



**Файзулла ТУХТАМЕШОВ,**

*Старший преподаватель Национального университета Узбекистана*

*E-mail: maxturon@mail.ru*

**Дилбархон ФАЗИЛОВА,**

*Заведующая лабораторией Института астрономии АН РУз, доктор физико-математических наук, профессор*

*На основе рецензии PhD А.Казакова*

## ANALYSIS OF VERTICAL MOVEMENTS OF THE EARTH'S CRUST IN TECHNOGENIC IMPACT AREAS BASED ON GNSS DATA

Annotation

This study evaluates vertical ground motion in industrial impact areas using GNSS observations from 2022–2024 at the Shurtan gas field. Processing with the GAMIT/GLOBK package identified localized subsidence up to 4.2 mm/yr near faults and infrastructure. The results show that GNSS monitoring is effective for early detection of risk zones and for planning engineering monitoring.

**Keywords:** Shurtan gas field, tectonics, GNSS, GAMIT/GLOBK, velocity, deformation, monitoring.

## АНАЛИЗ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ В РАЙОНАХ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОСНОВЕ GNSS-ДАННЫХ

Аннотация

В работе оценены вертикальные движения земной поверхности в зонах техногенного воздействия по данным наблюдений GNSS за 2022–2024 гг. на Шуртанском газодобывающем узле. Обработка в пакете GAMIT/GLOBK выявила локальные оседания до 4,2 мм/год, наблюдаемые вблизи разломов и объектов инфраструктуры. Результаты показывают, что мониторинг по GNSS эффективен для раннего выявления зон риска и планирования инженерного мониторинга.

**Ключевые слова:** месторождение Шуртан, тектоника, GNSS, GAMIT/GLOBK, скорость, деформации, мониторинг.

## GNSS MA'LUMOTLARI ASOSIDA TEXNOGEN TA'SIR HUDUDLARIDA YER QOBIG'I VERTIKAL HARAKATLARINING TAHLILI

Annotatsiya

Ushbu tadqiqotda 2022–2024 yillardagi GNSS kuzatuvlari asosida Shurtan gaz koni hududida texnogen ta'sirga uchragan joylarda yer yuzasining vertikal siljishlari baholandi. GAMIT/GLOBK paketi bilan ishlov berish natijasida yoriqlar va infratuzilma obyektlari yaqinida 4,2 mm/yilgacha mahalliy cho'kishlar aniqlandi. Natijalar GNSS monitoringi xavf zonalarini barvaqt aniqlash va muhandislik monitoringini rejalashtirishda samarali ekanini ko'rsatadi.

**Kalit so'zlar:** Shurtan gaz koni, tektonika, GNSS, GAMIT/GLOBK, tezlik, deformatsiya, monitoring.

**Введение.** Глобальная навигационная спутниковая система (GNSS) - один из наиболее эффективных инструментов изучения современных геодинамических процессов: она обеспечивает высокоточную фиксацию перемещений земной поверхности и активно применяется для мониторинга тектоники, оценки стабильности территорий и анализа влияния природных и антропогенных факторов [1–3]. Оседание пород вследствие изменения пластовых давлений и компакция коллекторов может накапливаться незаметно, приводя к деформациям трубопроводов, дорог и площадочных объектов; поэтому требуются наблюдения, способные фиксировать миллиметровые скорости и давать результаты в устойчивой системе отсчёта. Этим требованиям удовлетворяет GNSS: при корректной обработке данных кампаний GNSS получают абсолютные вертикальные скорости с оценкой погрешностей, пригодных для регулярного обновления карт деформаций и реперного контроля промышленных площадок. В инженерном мониторинге GNSS широко применяются как самостоятельный инструмент и как опорный контур к радарной интерферометрии (InSAR), что повышает надёжность интерпретации в условиях сложного рельефа и разнородной поверхности [4–6].

Настоящая работа посвящена оценке современных вертикальных смещений земной поверхности в районе Шуртанского газоконденсатного месторождения (Кашкадарьинская область, Узбекистан), где ранее отсутствовали согласованные оценки вертикальных скоростей по единой методике GNSS-процессинга и их сопоставление с локальной сейсмичностью. Научная новизна заключается в получении оценки вертикальной компоненты деформаций по сети реперных пунктов GNSS для Шуртанского месторождения и в демонстрации пространственной связи между максимумами оседания и распределением локальной сейсмичности. Практическая значимость результатов состоит в возможности их использования для приоритизации участков инженерного обследования линейных сооружений и планирования развития наблюдательной сети (непрерывные GNSS-станции, микросейсмика, тематические InSAR-серии).

**Обзор литературы.** Шуртанское газоконденсатное месторождение на юге Узбекистана - один из ключевых центров добычи природного газа страны. Он связан с запасами углеводородов Амударьинского бассейна и приурочен к Бешкентской впадине, которая остаётся сравнительно малоизученной (Рис.1). По данным геологических обобщений описаны рифовые и комбинированные ловушки, а также роль складчатости и трещиноватости в формировании

коллекторов газа, газоконденсата и нефти. На протяжении десятилетий здесь велись глубокое бурение и геофизические съёмки, что уточнило строение недр и контуры перспективных участков [7].

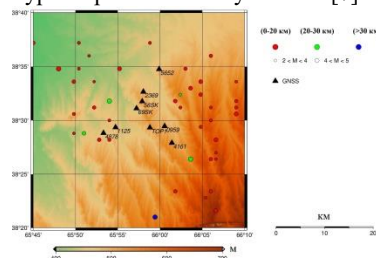


Рис. 1. Район исследований, сеть GNSS и эпицентры землетрясений Шуртанского месторождения.

По данным дистанционного зондирования, включая радиолокационный анализ, в 2016–2022 гг. в зоне разработки зафиксирована суммарная осадка около  $-2,34$  см [8]. Ряд работ допускает техногенное усиление сейсмичности вплоть до событий  $M > 5$ ; эти выводы требуют инструментальной проверки с учётом локальной тектоники [9]. При высокой ресурсной значимости и наличии современных деформаций целенаправленных оценок вертикальных смещений по GNSS для района нет; отсутствует и связь «геология–ДЗЗ–геодезия» для верификации осадок и анализа связи с сейсмичностью [7–9], что формирует исследовательский пробел.

**Метод исследования.** В 2022–2024 гг. выполнены шесть кампаний статических GNSS-наблюдений на 9 пунктах сети (приёмники SOUTH G1 PLUS): продолжительность сессий 48–72 ч, маска высот  $10^\circ$ , интервал регистрации 30 с. Обработка данных проведена в GAMIT/GLOBK в соответствии с рекомендациями IERS [10] с использованием точных эфемерид и часов IGS. Применены стандартные модели: твёрдоземные и полярные приливы по IERS (2010), океанская приливная нагрузка FES2014b [11], тропосферная задержка по Саастамойнену с параметризацией ZTD и метеопараметрами GPT2. Для визуализации вертикальных скоростей ( $V_z$ ) построено непрерывное поле деформаций методом кубического сплайна в ArcGIS [12]; полученная тепловая карта выделяет зоны оседания и поднятия и их возможные связи с тектоникой и сейсмичностью.

**Результаты и обсуждение.** По итогам унифицированной обработки кампаний GNSS получено площадное представление вертикальной компоненты скоростей ( $V_z$ ) для исследуемого района (см. рис. 2).

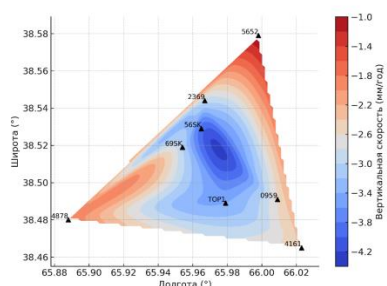


Рис.2. Тепловая карта вертикальных скоростей смещений GNSS-пунктов (сплайн).

Карта показывает доминирование отрицательных значений (оседание) в пределах производственной зоны и более слабые, местами близкие к нулю, скорости на периферии. Максимумы оседания формируют замкнутую или квазизамкнутую «чашу», параметры которой (амплитуда и характер градиентов) согласуются между независимыми кампаниями и различными конфигурациями сети пунктов. Переход от отрицательных к близким к нулю значениям носит плавный характер вследствие применённой гладкой интерполяции, однако локальные контрасты в окрестностях отдельных пунктов сохраняются.

Для сопоставления с локальной сейсмичностью использован каталог землетрясений [13]. По глубинам преобладают мелкие события 0–20 км (красные), среднеглубинные 20–30 км встречаются реже (зелёные), а глубокие  $>30$  км единичны и отмечены преимущественно в южной части полигона (синие) (рис. 1). Эпицентры распределены преимущественно вокруг границ участка работ, тогда как в зоне максимальных отрицательных вертикальных скоростей (рис. 2) их мало. Прямой пространственной корреляции между зоной оседания и скоплениями эпицентров не выявлено. Сравнение поля  $V_z$  с каталогом локальных землетрясений за сопоставимый временной интервал показывает отсутствие пространственно-временной концентрации эпицентров внутри зоны максимального оседания. Большинство событий тяготеют к разломно-блоковым границам и/или располагаются на периферии производственной зоны, тогда как экстремумы оседания локализованы в пределах участков интенсивной эксплуатации. Это косвенно указывает на независимость наблюдаемого тренда оседания от фоновой сейсмической активности исследуемой территории. Вместе с тем следует учитывать неполноту каталога по малым магнитудам и возможную временную асинхронность процессов (запаздывание деформационного отклика относительно изменений пластовых давлений). Для проверки необходимы совместные временные анализы (корреляция с темпами добычи/давлением в пластах), локальная микросейсмическая сеть и регулярная валидация по GNSS/InSAR. Независимо от механизма, периферийная концентрация событий вокруг месторождения требует учёта при планировании эксплуатационных работ и мониторинга объектов инфраструктуры.

**Выводы.** Эпицентры землетрясений распределены преимущественно по периферии месторождения, тогда как зона максимальных отрицательных вертикальных скоростей сосредоточена в центре и с ними не совпадает. Это указывает на преимущественно асейсмичный (компакиционный/пороупругий) характер оседаний при наложении фоновой тектоники; часть микрособытий может оставаться ниже порога детектирования. Для управления рисками целесообразны: непрерывный GNSS/InSAR-мониторинг, развёртывание локальной микросейсмической сети в контуре

зоны оседания, сопоставление временных трендов с режимом добычи/пластовыми давлениями и приоритизация контроля инфраструктуры на периферии, где концентрируются события.

**Благодарности:** Исследование выполнено в рамках базового финансирования лаборатории Космических исследований Астрономического института Академии наук РУз.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Blewitt G., Kreemer C., Hammond W.C., Gazeaux J. MIDAS robust trend estimator for accurate GPS station velocities without step detection // *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. – 2016. – Т. 121, № 3. – С. 2054–2068. – DOI: 10.1002/2015JB012552.
2. Kreemer C., Blewitt G., Klein E.C. A geodetic plate motion and Global Strain Rate Model // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. – 2014. – Т. 15, № 10. – С. 3849–3889. – DOI: 10.1002/2014GC005407.
3. Reilinger R. и др. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions// *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. – 2006. – Т. 111, № B5. – DOI: 10.1029/2005JB004051.
4. Zhang S., Zhang J. Ground Subsidence Monitoring in a Mining Area Based on Mountainous Time Function and EnKF Methods Using GPS Data // *Remote Sensing*. – 2022. – Т. 14. – С. 6359. – DOI: 10.3390/rs14246359.
5. Загретдинов Р.В., Загретдинов А.А., Сахатудинов Р.В., Гиляев Д.М., Кузьмин Ю.О., Рахматуллин М.Х. Комплекс геодинамических исследований на супергигантском Ромашкинском нефтяном месторождении // *Фундаментальное и прикладное координатно-временное и навигационное обеспечение: материалы Одиннадцатой Всероссийской конференции (КВНО-2025), 21–25 апреля 2025 г.* – Санкт-Петербург, 2025.
6. Fazilova D., Makhmudov M., Magdiev K.H. Analysis of Crustal Movements in the Angren-Almalyk Mining Industrial Area Using GNSS Data // *International Journal of Geoinformatics*. – 2023. – Т. 19, № 11. – С. 12–19. – DOI: 10.52939/ijg.v19i11.2915.
7. Ярмухамедов А. Р. Морфоструктура срединного Тянь-Шаня и её связь с сейсмичностью. — Ташкент: ФАН, 1988. – 164 с.
8. To'xtameshov F. G'.; Goipov A. B. O'zlashtirilyotgan uglevodород konlari yer usti siljish monitoringida radiolokatsion kosmik tasvirlash usullarini qo'llash // *Geologiya va mineral resurslar*. - 2023. - № 6. - С. 69–74.
9. Nurtaev B. Earthquake hazard assessment in Uzbekistan: unanticipated impacts // *Proceedings of the International Conference "Complexity in Earthquake Dynamics: From Nonlinearity to Earthquake Prediction and Seismic Stability"*. - Tashkent, 2012. - С. 3–12.
10. Herring T.A., King R.W., Floyd M.A., McClusky S.C. GAMIT reference manual. GPS Analysis at MIT, Release 10.7. – Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology, 2018.
11. Petit G., Luzum B. IERS Conventions 2010 (IERS Technical Note 36). – Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, 2010. – 179 с.
12. Esri Inc. Обзор набора инструментов Spatial Analyst – Сплайн [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/spline.htm> (дата обращения: 24.12.2010).
13. Республиканский центр сейсмопрогностического мониторинга (RCSPM) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.smrn.uz/?lang=ru> (дата обращения: 07.01.2023).