УДК 622.83:528.088

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОСМИЧЕСКОГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ТЕХНОГЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ТЕРРИТОРИЯХ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Волков В.И., Вершинина Ю.В.

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», г. Санкт-Петербург, Россия, (190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., 4), e-mail: 9385228@gmail.com

Описан принцип определения техногенных деформаций земной поверхности методом космической радиолокационной съемки, нашедшей применение на геодинамических полигонах нефтегазовых месторождений в последнее время. Выявлены ее слабые стороны, перечислены основные источники помех, оказывающих влияние на точность, достоверность и репрезентативность определения количественных параметров техногенных оседаний земной поверхности. Показано, что кинематические характеристики повсеместно распространенных в приповерхностных слоях земной коры экзогенных геомеханических процессов могут на порядок и более превышать изучаемые техногенные деформации земной коры и ее приповерхностных слоев. Приведены результаты исследований колебаний верхних горизонтов пахотных земель, исключающих возможность применения космической радиолокационной съемки для изучения вертикальных техногенных движений земной поверхности на территориях нефтегазовых месторождений, расположенных в регионах с развитым сельскохозяйственным производством.

Ключевые слова: космический радиолокационный мониторинг, источники погрешностей, экзогенные геомеханические процессы, интерпретация результатов наблюдений.

THE ANALYSIS OF EFFICIENCY OF SPACE RADAR MONITORING OF TECHNOGENIC DEFORMATIONS OF THE TERRESTRIAL SURFACE IN TERRITORIES OF OIL AND GAS FIELDS

Volkov V.I., Vershinina Y.V.

Saint-Petersburg State Architectural and Construction University, St.-Petersburg, Russia (190005, St.-Petersburg, 2 Krasnoarmeyskaya Street, 4), e-mail: 9385228@gmail.com

The principle of definition of technogenic deformations of a terrestrial surface is described by a method of the space radar shooting which is recently applied on geodynamic ranges of oil and gas fields. Its weaknesses and the main sources of the hindrances that have an impact on accuracy, reliability and a representativeness of determination of quantitative parameters of technogenic subsidence of a terrestrial surface are revealed. It is shown that commonly spread in near-surface layers of crust kinematic characteristics of exogenous geomechanical processes can much exceed previously studied technogenic deformations of crust and its near-surface layers. Results of the research of fluctuations of the top horizons of the arable lands are listed, the results exclude the possibility of application of space radar shooting for studying the vertical technogenic movements of a terrestrial surface in territories of oil and gas fields, located in regions with the well-developed agricultural production.

Keywords: space radar monitoring, sources of errors, exogenous geomechanical processes, interpretation of results of supervision.

Развитие и углубление исследований по изучению природных и техногенных движений земной поверхности на разрабатываемых месторождениях углеводородного сырья связано с интенсивным освоением таких месторождений в последнее время и, как следствие, нарастающим числом экономических, экологических и других неблагоприятных последствий, возможным проявлением техногенной и техногенно-индуцированной сейсмичности в районах нефтегазопромыслов и за их пределами, аномальными деформациями земной коры и т. д.

В целях предотвращения перечисленных и многих других последствий разработки нефтегазовых месторождений, установления правильных мер охраны для зданий, сооружений и природных объектов от вредного влияния горных работ в рамках реализации ФЗ РФ «О недрах» на всех действующих месторождениях полезных ископаемых маркшейдерскими службами соответствующих эксплуатирующих организаций должен проводиться комплекс наблюдений, достаточных по своему содержанию, объему, информативности и достоверности для решения задач по определению векторов сдвижений и деформаций земной поверхности, а также по изучению напряженно-деформированного состояния скелета коллектора, вмещающих его пород и всей толщи горного массива над залежью в случае разработки месторождений углеводородного сырья [3].

Имеющийся на сегодняшний день достаточно большой опыт геодезического мониторинга деформационных процессов на нефтегазовых месторождениях показывает [5], что оседание земной поверхности широко распространено при длительном освоении месторождений нефти и газа и для подавляющего большинства скорости техногенных оседаний составляет 1–2 см/год, а накопленные величины не превышают первых десятков сантиметров. Последствиями таких деформационных процессов могут быть смятия обсадных колонн, подтопления расположенных в равнинной местности территорий, активизация склоновых, оползневых и других экзогенных процессов.

В последнее время при решении на геодинамических полигонах указанных выше задач прослеживается тенденция перехода от традиционных геодезических методов наблюдений (нивелирование, триангуляция и др.) к спутниковым геодезическим и аэрокосмическим наблюдениям. В части аэрокосмических наблюдений наибольшее внимание уделяется методу дифференциальной радиолокационной интерферометрии [4]. Сущность данного метода заключается в излучении искусственным спутником Земли импульса микроволновой энергии в радиолокационном диапазоне, который, отражаясь от земной поверхности, регистрируется сенсором. Значение каждого пикселя получаемого изображения содержит в себе расстояние от сенсора до земной поверхности. По произошедшим за время между первой и повторной съемками изменениях судят о вертикальных и горизонтальных смещениях земной поверхности. При этом идентифицируемыми точками (отражающими поверхностями) могут служить как искусственные (крыши зданий и сооружений, развилки дорог), так и природные объекты (почвенный покров с растительностью, скальные породы земной поверхности и др.). Инструментальная точность измерений дальностей, которая обеспечивается применением соответствующей спутниковой аппаратуры, лежит в миллиметровом диапазоне, однако при регистрации техногенных смещений земной поверхности, характеризующихся миллиметровыми величинами в условиях разработки

нефтегазовых месторождений, не следует полностью полагаться на ее точностные показатели, так как результаты радиолокационной съемки отягощены влиянием внешних условий, экзогенными и эндогенными факторами, погрешностями обработки [1], которые на порядок и более могут превышать заявленную аппаратурную точность.

Применение технологии дифференциальной радиолокационной интерферометрии в качестве «высокоточного площадного метода наблюдений за смещением земной поверхности» на нефтегазовых месторождениях как в России, так и зарубежом не позволяет однозначно оценить достоверность и репрезентативность полученных данных [2], так как отсутствует оценка качества наблюдений и их результатов. При использовании этого метода техника измерений, как и в других ГЛОНАСС/GPS-технологиях, не является физически осязаемым фактом, и исполнитель полностью полагается на аппаратуру, средства обработки, исключая при этом ненадежность их работы по отношению к реализации заявленных точностных показателей измерений техногенных деформаций приповерхностных слоев земной коры и оценку репрезентативности их результатов.

Индикатором при определении техногенных смещений земной поверхности методом дифференциальной радиолокационной интерферометрии служит смещение специальным образом выбранных точек, расположенных непосредственно на земной поверхности или на стенах зданий и сооружений, изменение пространственно-временного положения которых обусловлено не только техногенным воздействием на недра, но и целым рядом других экзогенных факторов [1,7,8,9], в большинстве случаев проявляющихся совместно. Порождаемые экзогенными факторами процессы и явления вызывают смещения и деформации земной поверхности, которые при обработке результатов наблюдений расцениваются как техногенные, однако никакого отношения к ним не имеют и должны исключаться из полученных результатов при составлении карт техногенных движений земной поверхности как систематические погрешности повторных инструментальных дистанционных наблюдений.

Экзогенные геомеханические процессы и явления в силу неоднородности геологических, геоморфологических и климатических условий определяют сложную картину распределения напряжений и деформаций в горных породах и вызывают высокоамплитудные, короткопериодичные и нерегулярные, сложнодифференцируемые в пространстве и во времени вертикальные и горизонтальные смещения земной поверхности [7,8,9]. К числу таких геомеханических процессов следует отнести морозное пучение, деформации грунта вследствие сезонного изменения температурно-влажностного режима, изменений атмосферного давления, количества выпадающих осадков, колебаний уровня грунтовых вод, морских и океанических приливов, лунно-солнечного притяжения, давления веса

возводимых зданий и сооружений, динамических нагрузок при движении транспорта и многие другие. Не преследуя в настоящей статье цели дать подробное описание всех экзогенных геомеханических процессов, обобщим лишь некоторые результаты исследований по изучению экзогенных движений земной поверхности, оказывающих влияние на точность определения техногенных оседаний методом космического радиолокационного мониторинга.

Гидротермические движения земной поверхности, обусловленные протаиванием и оседанием грунта в весенне-летний период с последующим его промерзанием и поднятием в осенне-зимний, находясь в прямой зависимости от состава и степени влажности горных пород, могут достигать величин от нескольких см [8] в районах с континентальным климатом до десятков см [7] в районах многолетней мерзлоты. Так, в районе г. Петровска-Забайкальского, расположенного в многолетней криолитозоне, по исследованиям Белокрылова И.Д. [7], годовые амплитуды гидротермических движений земной поверхности составили 30–44 см. Им же было зарегистрировано поднятие земной поверхности за одни сутки на 8 мм. Значительные опускания земной поверхности были отмечены в весеннее время в Подмосковье [6], когда среднесуточные смещения достигали 3–5 мм, а, в общем, за 25 дней земная поверхность деформировалась на 25 мм. Следует иметь в виду, что гидротермические движения одного и того же участка земной поверхности не будут одинаковыми из года в год, что обусловлено разными датами начала промерзания и оттаивания грунта. Зачастую они сопровождаются явлениями солифлюкции, которые наблюдаются даже на незначительных склонах (2 °–3 °) [9], а также термокарста.

Набухание и поднятие грунта может происходить вследствие обильного выпадения осадков. Обычно амплитуда таких поднятий не превышает нескольких мм [6], коррелируя со степенью дисперсности горных пород. Однако в период сильных дождей деформации земной поверхности могут достигать десятков сантиметров [9].

Колебательные движения земной поверхности могут быть вызваны изменением уровня грунтовых вод: при повышении уровня происходит разуплотнение грунтов и их поднятие, при понижении – уплотнение и осадка. Экспериментальными наблюдениями установлено [9], что при годовых колебаниях уровня подземных вод, лежащих в пределах 0,5–3,0 метров, деформации земной поверхности могут достигать 3–5 мм и более. Техногенные колебания уровней грунтовых вод могут приводить как к поднятиям поверхности земли на несколько см вследствие набухания мелкодисперсных грунтов, так и к ее осадкам в случае преобладания рыхлых песчаных и лессовых грунтов за счет уплотнения минеральных частиц [9].

Важной составляющей погрешностей дифференциальной радиолокационной интерферометрии являются погрешности собственно спутниковых измерений, которые обусловлены как ошибками аппаратуры, так и влиянием внешних условий повторных измерений дальностей на результаты повторного радиолокационного опроса земной поверхности. Так, только лишь шумы приемника способны вносить в величины измеренных дальностей ошибку от 1 до 5 мм. Несинхронное согласование бортовых и системных шкал времени приводит к искажению результатов на 1 мм при расхождении времени в 1 мкс, а при возникновении такого явления, как многопунктность, ошибки в измерении дальностей и параметров сигнала могут достигать десятков мм [1]. Наибольшее влияние на характер распространения сигнала от спутника до приемного устройства и, как следствие, на точность определения дальностей, оказывают неоднородные по своим физическим свойствам слои атмосферы – стратосфера, тропосфера и ионосфера. Последняя существенно искажает результаты спутниковых наблюдений. Величина ее влияния находится в диапазоне от нескольких см до нескольких метров и зависит от времени суток, года, географической широты расположения спутникового приемника, солнечного ультрафиолетового ионизирующего излучения. Существующие способы учета ионосферной задержки [1] позволяют снизить погрешность в измерении дальностей по фазовым данным до см, однако полностью исключить ее не удается [1].

Применение дифференциальной радиолокационной интерферометрии в регионах с интенсивно развитым сельскохозяйственным производством (Краснодарский край, Астраханская, Оренбургская области и др.) значительно затруднено техногенными сельскохозяйственными процессами. Особо результаты дифференциальной радиолокационной съемки искажаются вертикальными колебаниями верхнего горизонта почвы в процессе ее обработки (вспашка, дискование и др.), в результате которой плотность почвенной массы изменяется, что приводит к изменению уровня земной поверхности.

Общепринято проводить радиолокационную интерферометрическую съемку с целью изучения (контроля) техногенных движений земной поверхности на территориях нефтегазовых месторождений в основном ранней весной или осенью при отсутствии растительности и снежного покрова. Однако именно в этот период обработка пахотных земель (вспашка, культивирование, дискование и др.) производится наиболее интенсивно. Поэтому результаты дифференциальной радиолокационной интерферометрии могут искажаться колебаниями верхнего горизонта почвы, обусловленными ее обработкой. Исследования, выполненные с участием авторов статьи в Оренбургской области, показали, что систематические погрешности в фиксируемых вертикальных движениях земной поверхности, установленные по результатам дифференциальной радиолокационной

интерферометрической съемки участков, подвергающихся вспашке, достигают величин 15–20 сантиметров.

Исследования сводились к повторным топографическим съемкам на четырех опытных площадках в масштабе 1:200 с сечением рельефа 0,1 метра по жнивью и после вспашки. В период с сентября 2007 года по август 2008 года производились отборы проб почвы через определенные интервалы для определения ее плотности на глубинах от 0 до 50 сантиметров. Плотности выражались в абсолютных именованных величинах ρ_i. В данном случае рассчитывались массы почвы в 1 дм^3. Абсолютная величина подъема почвы после вспашки ΔH рассчитывалась по формуле:

$$\Delta H = b\left(\frac{\rho_1}{\rho_2} - 1\right),$$

где b – глубина вспашки, ρ_1 и ρ_2 – плотность почвы до и после вспашки.

Изменение плотности под воздействием вспашки и последующего уплотнения (оседания) типового чернозема в дециметровых слоях приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты определения плотности почвы

Слой почвы, см	Плотность почвы										
	До вспашки	После вспашки на дату									
		25.09	30.10	05.11	10.11	15.11	20.11	25.11	16.04	02.07	01.08
0-10	1,15	0,66	0,69	0,70	0,75	0,76	0,80	0,81	0,90	1,12	1,15
10-20	1,18	0,70	0,77	0,79	0,81	0,82	0,87	0,89	0,95	1,15	1,18
20-30	1,28	0,96	0,96	0,97	1,00	1,04	1,08	1,08	1,17	1,19	1,21
30-40	1,24	1,00	1,00	1,01	1,03	1,04	1,10	1,14	1,22	1,23	1,24
40-50	1,27	0,92	0,95	0,97	0,97	0,98	1,04	1,06	1,23	1,24	1,26
0-50	6,06	4,24	4,38	4,44	4,50	4,59	4,85	5,08	5,47	5,93	6,04
Подъем почвы ΔH, см	-	22	19	18	17	17	12	9	5	1	0

Примечание: период мерзлой почвы с 26.11 по 10.04.

Результаты, приведенные в таблице, показали, что плотность полуметрового слоя почвы на площади 1 дм^3 существенно изменилась в сторону уменьшения после вспашки и в дальнейшем на протяжении 10 месяцев увеличивалась, что привело к опусканию земной поверхности (рис.1) до исходного уровня в августе месяце.

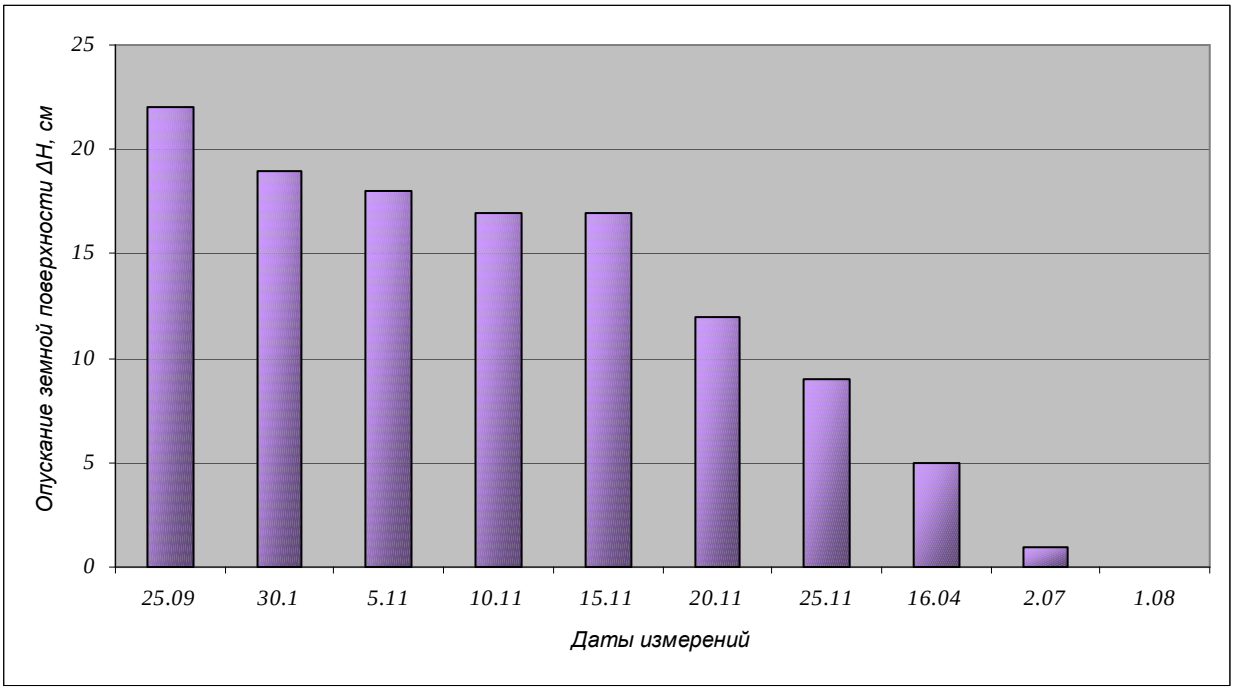

Рис. 1. Вертикальные движения земной поверхности

Руководствуясь результатами выполненных исследований, сведениями о воздействии экзогенных геомеханических процессов на устойчивость земной поверхности и погрешностях спутниковых измерений, можно сделать выводы о том, что по многочисленным причинам метод дифференциальной радиолокационной интерферометрии в настоящее время может найти только ограниченные применения на геодинамических полигонах нефтегазовых месторождений, так как он может достоверно выявлять лишь быстротечные оседания земной поверхности, характеризуемые скоростями не менее 2-х дециметров в год.

Список литературы

1. Антонович К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии: В 2 т. Т. 1. Монография. ГОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия». – М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2005. – 334 с.
2. Волков В. И., Вершинина Ю. В. Обоснование выбора эффективных методов и средств изучения техногенных движений земной поверхности // Актуальные проблемы архитектуры и строительства: сб. труд. V междунар. конф. – СПб., 2013. – С.3–7.
3. Инструкция по производству маркшейдерских работ РД 07-603-03.
4. Кантемиров Ю.И., Баранов Ю.Б., Зинченко И.А., Вергелес С.П., Киселевский Е.В., Никифоров С.Э. О контроле деформаций земной поверхности при разработке газовых

месторождений в условиях Крайнего Севера // Маркшейдерский вестник. – 2008. – № 3. – С.18-22.

5. Кузьмин Ю.О. Современная аномальная геодинамика недр, индуцированная разработкой месторождений нефти и газа // Фундаментальный базис новых технологий нефтяной и газовой промышленности. Вып. 2. – М.: ГЕОС, 2002. – С.418–427.

6. Нивелирование I и II классов (практическое руководство) / Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. – М.: Недра, 1982. – 264 с.

7. Певнев А. К. Гидротермические движения земной поверхности и их влияние на выводы о современных движениях земной коры // Современные движения земной коры: Сборник статей № 1. – М.: Изд-во Академии Наук СССР, 1963. – С.373-379.

8. Сорочан Е. А. Строительство сооружений на набухающих грунтах. – 2-е изд., перераб. и доп.– М.: Стройиздат, 1989. – 312 с.

9. Успенский М. С. Вертикальные смещения земной поверхности под действием некоторых процессов нетектонического характера // Современные движения земной коры: Сборник статей № 1. – М.: Изд-во Академии Наук СССР, 1963. – С.145–148.

Рецензенты:

Семенцов С.В., доктор архитектуры, профессор, декан архитектурного факультета ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», г. Санкт-Петербург.

Степанов В.Я., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой геодезии и кадастра ФГОУ ВПО «Тверской государственный технический университет», г. Тверь.