



Чернова И.Ю.

к.г.-м.н., доцент кафедры ГиГИТ,
ФГАОУВО Казанский (Приволжский)
федеральный университет
inna.chernova@kpfu.ru



Нургалиев Д.К.

д.г.-м.н., профессор, проректор по
направлениям нефтегазовых технологий,
природопользования и наук о Земле,
ФГАОУВО Казанский (Приволжский)
федеральный университет
danis.nourgaliev@kpfu.ru



Лунева О.В.

б.с., ассистент кафедры ГиГИТ,
ФГАОУВО Казанский (Приволжский)
федеральный университет
olunjova@yandex.ru



Сахаутдинов Р.В.

главный маркшейдер –
начальник управления топографо-
геодезических, имущественных,
маркшейдерских работ
«Татнефть – Добыча» ПАО
«Татнефть»
SahautdinovRV@tatneft.ru



Гилаев Д.М.

начальник отдела топографо-
геодезических и маркшейдерских работ –
заместитель начальника УТГИМРС
«Татнефть – Добыча» ПАО «Татнефть»
gilaevdm@tatneft.ru



Рахматуллин М.Х.

Ведущий инженер
Маркшейдерско-геодезической
группы Маркшейдерско-
землеустроительного центра
RahmatullinMH@asu.tatneft.ru

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПО ДАННЫМ ПОВТОРНОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ, ВЫПОЛНЕННОГО НА ТЕРРИТОРИИ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА ПАО «ТАТНЕФТЬ»

Геодинамический полигон ПАО «ТАТНЕФТЬ» охватывает юго-восточную часть Республики Татарстан (Россия) – регион интенсивной добычи нефти и многократных проявлений сейсмичности. На площади полигона, включающей крупнейшие Ромашкинское и Ново-Елховское месторождения, в течение последних 30 лет регулярно проводились наблюдения методом повторного нивелирования. Традиционная методика обработки данных повторного нивелирования подразумевает расчёт и анализ амплитуд вертикальных смещений за 1 год или несколько лет вдоль отдельного профиля. Предлагается новый способ анализа результатов многолетнего повторного нивелирования, охватывающий все измеренные вертикальные смещения за все годы наблюдения по всем профилям. Новый способ подразумевает применение инструментов пространственно-временного анализа геоинформационной системы ArcGISPro. Исследование ограничилось поиском локальных просадок, т.к. за время действия полигона обширные просадки, которые могли быть вызваны интенсивной добычей нефти, обнаружены не были. В результате массовой обработки данных были выявлены 84 репера, в которых систематически наблюдались просадки с амплитудой не менее 5 мм за 1 год. Сравнение карты систематических просадок и карты современной геодинамической активности показывает, что подавляющее большинство мест выявленных просадок расположены в областях относительно тектонического опускания. Из 84 потенциально опасных зон деформации 7 были оценены как опасные. Поскольку амплитуды смещений в аномальных участках превосходили погрешность наблюдения в 2-3 раза, определение уровня относительного деформирования геологической среды являлось надёжным. Таким образом, возникновение систематических просадок, в том числе локальных опасных деформаций земной поверхности, объясняется естественными причинами, исходящим из природы современных геодинамических обстановок, распространённых на территории геодинамического полигона.

Ключевые слова: геополлигон, повторное нивелирование, неотектоника, вертикальные движения, разлом, относительная деформация изгиба, скорость деформационных процессов.

Основной формой организации мониторинга на нефтегазовых месторождениях является геодинамический полигон (ГДП). Одна из традиционных составляющих полигона – сеть иерархически построенных систем профильных наблюдений за смещениями дневной поверхности.

На **рисунке 1** представлена схема нивелирной сети на юго-востоке Республики Татарстан, принадлежащая ПАО «ТАТНЕФТЬ». Уникальность данной сети состоит в продолжительности её эксплуатации и почти непрерывном сборе информации на протяжении 30 лет. Как известно, в этой части Поволжья располагаются крупнейшие нефтяные месторождения – Ромашкинское и Ново-Елховское, а также десятки мелких месторождений. Необходимость создания геодинамического полигона была обусловлена возрастающим объёмом добычи нефти, а также рядом землетрясений, которые были зафиксированы в 1980-1988 гг. На геодинамическом полигоне используются высокоточные (2 класса точности) нивелирные наблюдения по сравнительно густой сети наблюдательных профилей. Точность нивелирования 2 класса означает, что среднеквадратическая погрешность случайных ошибок наблюдений составляет величину 2 мм на расстоянии 1 км.

В целом сеть, развёрнутая на геодинамическом полигоне ПАО «Татнефть», сохраняла свою структуру на протяжении всего срока эксплуатации. Но её локальные изменения также были не-

избежны из-за потерь первичных реперов и появления новых. Установка новых реперов не только решала задачу восстановления реперных точек, но и задачу модернизации сети наблюдений на каждом этапе её развития. Существенное уплотнение наблюдательных пунктов и оптимизация длин профилей произошли примерно к 2013 году.

Таким образом, историю развития и развёртывания нивелирной сети на геодинамическом полигоне ПАО «Татнефть» можно разделить на два временных этапа: 1) 1 этап – с 1991 года до начала 2000-х годов; 2) 2 этап – от начала 2010-х годов до настоящего времени.

Основные итоги анализа результатов измерений 1 этапа развития нивелирной сети были опубликованы в монографии «Современная геодинамика и сейсмичность Юго-Востока Татарстана» (Современная геодинамика ..., 2012). Результаты более поздних наблюдений описаны в отчётах о геодезических работах на геодинамическом полигоне за 2010-2019 гг.

Оценка относительных деформаций проводилась по методике, предложенной Ю.О. Кузьминым (Кузьмин Ю. О., 1999; Кузьмин Ю.О. 2018). Одним из наиболее важных положений методики Ю.О. Кузьмина является необходимость идентификации типа деформации. На основе данных повторного нивелирования могут быть обнаружены деформации изгиба разной амплитуды и протяжённости. Ю.О. Кузьминым были получены формулы для оценки связи относи-

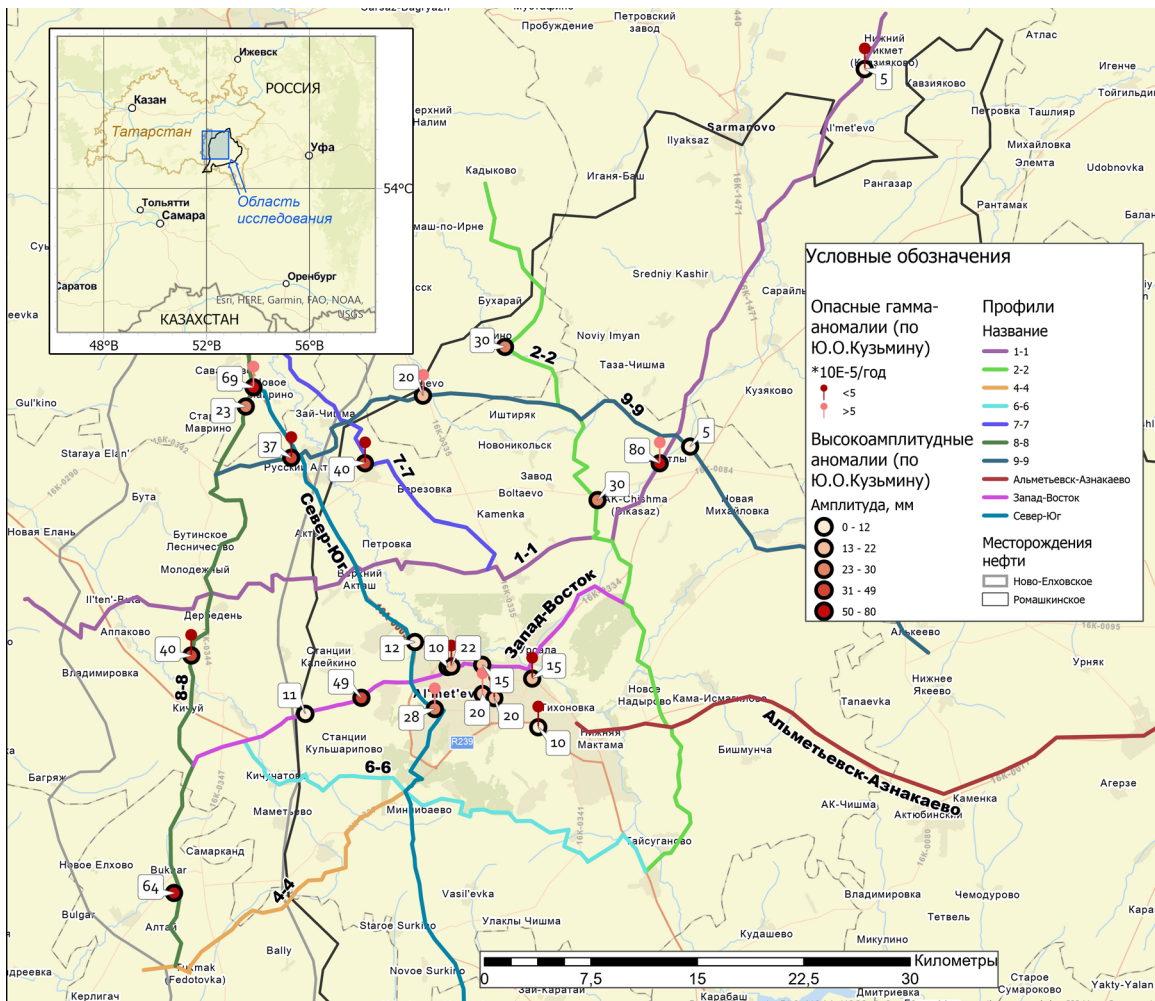


Рис. 1. Схема региональных профилей геодинамического полигона на юго-востоке Татарстана.

тельных деформаций изгиба с типовыми в маркшейдерии и инженерной геодезии формулами для расчёта кривизны деформации.

При проектировании ГДП подразумевалось, что на основе анализа повторных нивелирных наблюдений вдоль региональных профилей будут обнаружены обширные просадки земной поверхности, обусловленные интенсивной добычей нефти. Данные по локальным профилям, которые имеют повышенную пространственную детальность, в дополнение к контролю оседаний позволят выявлять аномальные локальные деформации земной поверхности, которые обусловлены активизацией разломных зон.

Обобщение многолетних нивелирных наблюдений в пределах ГДП привело к несколько иным от предполагаемых выводам:

1) Анализ результатов повторных нивелирных наблюдений, проведённых по региональным профилям, показал, что значимых накопленных обширных оседаний земной поверхности в зонах разработки месторождений нефти за период 1991-2018 гг. зафиксировано не было.

2) В период 1991-2012 гг. были выявлены зоны современных активных (опасных) разломов со среднегодовыми скоростями относительных деформаций порядка нескольких единиц 10⁻⁵ в год. В период 2013-2018 гг. эти локальные аномалии типа γ (Кузьмин Ю. О., 1999; Кузьмин Ю. О. 2018), за исключением нескольких случаев, повсеместно исчезли. В целом следует отметить, что уровень деформационной активности земных недр, по данным региональных и локальных нивелирных профилей, существенно снизился.

3) Обнаружено, что в период подготовки ощутимого землетрясения, произошедшего в Альметьевске 29 мая 2008 г. с магнитудой в 4 балла, произошло поднятие земной поверхности в окрестности очаговой зоны, зафиксированное по данным нивелирования.

К настоящему времени традиционная методика анализа данных повторного нивелирования практически исчерпала свои возможности для получения новой информации о природе деформационных процессов. Авторы статьи предлагают иной подход к анализу результатов

повторного нивелирования, подразумевая массовую обработку данных, охватывающую все измеренные вертикальные смещения за все годы наблюдения по всем без исключения профилям. Подобная обработка – попытка взглянуть на данные многолетнего повторного нивелирования иначе, а именно с точки зрения поиска и объяснения пространственных связей аномально-высоких амплитуд вертикальных смещений с другими проявлениями современной геодинамики (неотектоническая активность, плотность макротрещин). Кроме того, массовая обработка данных могла бы обнаружить аномальные участки вертикальных смещений, которые по каким-то причинам были пропущены при профильной ручной обработке измерений.

Поскольку за всё время действия геодинамического полигона не было выявлено ни одной значимой обширной просадки, исследование ограничилось поиском систематических локальных просадок.

Материалы и методы. Для решения исследовательских задач предварительно был собран и систематизирован большой объём фактического материала по результатам повторного нивелирования за период с 1991 по 2019 гг. Исходные данные были представлены в виде таблиц, содержащих номера профилей и реперов, расстояния между реперами, а также средние из-

меренные превышения (в миллиметрах) между реперами за каждый цикл измерений. Все таблицы были переработаны и приведены к единой форме, пригодной для выполнения пространственно-временного анализа с помощью инструментов геоинформационной системы (ГИС). В качестве базового программного продукта была выбрана ГИС ArcGIS Pro 2.4 (ESRI, США).

Инструментами анализа массива данных были инструменты создания, анализа и визуализации многомерных данных ArcGIS Pro – «Создать куб Пространство-Время из указанных местоположений» и «Визуализация куба Пространство-Время в 2D» (URL: <https://pro.arcgis.com>). Результатом работы этих инструментов является создание слоя точек-реперов наблюдения, в котором для каждого репера даётся оценка тренда для каждого временного ряда наблюдений. В качестве переменной была выбрана «эволюционная» разность смещения между циклами наблюдения. В «эволюционном» варианте изменения вертикальных смещений земной поверхности определяются вычитанием текущих величин превышений от значений, полученных при первом наблюдении (Кузьмин Ю.О., 1999). В этом случае прослеживается временная эволюция смещений земной поверхности. На **рисунке 2** показан пример классификации реперов наблюдения на Прикамском геодинамическом полигоне (части

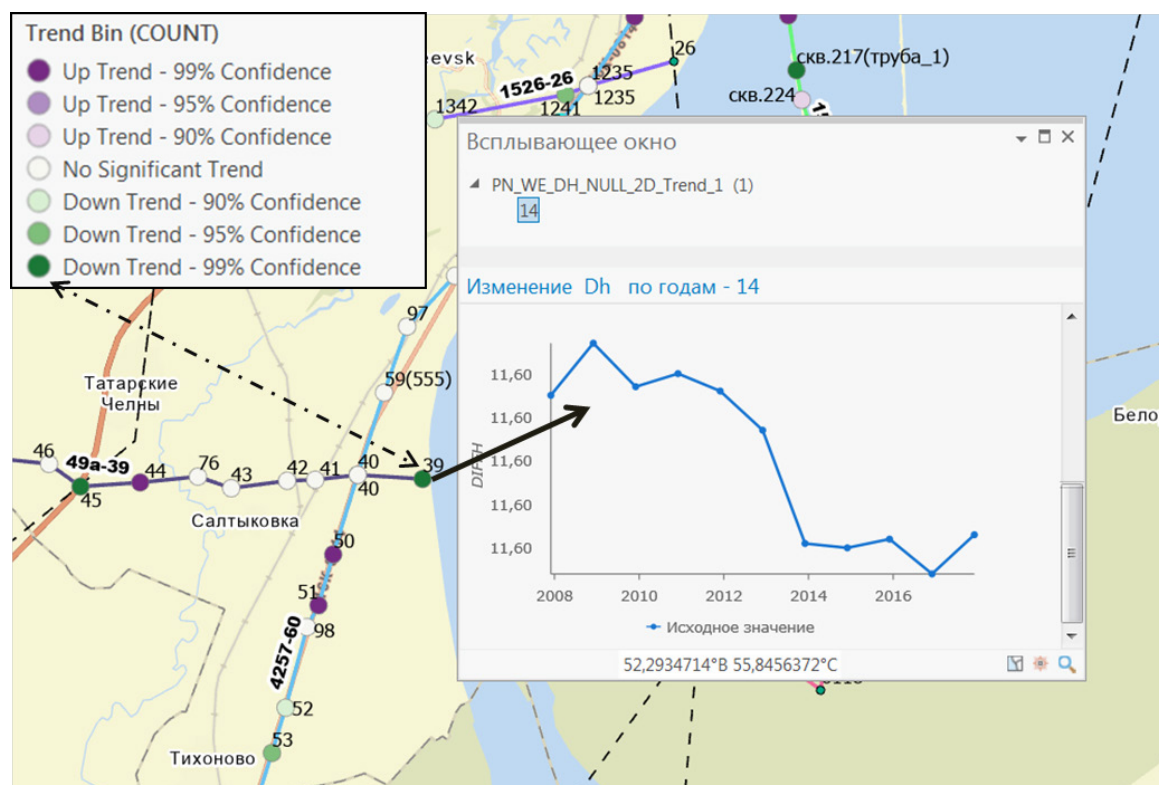


Рис. 2. Визуализация результатов пространственно-временного анализа (пояснения в тексте).

общего ГДППАО «Татнефть»). Все пикеты классифицируются на 7 классов по признаку наличия или отсутствия тренда в изменчивости величины Δh («эволюционная» разность смещений) от времени. Зелёными точками показаны реперы, в которых выявлен отрицательный тренд, фиолетовыми – положительный. Чем насыщеннее цвет символа, тем выше достоверность обнаруженного тренда в данной точке. Так, например, для репера 39 профиля 49а-39 показан график изменения величины Δh по годам. Кривая явно имеет отрицательный тренд, что и подтверждается статистически.

Тёмно-зелёный символ, установленный программой для репера 39, говорит о том, что определение отрицательного тренда изменчивости величины вертикального смещения достоверно с вероятностью 99%.

Точки с положительными трендами не рассматривались, т.к. измеренные величины являются относительными величинами, и изгиб вниз и изгиб вверх линии графика « Δh -год» на двух соседних реперах будут отображать одну и ту же деформацию.

В результате массовой обработки среди всех реперов региональных и локальных профилей были выявлены реперы, в которых систематически (год за годом, или с перерывами) наблюдались отрицательные аномалии вертикальных смещений

с амплитудой не менее 5 мм. Эти реперы также хорошо видны на «эволюционных» графиках вертикальных смещений (рис. 3). Всего было выявлено 84 репера с систематическими просадками. Многие из обнаруженных просадок существовали продолжительное время – до 27 лет.

Далее рассчитывались относительные деформации изгиба по формуле Ю.О. Кузьмина, относительные деформации изгиба f/L по формуле, рекомендованной нормативными документами (СП 22. 13330.2011., 2011; Рекомендаций по учёту., 1986), а также относительные деформации наклона по формуле, рекомендованной нормативными документами СП 22. 13330.2011 и «Рекомендаций по учёту и предупреждению деформаций и сил морозного пучения грунтов» (рис.4). В тех местах, где изгиб или наклон фиксировался не тремя реперами, а их большим числом, в расчётах учитывались все реперы, которые описывали деформацию.

Для выяснения природы возникновения систематических посадок паттерн точек систематических просадок был сопоставлен с поверхностями, отражающими современные геодинамические условия территории исследования. К этим поверхностям относятся поверхность макротрещиноватости пород осадочного чехла (рис.5) и морфометрическая поверхность (рис. 6).

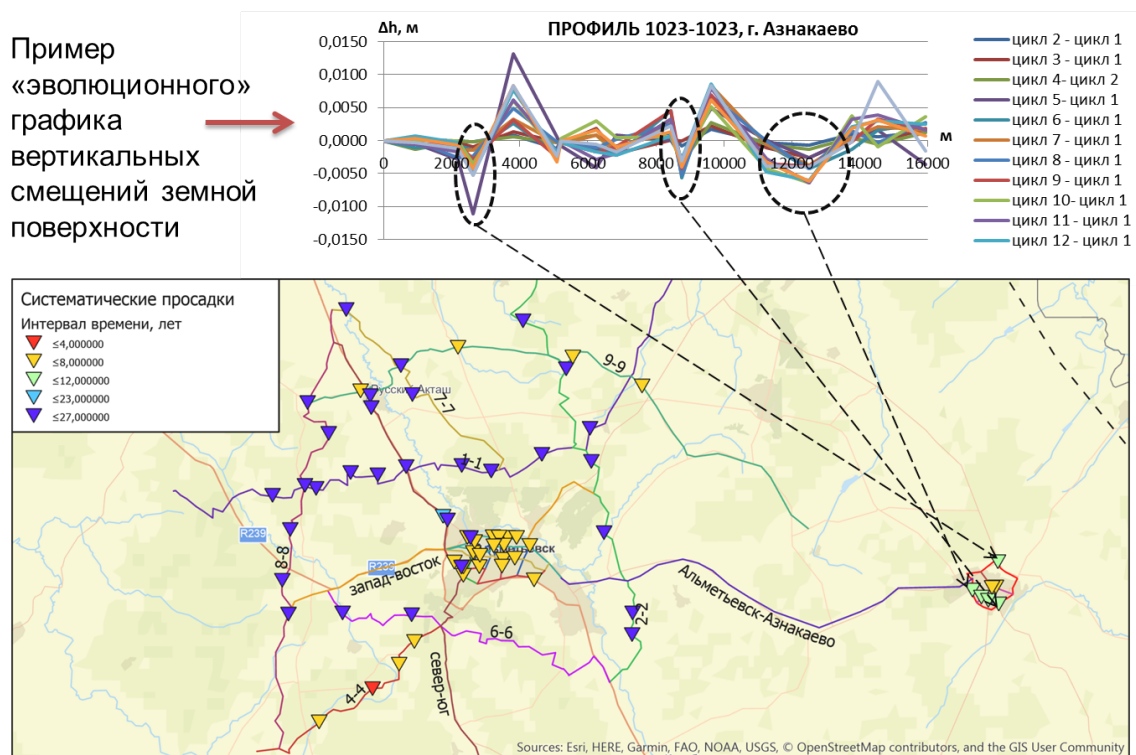
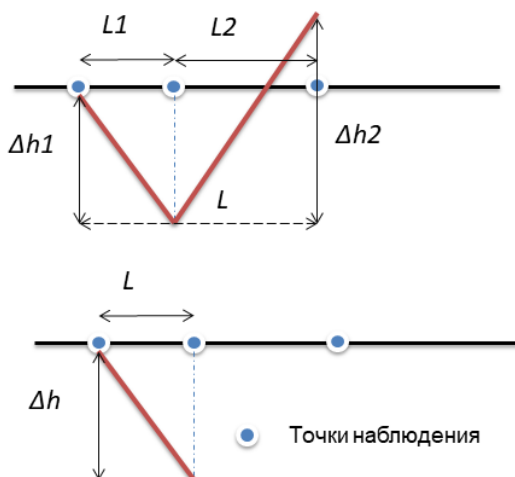


Рис. 3. Распределение мест систематических просадок на территории ГДП. В верхней части рисунка показан пример «эволюционного» графика вертикальных смещений для профиля 1023-1023 Азнакаевского локального полигона. Чёрными пунктирными линиями отмечены реперы, в которых систематически наблюдались просадки.



Деформация изгиба

$$f/L = (\Delta h1 - \Delta h2) / 2 \cdot (L1 + L2) \quad (\text{Норм. документ})$$

$$f/L = 0.5 \cdot (\Delta h1/L1 - \Delta h2/L2) \quad (\text{Ю.О. Кузьмин})$$

Деформация наклона (крен)

$$f/L = \Delta h / L \quad (\text{Норм. документ})$$

Рис. 4.

Формулы для расчета деформаций изгиба и наклона (Кузьмин Ю.О., 1999; СП 22. 13330.2011 «Основания зданий и сооружений»..., 2011).

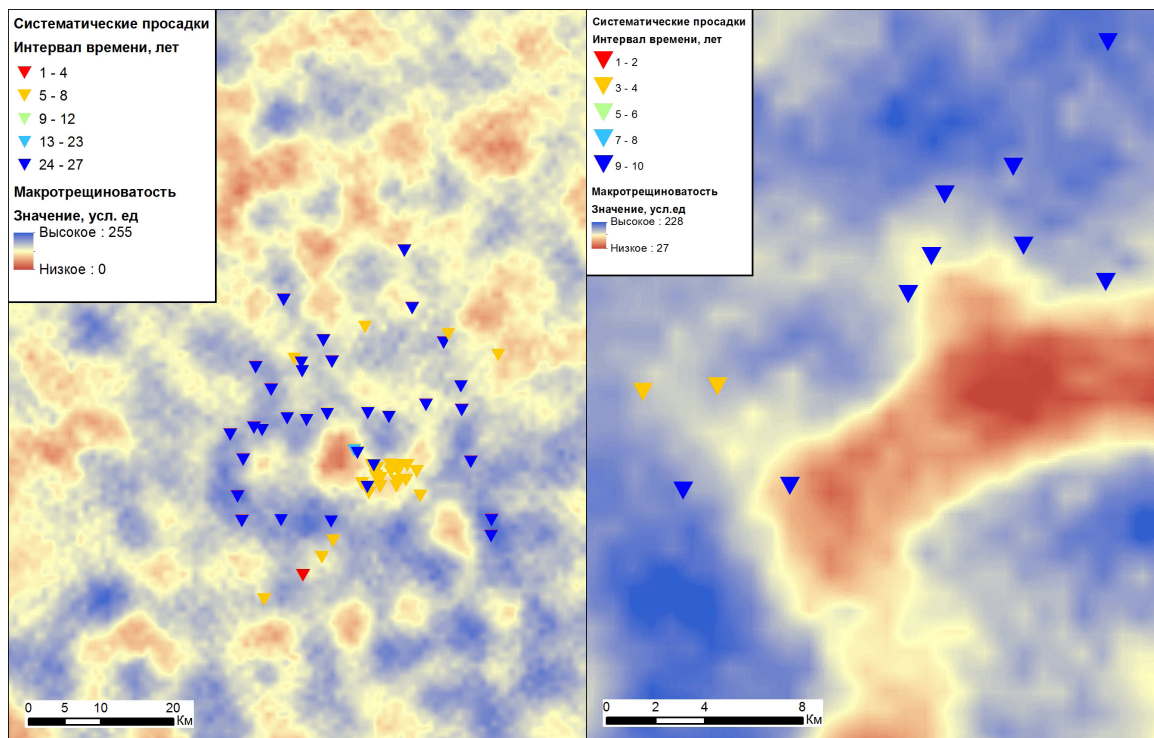


Рис. 5.

Распределение систематических просадок по поверхности макротрещиноватости: а) ГДП Ромашкинского месторождения; б) ГДП Прикамской зоны.

Обе поверхности являются производными от поверхности цифровой модели рельефа масштаба 1:200000. Поверхность макротрещиноватости показывает распределение интегральной макротрещиноватости пород осадочного чехла, и рассчитывается как плотность элементарных линейных объектов рельефа – тальвегов и водоразделов в скользящем окне (Zlatopolsky A.A., 1992). Морфометрическая поверхность, представленная на рисунке б, является разностью базисных поверхностей 1-ого и 2-ого порядков и рассчитывается с использованием инструментов гидрологиче-

ского моделирования. Методика расчёта и интерпретации морфометрических поверхностей изложена в работах (Философов В. П.,1975; Чернова И.Ю. и др.,2010; Чернова И.Ю. и др., 2011; Нургалиев Д.К. и др., 2011). В работе (Чернова И.Ю. и др., 2011) показано, что разность базисных поверхностей 1-ого и 2-ого порядков является прямым отражением современной геодинамической активности территорий исследования. Эта поверхность показывает знак и интенсивность движений, возраст которых не превышает 10²- 10⁴ лет.

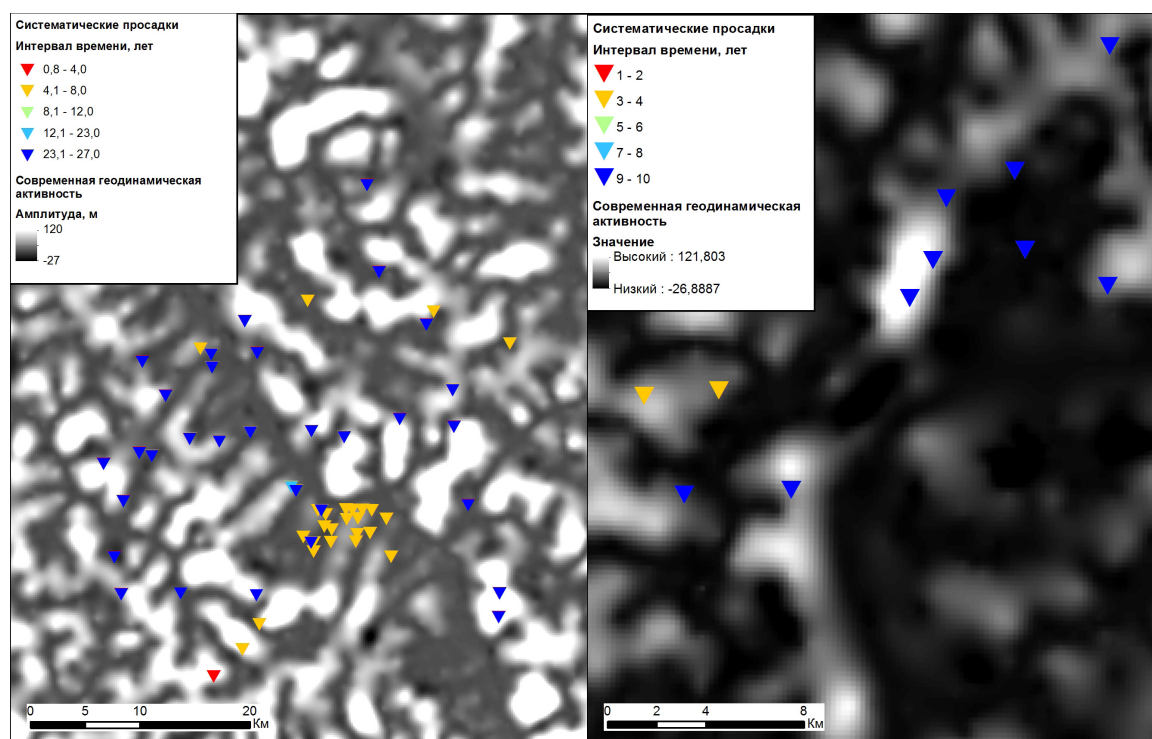


Рис. 6.
 Распределение систематических просадок на карте современной геодинамической активности:
 а) ГДП Ромашкинского месторождения; б) ГДП Прикамской зоны.

Результаты. Наложение выявленных мест систематических просадок на карту плотности линейных элементов показывает пространственную взаимосвязь систематических просадок земной поверхности с областями повышенной макротрещиноватости (рис.5). Трещинные зоны составлены из множества фрагментов земной коры, которые являются более подвижными относительно ограничиваемых ими блоков. Фрагменты внутри трещинных зон также подвижны относительно друг друга и могут создавать на поверхности земли многочисленные локальные просадки.

Наложение мест систематических просадок на карту современной геодинамической активности (рис.6) показывает, что подавляющее большинство мест выявленных просадок расположены в областях относительного опускания (области относительного опускания окрашены в чёрный и тёмно-серый цвета). А некоторые из них, которые также являются выявленными Ю.О. Кузьминым участками опасных локальных деформаций изгиба, расположены на границе опускающихся и поднимающихся участков. Периодически возобновляющиеся воздымания одних микроблоков относительно других может сопровождаться также и деформацией растяжения, которые создают гамма-аномалии (иначе, суперинтенсивные деформации или СД-аномалии, или аномалии типа у) на поверхности земли.

Таким образом, возникновение систематических просадок, в том числе, локальных опасных деформаций земной поверхности объясняется естественными причинами, исходящим из природы современных геодинамических процессов, распространённых на территории ГДП.

Обсуждение и выводы. Базовой процедурой при оценивании уровня геодинамической опасности любых объектов, расположенных на земной поверхности, является сопоставление измеренных в результате геодинамического мониторинга деформаций земной поверхности с нормативно-допустимыми значениями. В случае, когда измеренный уровень деформаций участка земной поверхности сопоставим или превосходит нормативные значения, данный участок является геодинамически опасным для объектов, расположенных в его пределах.

В подавляющем большинстве нормативных документов используются такие параметры деформационного процесса, как относительные деформации сжатия и растяжения, наклоны земной поверхности, радиус кривизны, относительная неравномерность осадок, крен и т. д. (СП 22.13330.2011, 2011; Рекомендаций по учёту., 1986). Зачастую эти понятия являются синонимами, отражая специфику отраслевой терминологии. Так, например, наклон формально подобен крену, мульда оседания (сдвигения) – прогибу и т. п. В нормативном документе СП 22.13330.2011

Таблица 1.

Среднегодовые скорости относительных деформаций на территории ГДП.

Наименование профиля	Номер аномального репера	Среднегодовая скорость относительных деформаций изгиба по Ю.О. Кузьмину	Среднегодовая скорость относительных деформаций изгиба в соответствии с нормативными документами	Среднегодовая скорость относительных деформаций наклона в соответствии с нормативными документами	Уровень относительных деформаций	
Зона Ромашкинского полигона						
1-1	5336	1,3 · 10 ⁻⁵ /год (1)	-	2,6 · 10 ⁻⁵ /год (1)	Условно допустимый	
7-7	2612	-	-	1,42 · 10 ⁻⁵ /год (1)		
2-2	2626	-	-	1,47 · 10 ⁻⁵ /год (1)		
Прикамская зона						
4257-60	7548	2,1 · 10 ⁻⁵ /год (6)	1,07 · 10 ⁻⁵ /год (1)	1,92 · 10 ⁻⁵ /год (6)		
4257-60	1280	1,9 · 10 ⁻⁵ /год (6)	-	2,63 · 10 ⁻⁵ /год (7)		
4257-61	1501	1,8 · 10 ⁻⁵ /год (6)	-	2,27 · 10 ⁻⁵ /год (9)		
1526-26	1549	3,6 · 10 ⁻⁵ /год (2)	-	-		
49а-39	45	1,04 · 10 ⁻⁵ /год (1)	-	1,36 · 10 ⁻⁵ /год (2)		
Альметьевский локальный полигон						
8759-3131	0223	3,3 · 10 ⁻⁵ /год (7)	1,17 · 10 ⁻⁵ /год (1)	1,63 · 10 ⁻⁵ /год (6)		
1347-3604	122	1,1 · 10 ⁻⁵ /год (1)	-	1,7 · 10 ⁻⁵ /год (2)		
8759-3825	1502	1,8 · 10 ⁻⁵ /год (1)	-	2,77 · 10 ⁻⁵ /год (1)		
8759-3131	2862	3,96 · 10 ⁻⁵ /год (7)	-	-		
Азнакаевский локальный полигон						
1794-1794	1794	3,5 · 10 ⁻⁵ /год (4)	-	-		
7712-0035	1794	3,7 · 10 ⁻⁵ /год (4)	-	-		
7712-0035	668	1,4 · 10 ⁻⁵ /год (2)	-	-		
7712-0035	9916	1,75 · 10 ⁻⁵ /год (2)	-	-		

Примечание

Число в скобках слева от значений среднегодовой скорости относительных деформаций указывает, сколько раз аномалия была зафиксирована на данном репере. Значения скоростей относительных деформаций являются максимальными из всех обнаруженных на данном репере.

«Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83» даны определения таких понятий, как осадки, просадки, подъёмы и оседания, которые обусловлены совершенно различными экзогенными, техногенными и прочими причинами, но по форме проявления вертикальных смещений земной поверхности все эти типы деформационного процесса сводятся к изгибу (положительному или отрицательному).

Согласно классификации элементарных типов деформаций СД-аномалии и обнаруженные систематические просадки представляют собой локальные изгибы земной поверхности в окрестности разломной зоны.

Для того чтобы оценить геодинамическую опасность объектов, расположенных в разломной зоне, необходимо сравнить относительные деформации изгиба с допустимыми и предельными величинами, регламентированными в нормативных документах. В РД 54-1-96 «Инструкция по охране окружающей среды ...» (РД 54-1-96 ..., 1992) уровни величин деформации представлены в следующей классификации:

- допустимый – величина относительного деформирования геологической среды не превышает 5 · 10⁻⁶, т.е. линейные размеры участка геологической среды длиной в 1 км изменяются во времени (в среднем за 1 год) не более чем на 5 мм;

- условно допустимый – величина относительного деформирования геологической среды не превышает 10⁻⁵, т.е. линейные размеры участка геологической среды длиной в 1 км изменяются во времени (в среднем за 1 год) не более чем на 10 мм;

- аномальный – величина относительного деформирования геологической среды превышает 5 · 10⁻⁵, т.е. линейные размеры участка геологической среды длиной в 1 км изменяются во времени (в среднем за 1 год) более чем на 50 мм.

Поскольку временные интервалы между всеми циклами нивелирных измерений известны, для реперов с систематическими просадками были рассчитаны скорости деформационных процессов. Скорости деформационных процессов в данном случае являются величинами относительного деформирования геологической среды за 1 год.

Сравнение рассчитанных скоростей деформаций с нормативными значениями показало, что из 84 мест систематических просадок только 17 относятся к местоположениям с уровнем, превышающим условно допустимый уровень, и нет ни одного – с аномально опасным уровнем деформации.

В **таблице 1** перечислены пикеты (с номерами профилей), которые являются центральными точками просадок. Для них указаны максимальные величины среднегодовых скоростей

Таблица 2.
Сведения о местоположении аномалий типа γ .

Наименование профилей	№№ аномальных реперов	Среднегодовая скорость относительных деформаций	Уровень относительной деформации	
Зона Ромашкинского полигона				
1-1	9313-9865-9492	$8 \cdot 10^{-5}$ /год	Опасный	
	3725-3961-9387	$5 \cdot 10^{-5}$ /год		
8-8	4026-7901-1642-2600	$8 \cdot 10^{-5}$ /год		
9-9	3651-8768-9101-2995	$5,3 \cdot 10^{-5}$ /год		
Север – Юг	6496-2981-3492-3045	$6 \cdot 10^{-5}$ /год		
Запад – Восток	2862 – 9237- 138- 3320	$5 \cdot 10^{-5}$ /год		
Альметьевский локальный полигон				
8759-3807	4042-1546-4646	$6 \cdot 10^{-5}$ /год	Условно допустимый	
Региональные профили				
7-7	5840-410-8884-5666	$4 \cdot 10^{-5}$ /год		
8-8	5315-5308-1680	$3 \cdot 10^{-5}$ /год		
9-9	3633-3919-8818	$2,4 \cdot 10^{-5}$ /год		
Азнакаевский локальный полигон				
8759-3131	135-1237-102-1529	$2,2 \cdot 10^{-5}$ /год		
8759-3825	3582-3465-3825	$2,4 \cdot 10^{-5}$ /год		
1347-3604	5029-122-4715	$3 \cdot 10^{-5}$ /год		
Азнакаевский локальный полигон				
7712-0035	1794-1247-9301-4520	$3 \cdot 10^{-5}$ /год		

относительных деформаций. В среднем по всему массиву данных скорости относительных деформаций изгиба, рассчитанные по формуле Ю.О. Кузьмина в 2 раза больше, чем скорости относительных деформаций изгиба, рассчитанные по формуле нормативного документа, что полностью соответствуют теоретическим выкладкам Ю.О. Кузьмина (Кузьмин Ю.О., 2019).

Логично было ожидать, что места суперинтенсивных деформаций, выявленные по методике Ю.О. Кузьмина, должны совпадать с участками систематических просадок с максимальными значениями скоростей относительных деформаций. Но по факту только 7 из 14 мест СД-аномалий попадают на места систематических посадок. Причём максимальные величины относительных деформаций, рассчитанные при массовой обработке нивелирных данных, не совпадают с оценками, выполненными Ю.О. Кузьминым ранее (таб. 2). Причинами настоящих несоответствий являются:

- разный подход к оценке ширины локальной деформации при ручной экспертной оценке и при массовой машинной обработке. При ручной обработке оценка величин L1, L2 (рис.4) может быть более точной;

- идентификация аномалий типа γ была выполнена, в основном, в 1992- 2003 годы. Первичные источники информации частично утеряны,

и часть данных о вертикальных смещениях не попали в массовую обработку сейчас. В первую очередь это относится к региональным профилям 1-1, 9-9, а также профилям Альметьевского локального полигона, в пределах которого часть первичных стенных реперов была утеряна при реконструкции зданий;

- проблемы с определением координат центров γ - аномалий, поскольку некоторое число реперов было утрачено в период эксплуатации ГДП, они заменялись новыми, зачастую с новыми местоположениями и новыми номерами.

В **таблицу 2** сведена вся архивная информация о местоположениях аномалий типа γ , выявленных Ю.О. Кузьминым в разные годы. Местоположение аномалий удалось определить по материалам опубликованных статей и отчётов с разной степенью точности.

На **рисунке 7** представлены карты распределения мест систематических посадок, для которых уровень относительного деформирования геологической среды многократно (от 2-х до 9-и раз) превышал условно допустимый уровень за время эксплуатации ГДП. На карты также вынесены все места обнаружения аномалий типа γ .

Обобщая архивные данные, можно утверждать, что из 84 потенциально опасных зон деформации 7 могут быть оценены как опасные

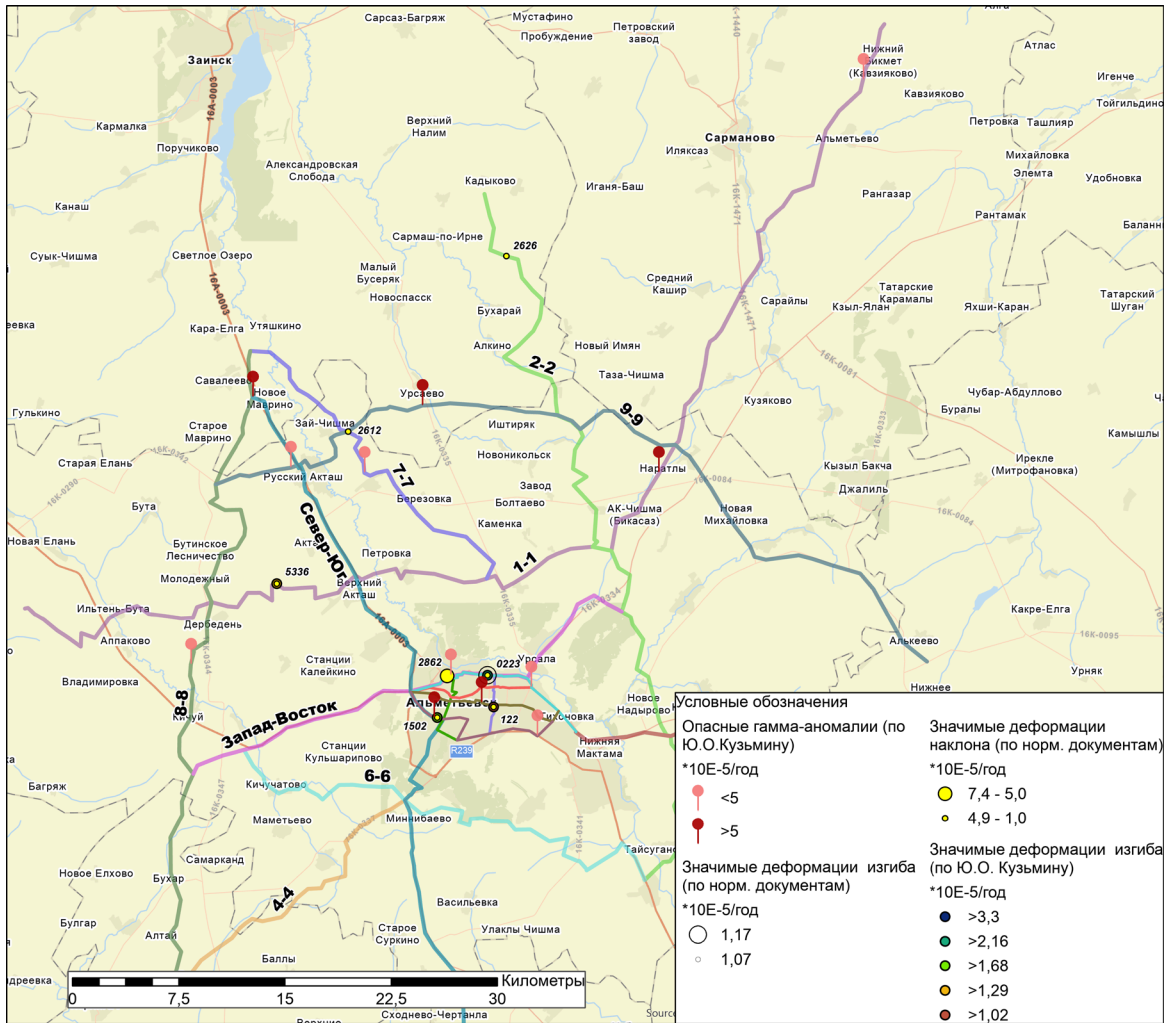


Рис. 7. Распределения мест систематических посадок, для которых уровень относительного деформирования геологической среды является опасным или условно допустимым: а) зона Ромашкинского полигона; б) Прикамская зона.



(табл. 2). Ещё 15 могут быть отнесены к местам с условно допустимым уровнем деформации. Поскольку величины превышений между реперами в аномальных участках превосходили погрешность наблюдения в 2-3 раза, определе-

ние уровня относительного деформирования геологической среды является надёжным. Естественно, что указанные зоны деформирования должны быть учтены при модернизации сети нивелирования на ГДП ПАО «ТАТНЕФТЬ». ❶

Литература

1. Современная геодинамика и сейсмичность юго-востока Татарстана [Текст]: [монография] / [Р. С. Хасимов и др.; науч. ред.: Р. С. Хасимов, Ю. О. Кузьмин]; Открытое АО «Татнефть». – Казань: Академия наук РТ: ФЭН, 2012. – 238 с.
2. Кузьмин Ю. О. Идентификация результатов повторных геодезических наблюдений при оценке геодинамической опасности объектов недропользования Вестник СГУГиТ, Том 23, № 4, 2018, с.46-66
3. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика и оценка геодинамического риска при недропользовании. М.: Агентство экономических новостей. 1999. 220 с.
4. <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/2.6/tool-reference/space-time-pattern-mining/an-overview-of-the-space-time-pattern-mining-toolbox.htm>
5. СП 22. 13330.2011 «Основания зданий и сооружений» (Актуализированная редакция СНиП 2.02.01–83). Электронный текст документа подготовлен АО «Кодекс» и сверен по: официальное издание М.: Минрегион России, 2011. Электронный документ <http://docs.cntd.ru/document/1200084710>
6. Рекомендации по учёту и предупреждению деформаций и сил морозного пучения грунтов. – М.: Стройиздат. – 1986. – 101 с.
7. Zlatopolsky A.A. Program LESSA (Lineament Extraction and Stripe Statistical Analysis) automated linear image features analysis – experimental results, Computers & Geoscience, 1992, vol. 18, N 9, pp. 1121-1126
8. Философов В. П. Основы морфометрического метода поисков тектонических структур. Под ред. проф. Вострякова А. В. Изд-во Саратовского ун-та. 1975. 232.
9. Чернова И.Ю., Нугманов И.И., Даутов А.Н. Применение аналитических функций ГИС для усовершенствования и развития структурно-морфологических методов изучения неотектоники. Геоинформатика/Geoinformatica. № 4. 2010. 9-23.
10. Чернова И.Ю., Нугманов И.И., Лулева О.В., Даутов А.Н. О связи неотектоники и современной геодинамики // Ученые записки Казанского университета, серия Естественные науки. -2011. - т.153. -книга 3.- С.1-15.
11. Нургалиев Д.К., Чернова И.Ю., Нугманов И.И. Современная геодинамика и свойства нефтей месторождений Республики Татарстан (статья) Георесурсы, 6(42), 2011, С.2 -5. 4 с.
12. Кузьмин Ю. О. Современная геодинамика: от движений земной коры до мониторинга ответственных объектов. Физика Земли, 2019, № 1, с. 78-103
13. РД 54-1-96 «Инструкция по охране окружающей среды ...» Минтопэнерго РФ, Минприроды РФ, 25.01.1996, «Критерии оценки экологической обстановки для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия» Роскомэкология, 1992

UDC 551.24

I.Yu. Chernova, Associate Professor of the Department of Geophysics and Geoinformation Technologies, inna.chernova@kpfu.ru
D.K. Nourgaliev, Vice-Rector for Oil and Gas Technologies, Environmental Management and Earth Sciences, danis.nourgaliev@kpfu.ru
O.V. Luneva, Assistant of the Department of Geophysics and Geoinformation Technologies, olunjova@yandex.ru
R.V. Sahautdinov, Head of Topographic and Geodetic, Property, Surveying Works (UTGIMR), Tatneft-Dobycha, PJSC «Tatneft» SahautdinovRV@tatneft.ru
D.M. Gilaeв, Head of the Department of Topographic-Geodesic and Surveying Works – Deputy Head of UTGIMR JV «Tatneft-Dobycha» PJSC «Tatneft», gilaevdm@tatneft.ru
M.H. Rahmatullin, Lead Engineer of the Mine Surveyor and Geodetic Group of the Mine Surveyor and Land Management Center RahmatullinMH@asu.tatneft.ru

RELEVELING DATA IN SPATIOTEMPORAL ANALYSIS OF VERTICAL MOVEMENTS OF THE EARTH'S SURFACE WITHIN A GEODYNAMIC TEST SITE BELONGING TO THE PJSC TATNEFT

Abstract: The geodynamic test area covers the southeastern part of the Republic of Tatarstan (Russia) which is a region with intensive oil production and recurring seismic events. The test area also comprises the largest oilfields – Romashkinskoye and Novo-Elkhovskoye – and during the past 28 years, releveling was regularly carried out within this area. Traditional methods for processing releveling data imply calculating and analyzing the amplitudes of vertical movements over one or several years along a certain individual profile. In this paper, a new method for analyzing long-term releveling data sets is proposed which makes use of all measurements over the entire observation period along all profiles. The new method utilizes spatiotemporal analysis tools integrated into ArcGIS Pro GIS software. This study was limited to local subsidence events, since no extensive subsidence (which could have been caused by intensive oil production) was observed during the operation of the test area. Mass data processing revealed 84 ground control points in which subsidence with an amplitude of at least 5 mm per year was observed constantly. Comparison of the systematic subsidence map and the modern geodynamics map shows that the overwhelming majority of subsidence points are located within areas of tectonic subsidence. Out of 84 potentially dangerous deformation zones, 7 were rated as dangerous. Deformation assessment was considered reliable since the amplitudes of vertical displacements in the anomalous areas exceeded the observation accuracy by 2-3 times. Thus, the systematic subsidence zones (including local dangerous deformation zones) found in the testing site are of natural cause originating from modern geodynamic environment within the study area.

Keywords: geodynamic test site, releveling, neotectonics, vertical movements, fault, relative bending deformation, deformation rate.