и горизонтальных сдвижений, современная деформационная обстановка земной поверхности Губкинского месторождения не является опасной. Результаты ин-

струментальных маркшейдерско-геодезических наблюдений свидетельствуют о том, что полученные относительные значения деформаций на порядок меньше предельных и допустимых по действующим нормативным документам.

2. Объективное и точное определение параметров техногенного влияния разработки Губкинского месторождения, выполненное геодезическими методами и методом радарной интерферометрии, показывает необходимость продолжения наблюдений на геодинамическом полигоне.

3. Выявленное уменьшение количества наблюдательных пунктов сужает область подтвержденных данных. В связи с этим необходимо выполнить работы по корректировке проекта геодинамического полигона Губкинского месторождения.

Список источников

1. Геодезические методы изучения деформаций земной коры на геодинамических полигонах. Методическое руководство. – Москва : ЦНИИГАИК, 1985. – 112 с. – Текст : непосредственный.
2. Руководство по геодинамическим наблюдениям и исследованиям для объектов топливно-энергетического комплекса / Министерство топлива и энергетики РФ. – Москва : 1998. – С. 127. – Текст : непосредственный.
3. Результаты геодинамического мониторинга на Губкинском нефтегазовом месторождении / М. Л. Юрьев, Ю. В. Васильев, А. Ю. Белоносов, А. В. Радченко. – Текст : непосредственный // ИНТЕРЭКСПО ГЕО-Сибирь. – 2012. – Т. 1, № 1. – С. 251–256.
4. Анализ и интерпретация результатов маркшейдерско-геодезических измерений на Губкинском геодинамическом полигоне / Ю. В. Васильев, Д. Н. Иноземцев, Д. А. Мисюрев [и др.]. – Текст : непосредственный // Маркшейдерский вестник. – 2018. – № 1 (122). – С. 58–67.
5. Хайн, В. Е. Геотектоника с основами геодинамики : учебник / В. Е. Хайн, М. Г. Ломидзе. – 2-е изд. – Москва, 2005. – 560 с. – Текст : непосредственный.
6. Оценка точности ГНСС-наблюдений на эталонном базисе как средство проверки измерительной аппаратуры локального геодинамического мониторинга / В. И. Кафтан, В. Н. Татаринев, А. И. Маневич [и др.]. – DOI 10.22389/0016-7126-2020-961-7-37-46. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2020. – Т. 81, № 7. – С. 37–46.
7. Zebker, H. A. Topographic Mapping Derived from Synthetic Aperture Radar Measurements / H. A. Zebker, R. M. Goldstein // Journal of Geophysical Research. – 1986. – Vol. 91. – P. 4993–5002.
8. InSAR Principles-guidelines for SAR interferometry processing and interpretation / A. Ferretti, A. Monti-Guarnieri, C. Prati [et al.] // Noordwijk: ESA Publications, 2007. – 234 p. – Text : direct.
9. Hanssen, R. F. Radar Interferometry: data Interpretation and error analysis / R. F. Hanssen. – Springer Science & Business Media, 2001. – 308 p. – Text : direct.

10. Васильев, Ю. В. Техногенное влияние разработки Комсомольского месторождения на современные деформационные процессы / Ю. В. Васильев, Д. А. Мисюрев, А. В. Филатов. – DOI 10.31660/0445-0108-2018-2-11-20. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2018. – № 2. – С. 11–20.

11. Результаты мониторинга деформационных процессов методами высокоточной геодезии и радарной интерферометрии на геодинамическом полигоне Заполярного нефтегазоконденсатного месторождения / О. В. Волков, Ю. В. Васильев, Д. П. Иноземцев, В. И. Козырев. – Текст : непосредственный // Маркшейдерия и недропользование. – 2024. – № 3(131). – С. 97–103.

12. Кашников, Ю. А. Механика горных пород при разработке месторождений углеводородного сырья / Ю. А. Кашников, С. Г. Ашихмин. – Москва : ООО «Недра-Бизнесцентр», 2019. – 552 с. – Текст : непосредственный.

References

1. Geodezicheskie metody izucheniya deformatsiy zemnoy kory na geodinamicheskikh poligonakh. (1985). Moscow, TSNIIGAIK Publ., 112 p. (In Russian).

2. Rukovodstvo po geodinamicheskim nablyudeniya i issledovaniyam dlya ob"ektov toplivno-energeticheskogo kompleksa. (1998). Moscow, p.127. (In Russian).

3. Yurev, M. L., Vasiliev, Yu. V., Belonosov, A. Yu., & Radchenko, A. V. (2012). Results of geodynamical monitoring gubkinsky gas&oil fields. INTEREKSP0 GEO-Sibir, 1(1), pp. 251-256. (In Russian).

4. Vasiliev, 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).

5. Khayn, V. E., & Lomidze, M. G. (2005). Geotektonika s osnovami geodinamiki. Moscow, 560 p. (In Russian).

6. Kaftan, V. I., Tatarinov, V. N., Manevich, A. I., Prusakov, A. N., & Kaftan, A. V. (2020). Accuracy estimation of GNSS observations at a reference basis as a means of testing the measuring equipment of local geodynamic monitoring, Geodezia i kartografiya, 81(7), pp. 37-46. DOI: 10.22389/0016-7126-2020-961-7-37-46. (In Russian).

7. Zebker, H. A. & Goldstein, R. M. (1986). Topographic Mapping Derived from Synthetic Aperture Radar Measurements. Journal of Geophysical Research, (91), pp. 4993-5002. (In English).

8. Ferretti, A., Monti-Guarnieri, A., Prati, C., Rocca, F., & Massonet, D. (2007). InSAR principles-guidelines for SAR interferometry processing and interpretation. Noordwijk: ESA Publications, 234 p. (In English).

9. Hanssen, R. F. (2001). Radar interferometry: data interpretation and error analysis. Springer Science & Business Media, 308 p. (In English).

10. Vasiliev, 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), pp. 11-20. (In Russian.). DOI 10.31660/0445-0108-2018-2-11-20.

11. Volkov, N. V., Vasiliev, Yu. V., Inozemtsev, D. P., Filatov, A. V., & Kozыrev, V. I. (2024). The results of monitoring deformation processes using high-precision geodesy and radar interferometry at the geodynamic polygon of the Polar oil and gas condensate field. Mine surveying and subsurface use, 3(131), pp. 97-103. (In Russian).

12. Kashnikov, Yu. A., & Ashikhmin, S. G. (2019). *Mekhanika gornykh porod pri razrabotke mestorozhdeniy uglevo-dorodnogo syr'ya*. Moscow, Nedra-Biznestsentr LLC Publ., 552 p. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Васильев Юрий Владимирович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Западно-Сибирский филиал Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ЗСФ ИНГГ СО РАН), г. Тюмень, radan92@list.ru

Yuri V. Vasiliev, 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 RAS, Tyumen, radan92@list.ru

Иноземцев Дмитрий Павлович, ведущий инженер, Западно-Сибирский филиал Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ЗСФ ИНГГ СО РАН), г. Тюмень

Inozemtsev Dmitry Pavlovich, Leading Engineer, West Siberian Division of Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the RAS, Tyumen

Гудков Аркадий Викторович, ведущий инженер, Западно-Сибирский филиал Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ЗСФ ИНГГ СО РАН), г. Тюмень

Gudkov Arkady Viktorovich, Leading Engineer, West Siberian Division of Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the RAS, Tyumen

Козырев Владимир Иванович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Западно-Сибирский филиал Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ЗСФ ИНГГ СО РАН), г. Тюмень

Vladimir I. Kozyrev, Candidate of Geology and Mineralogy, Researcher, West Siberian Division of Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the RAS, Tyumen

Статья поступила в редакцию 12.02.2025; одобрена после рецензирования 25.02.2025; принята к публикации 17.03.2025.

The article was submitted 12.02.2025; approved after reviewing 25.02.2025; accepted for publication 17.03.2025.