

УДК 624. 131

**В. И. Шмуратко**, доктор геол. наук, профессор**Е. А. Черкез**, доктор геол.-мин. наук, профессор**Т. В. Козлова**, канд. геол.-мин. наук, доцент

кафедра инженерной геологии и гидрогеологии

Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова

ул. Дворянская, 2, Одесса, 65082, Украина

**В. Г. Тюремина**, канд. геол.-мин. наук, главный гидрогеолог**А. И. Караван**, гидрогеолог I категории**П. Н. Тюремин**, гидрогеолог I категории

ГРГП «Причерноморгеология»

ул. 25-й Чапаевской дивизии, 1, Одесса, 65070, Украина,,

**В. М. Митинский**, академик АСУ, канд. техн. наук, доцент**С. В. Бараник**, магистр

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

ул. Дидрихсона, 4, Одесса, 65029, Украина

## О ПРИЧИНЕ ПРОДОЛЖАЮЩИХСЯ ДЕФОРМАЦИЙ ЗДАНИЯ ОДЕССКОГО ТЕАТРА ОПЕРЫ И БАЛЕТА

Современное здание Одесского театра оперы и балета построено в 1887 г., и уже через 10-15 лет после этого возникли первые проблемы, связанные с его деформацией. Две предпринятые попытки защитить здание – силикатизация лессовых грунтов (1957 г.) и усиление основания фундаментов буроинъекционными сваями (2005 г.) – оказались неудачными: всякий раз через несколько лет после реализации проектов деформации вновь возобновлялись. В предлагаемой работе обосновывается модель микроблоковой космозависимой геодинамики в качестве теоретической основы для разработки стратегии защиты зданий и сооружений на территории Одессы от деформаций, в том числе и здания театра оперы и балета.

**Ключевые слова:** инженерная геодинамика, геологическая среда, Одесса, деформации зданий и сооружений.

### ВВЕДЕНИЕ

Одесский театр оперы и балета расположен в исторической части города, в непосредственной близости от Приморского бульвара. Современное здание театра построено по проекту венских архитекторов Германа Гельмера и Фердинанда Фельнера в 1887 году, т.е. через 14 лет после пожара 1873 года, полностью уничтожившего прежнее деревянное здание.

Первые проблемы, связанные с деформацией нового здания, появились уже через 10-15 лет после постройки. В 1900 г. зафиксирована осадка восточной части здания на 17,7 см которая привела к появлению трещин в стенах, арках, полах и потолках. Сразу же были выполнены укрепительные работы, с частичным уширением фундаментов в юго-восточной части здания и устройством контрфорсной стены. В 1902 году керамические трубы заменили металлическими, заключенными в тоннели. Однако и после этого образование трещин в стенах не прекратилось. В 1918–1919 гг. произошла осадка пилона порталной стены сцены. В 1925 году в

здании театра произошел пожар, при котором пострадала сценическая часть, и выгорел участок зрительного зала. После пожара здание было восстановлено.

В дальнейшем на несущих конструкциях сцены было установлено тяжелое подъемно-опускное оборудования весом 42 тонны, на которое эти конструкции не были рассчитаны. В результате в стенах образовалось большое количество трещин, приведших отдельные участки сцены и ее порталную стену в аварийное состояние.

В 1954-1956 гг. предпринята первая масштабная попытка устранить причины деформаций: выполнен комплекс работ по силикатизации лёссовых грунтов под фундаментом здания. Впоследствии выяснилось, однако, что в результате неравномерного закрепления грунтового массива как раз под подошвой фундаментов в большинстве случаев грунт оказался незакрепленным. Именно поэтому, согласно мнению исполнителей, желаемый эффект достигнут не был, а осадки здания продолжались и после выполнения силикатизации.

Через 40 лет после силикатизации ситуация приобрела катастрофические масштабы. В 1996 г. был организован конкурс на лучшее техническое решение по защите здания театра. На конкурс было представлено 15 проектов, два из которых оказались в центре внимания. Один из них предусматривал заведение под здание своеобразного жёсткого плитного фундамента в виде коробки (т.н. вариант «жёсткой плиты»). Идея второго состояла в том, чтобы укрепить фундамент здания, поставив его на сваи, которые, пройдя толщу лёссовых грунтов, были бы заделаны в слое понтического известняка (т.н. «свайный» вариант). В конечном счёте, конкурс выиграл вариант «свайной» защиты здания, который был полностью реализован к 2005 году.

Традиционно считается, что главной причиной деформаций здания театра являются неравномерные просадочные деформации лессовых грунтов основания. Однако, уже в 1990-х годах сотрудники ОНУ им. И.И. Мечникова показали [1-5, 8, 11], что в региональных инженерно-геологических приложениях важно учитывать своеобразие геологического строения территории Одессы и Одесского региона. Для него характерно, во-первых, микроблоковое строение самого верхнего, меотис-четвертичного, комплекса пород и, во-вторых, высокочастотные вертикальные и горизонтальные дифференцированные движения микроблоков. Первое способствует высокой степени пространственной неоднородности геосреды, второе – быстрой квазипериодической изменчивости её свойств во времени. Эти особенности геосреды города делают ее чрезвычайно подвижной на временных масштабах, измеряемых месяцами и сутками, и на пространственных масштабах, измеряемых первыми десятками метров. Если, с учетом сказанного, оценить предлагавшиеся варианты защиты – «свайный» и «жёсткой плиты», – то очевидно, что второй из них является более универсальным. В самом деле, вариант «жёсткой плиты» нацелен на устранение любых дифференцированных усилий, исходящих снизу, тогда как «свайный» вариант предусматривает устранение только лишь усилий, связанных с неравномерными деформациями лессовых грунтов, никак не защищая здание от возможных дифференцированных движений микроблоков. Более того, он, – вольно или невольно, – способствует усилению деформаций, обусловленных микроблоковыми движениями, т.к. в случае его реализации здание театра прочно «связывается» сваями с движущимися геоблоками. Именно поэтому сотрудники ОНУ уже давно, в публикациях [2, 3] и в ходе дискуссий отстаивали проекты, нацеленные на ликвидацию причин, связанных с микроблоковой геодинамикой геосреды, а не только со свойствами лессового основания.

**Цель** данной работы состоит в обосновании геодинамического фактора как главной причины деформаций здания Одесского театра оперы и балета. **Объект исследований** – геологическая среда в зоне ее взаимодействия со зданием театра, **предмет исследований** – причины деформаций здания театра.

## 1. КОНСТРУКЦИЯ ЗДАНИЯ ТЕАТРА И ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ТЕРРИТОРИИ

Современное здание Одесского театра оперы и балета имеет семь ярусов, считая и подвальный этаж; его высота – 30 м, периметр наружных стен – 300 м. Оно состоит из двух частей (зрительской и сценической), разделенных порталной стеной с противопожарной защитой. Сценическая часть включает в себя коробку сцены и обстройку, состоящую из двух подвалов и пяти этажей. Зрительская часть театра имеет 7 ярусов и представляет собой объем цилиндрической формы, перекрытый полусферическим куполом и ограниченный несколькими полукольцевыми стенами. При строительстве не было предусмотрено создание деформационных швов, разделяющих разновысотные объемы между собой, а также по длине и ширине здания в целом. Стены здания возведены из известняка-ракушечника, а в наиболее напряженных и ответственных местах, а также там, где требовалось создать пластику фасадов – из кирпича. Перекрытие над подвалом представляет собой кирпичные своды по металлическим балкам. Вышележащие перекрытия выполнены в виде металлического настила по балкам с засыпкой отходами распиловки известняка и заливкой раствором; толщина засыпки различна – от 3 до 50 см. Покрытие зрительской части и сцены опирается на металлические фермы сложной конфигурации. Кровля выполнена из кровельного металла: над зрительской частью – из листового цинка, над сценой и обстройкой зрительской части – из оцинкованного стального листа. Обстройка сценической части покрыта монолитной железобетонной ребристой плитой. Фундаменты под всем зданием ленточные, выполнены из пильного и перекристаллизованного известняка различной ширины – от 0,6 до 2,4 м. Суммарная площадь фундаментов составляет примерно 1940 м<sup>2</sup>.

С геологической точки зрения, здание театра расположено в пределах краевой части лёссового плато, в строении верхней части которого принимают участие неоген-четвертичные отложения. В основании интересующего нас разреза залегают меотические плотные глины с многочисленными зеркалами скольжения (абсолютная отметка поверхности в пределах здания театра – +13,3...+15,6 м); залегание глин носит слабоволнистый куполовидный характер. В Одесском регионе меотические глины являются основным деформируемым горизонтом, предопределяющим особенности механизма и динамику оползневых процессов. На размытой поверхности меотиса залегают отложения понтического регионаруса – известняки с маломощными линзами глин. В пределах здания театра поверхность понтических известняков залегает моноклиально с падением в юго-западном направлении на абсолютных отметках от +24,1 до +28,6 м. В этом же направлении изменяется и их мощность – от 10,5 до 14,5 м. Известняки разбиты системой трещин шириной до 0,5 м, обычно параллельных простиранию береговой линии. Плиоценовые отложения имеют общее падение в сторону моря. Они представлены суглинками и красно-бурыми плотными глинами; их мощность в пределах здания театра изменяется от 1 до 3 м. Абсолютные отметки кровли красно-бурых глин под зданием театра – +28...+30 м. Перекрывающие их красно-бурые суглинки имеют мощность 0,5–3,5 м; абсо-

лютные отметки их поверхности – +29,1...+33,0 м. Плейстоценовые отложения в пределах здания театра представлены элювиальными, эолово-делювиальными лёссовидными суглинками водораздельного плато и делювиальными, элювиально-делювиальными суглинками склона водораздела. Их поверхность залегает на абсолютных отметках +30...+42 м; мощность достигает 23 м.

Ленточный фундамент здания театра располагается внутри толщи плейстоценовых лёссовидных суглинков на разных высотных уровнях. В зрительской (т.е. южной) части здания фундамент залегает наиболее глубоко, и здесь он отстоит от поверхности красно-бурых глин примерно на 8-10 метров, а от поверхности понтических известняков – на 10-13 м.

## **2. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИЛИКАТИЗАЦИИ**

### **2.1. Данные и методы обработки**

Первый цикл геодезических наблюдений для оценки эффективности силикатизации грунтов основания начался в 1956 году, еще в ходе силикатизации, и продолжался до конца 1998 года, что составило 40-летний временной ряд. База данных 1957-1998 гг. геодезических наблюдений, анализируемая в данной работе, включает 70 реперов и марок (рис. 1).

Методика обработки геодезических данных состояла в следующем. Вначале для всех реперов и марок вычислялась величина вертикального смещения (в мм) на временных интервалах, соответствующих периоду регулярных геодезических измерений. Первые два года после завершения силикатизации измерения выполнялись ежемесячно, затем, в 1960-х годах – через 2-4 месяца, в 1970-1980-х годах – 2 раза в год, в 1990-х годах – 3 раза в год, иногда чаще. Кроме того, в наблюдениях есть перерывы продолжительностью более года. Геодезические измерения не выполнялись в 1960-1962, 1967, 1970-1973, 1976-1981, 1985-1987, 1989-1990, 1994-1995 гг. В связи с такой неравномерностью геодезических наблюдений анализ деформаций здания выполнялся по вычисленным средним годовым значениям, а для тех лет, когда наблюдения не выполнялись, – значения вычислялись путем линейной интерполяции.

Для выявления планового рисунка и величины деформаций здания театра, а также изменений этих характеристик во времени нами построены три серии карт. Карты первой серии («карты ежемесячных деформаций») отражают среднюю за год скорость изменения высотного положения геодезических реперов и марок, выраженную в мм/мес. Очевидно, что, умножив эту скорость на 12, мы получим величину годового вертикального смещения в мм. На второй серии карт («карты накопленных деформаций»), которые получены последовательным сложением карт первой серии, показаны деформации, накопленные к каждому текущему году за время наблюдения. Третья серия карт («градиентные карты») построена для выявления участков и зон, для которых характерны наибольшие изменения величины ежегодных вертикальных деформаций при перемещении на единицу длины в латеральном направлении.

Карты этой серии строились по следующей методике. Для каждого года на основе карты ежемесячных деформаций вычислялась абсолютная величина первой производной с шагом 2 метра по четырём направлениям – северо-западному, меридиональному, северо-восточному и широтному. Затем эти четыре вспомога-

тельные карты складывались, и строилась суммарная карта абсолютных градиентов для данного года. Карты этой серии позволяют выявить те зоны, в пределах которых от точки к точке в латеральном направлении происходит наиболее «быстрое» изменение скорости вертикальных смещений реперов, т.е. зоны, потенциально наиболее опасные с точки зрения возможных деформаций здания.

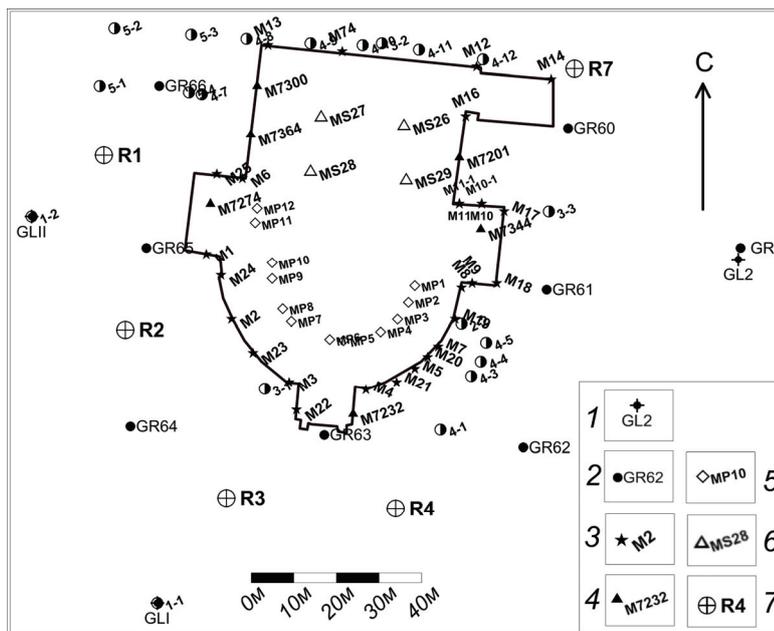


Рис. 1. Карта расположения геодезических реперов и марок, данные по которым анализируются в данной работе:  
1 – глубинные репера; 2, 7 – грунтовые репера; 3, 4 – марки фасада;  
5 – марки подвала; 6 – марки сцены.

## 2.2. Деформации здания театра после силикатизации

Характер изменения планового рисунка и величины деформаций здания театра от года к году лучше всего прослеживаются на серии карт ежемесячных деформаций. Для примера на рис. 2 показаны такие карты для 1969, 1983, 1988 и 1997 гг.

Основные закономерности, которые прослеживаются на картах этой серии, кратко сводятся к следующему.

1. Плановый рисунок изолиний деформаций здания театра не остаётся постоянным, а из года в год меняется. Преобладает два основных «мотива» – ортогональный и диагональный. В первом случае территория пятна здания разделяется на северную и южную половины с противоположным знаком деформации (в 1958, 1974 и 1983 годах северная часть здания поднимается, южная – опускается, в 1966, 1969, 1997 годах, наоборот, опускается северная часть, а поднимается южная). Время от времени ортогональный рисунок распределения деформаций «исчезает», и заметными становятся контуры, ограниченные северо-западными либо северо-восточными направлениями (1963, 1968, 1984, 1988 гг.). Особо отметим

своеобразие рисунка деформаций в 1983 году, когда отчетливо проявились две линейные зоны, в пределах которых скорость деформаций резко изменялась. Одна из зон имела северное направление и располагалась вдоль восточной стены здания, вторая – северо-западного направления – вдоль юго-западного крыла здания. При этом в пределах восточной стены происходили поднятия (более 3 мм за год), а вдоль юго-западной – опускания (более 7 мм за год). Межгодовые изменения рисунка вертикальных деформаций здания с преобладанием очевидных прямолинейных ортогональных и диагональных направлений плохо согласуется с моделью неравномерной просадочности лёссовых грунтов основания.

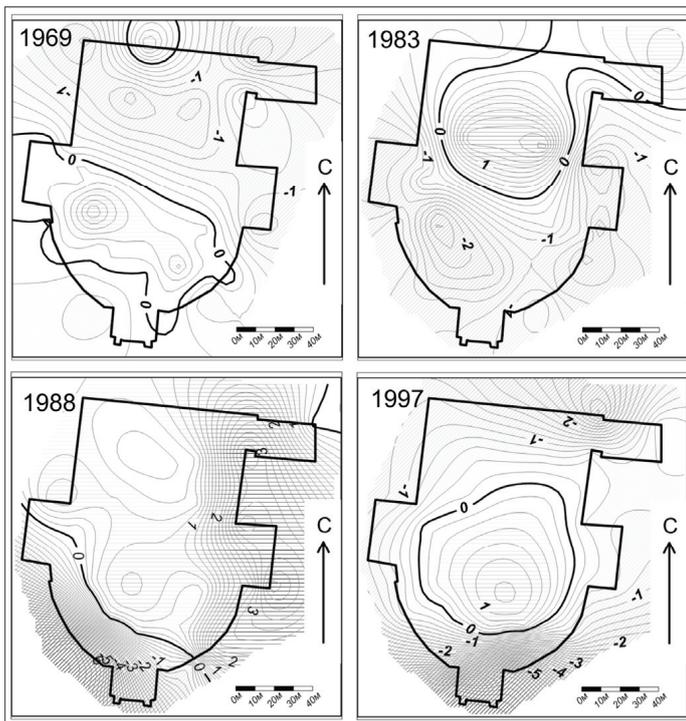


Рис. 2. Примеры карт ежемесячных деформаций в 1969, 1983, 1988 и 1997 гг. (средняя за год ежемесячная скорость вертикальных смещений реперов и марок).

2. От года к году изменяется не только плановый рисунок деформаций, но и величина площади положительных и отрицательных деформаций в пределах пятна здания, а также средние годовые значения положительных и отрицательных деформаций в пределах этих площадей. Межгодовые изменения названных параметров можно выразить количественно числом, показывающим относительную величину площади и среднее значение отрицательных деформаций здания театра в данном году. Назовем этот параметр «индексом деформаций» и обозначим символом  $I_d$ . Индекс  $I_d$ , график изменения которого показан на рис. 3, вычислялся по формуле  $I_d = (v_N S_N - v_P S_P) / 1000$ , где  $S_N$  и  $S_P$  – это величины площади, соответственно, отрицательных и положительных деформаций в пределах карты данного года, а

$V_N$  и  $V_P$  – величины средней в данном году отрицательной и положительной деформации.

Рис. 3 свидетельствует о существенных колебаниях режима деформаций здания, достаточно частой смене отрицательных деформаций положительными, ярко выраженном циклическом режиме деформаций (спектрально-гармонический анализ выявляет значимый период, равный 7,3 года), резком усилении отрицательных деформаций в 1990 году и резкой смене положительных деформаций, преобладавших в 1988 году, отрицательными деформациями тремя годами позже.

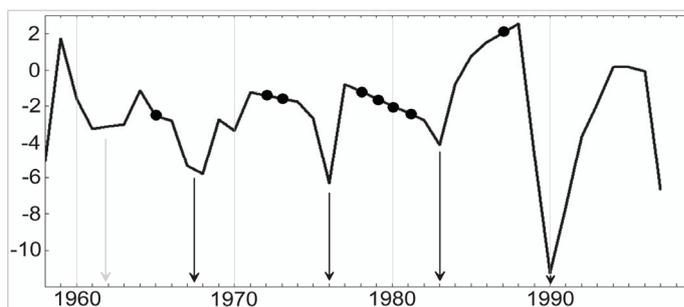


Рис. 3. Изменение индекса  $I_d$  деформаций здания театра за период с 1958 по 1997 гг. Чем больше отрицательное значение индекса, тем больше площадь и величина отрицательных деформаций в пределах пятна здания по сравнению с площадью и величиной положительных деформаций. Точками на графике отмечены те годы, когда геодезические наблюдения не выполнялись; значения индекса для этих лет получены линейной интерполяцией.

3. Обратим внимание ещё на одно важное обстоятельство. После резкой активизации отрицательных смещений в 1990-1991 гг. главным «мотивом» планового рисунка деформаций становится его конформность по отношению к контурам здания театра и фундамента. На картах 1991 и 1997 годов особенно отчётливо видно, что внутренняя часть здания поднимается, а вдоль контуров стен и фундамента происходят опускания. Возможные причины такого характера деформаций здания, проявившегося особенно отчётливо через 35-40 лет после силикатизации лёссовых грунтов, обсуждаются ниже.

На рис. 4 показаны примеры второй серии карт (накопленных деформаций) для тех же лет, что и на рис. 2, т.е. через 11, 25, 30 и 39 лет после силикатизации.

Визуальный анализ всех карт этой серии свидетельствует о том, что в северо-западной части здания театра в первые же годы после силикатизации возникает область положительных вертикальных деформаций, которая затем постепенно смещается в центральную часть здания, включающую часть фойе, зрительный зал и сценическую коробку. Через 5-6 лет начинает погружаться восточная, так называемая «английская» сторона здания, обращённая в сторону бывшего Английского клуба, а также часть юго-восточного крыла. Со временем в погружение вовлекается и западная, «французская» сторона, обращённая в сторону Пале-Рояля, а на пространстве центральной части здания продолжают происходить положительные вертикальные движения, область которых постепенно приобретает овальную в плане форму. С 1991-го года рисунок накопленных деформаций практически не меняется, а форма его остаётся конформной по отношению к контурам здания театра.

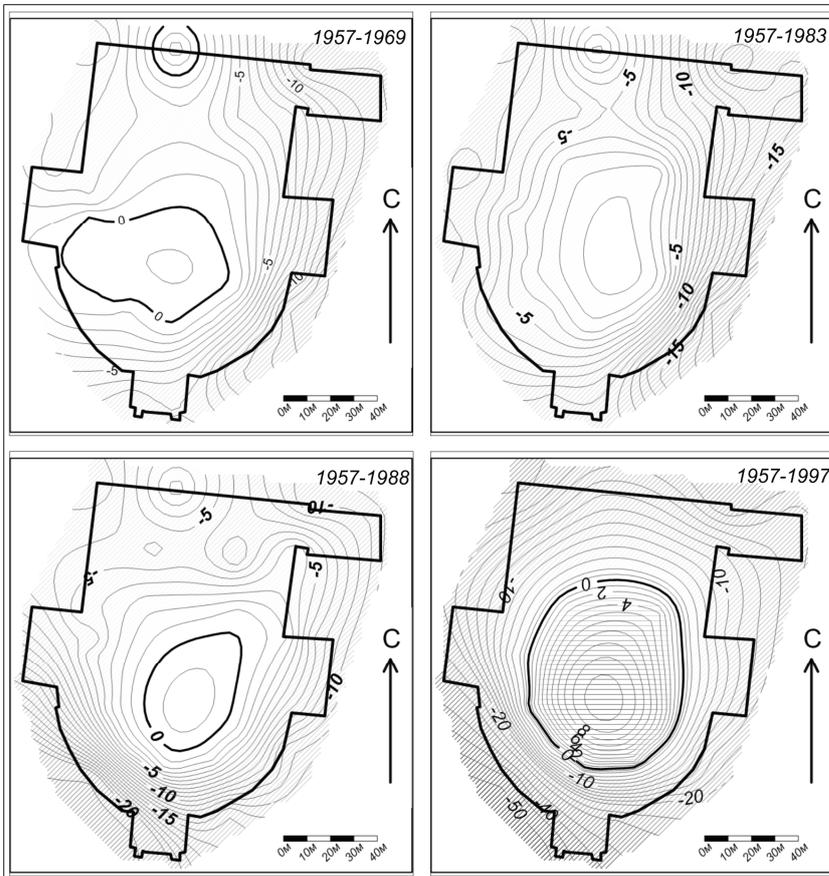


Рис. 4. Карты накопленных деформаций здания Одесского театра оперы и балета после укрепления лёссовых грунтов основания методом силикатизации.

Эта серия карт позволяет не только визуально, но и количественно оценить режим накопления деформаций. Ниже приводится два варианта такого количественного анализа.

**Режим накопления деформаций в пределах различных фрагментов пятна здания.** Территория пятна здания театра разделена нами на четыре участка, показанных слева на рис. 5. Для каждого из этих участков вычислялся временной ряд средней для участка накопленной деформации (графики на рис. 5, справа). Из графиков следует, что различные части здания в течение 40-летнего периода после силикатизации ведут себя по-разному. Наиболее «простой» режим характерен для французской стороны здания, где наблюдаются практически равномерное накопление отрицательных деформаций с небольшим ускорением процесса на интервале 1988–1993 гг. Английская сторона здания, в отличие от трёх остальных частей, начинает погружаться ещё в процессе силикатизации. В динамике деформаций этой части здания можно выделить пять этапов: 1958-1970 гг. (быстрое накопление отрицательных деформаций), 1970-1984 гг. (замедление опусканий), 1984-1988 гг.

(резкое замедление опусканий), 1989-1991 гг. (ускорение опусканий), 1991-1997 гг. (стабильный режим).

Особое внимание следует обратить на режим накопления деформаций в пределах центральной части здания (участок 1 – зрительный зал). Начиная с 1988 года, здесь накапливаются исключительно положительные деформации, как бы «компенсирующие» отрицательные деформации по периметру здания. На наш взгляд, этот факт весьма важен для обоснования причин деформаций здания и выбора стратегии его защиты.

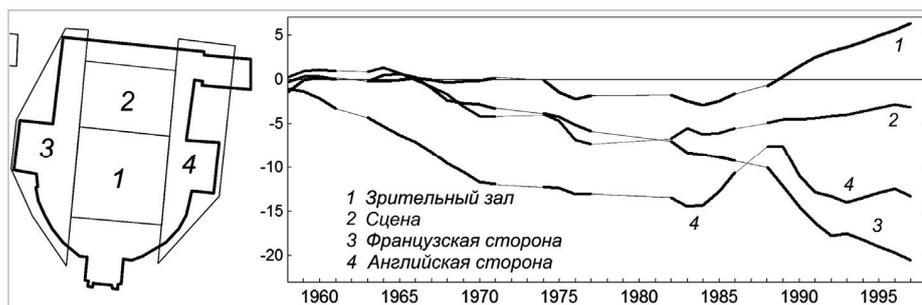


Рис. 5. Межгодовой режим накопления деформаций в пределах различных функциональных частей здания театра после выполнения силикатизации лёссовых грунтов основания в 1957 году.

**Режим накопления деформаций по отдельным профилям.** На рис. 6 показаны графики накопленных деформаций по семи профилям, пересекающим пятно здания по диагональным и ортогональным направлениям. Рис. 6 в особых комментариях не нуждается, т.к. наглядно подтверждает выводы, сформулированные выше.

Карты третьей серии – «градиентные карты» – позволяют выделить участки и зоны, в пределах которых разность величин деформаций в двух соседних точках, отстоящих друг от друга на 2 метра, максимальна. Зоны максимальных градиентов можно интерпретировать как наиболее вероятные места возможных деформаций здания. На рис. 7 для примера показаны две карты этой серии для 1976 и 1986 гг.

Визуальный анализ градиентных карт позволяет сделать два вывода. Во-первых, на этих картах часто прослеживаются прямолинейные границы северо-западного и северо-восточного простирания, которые разделяют области различной степени пространственной неоднородности вертикальных деформаций. Реже, но всё же достаточно уверенно прослеживаются линии субширотного и субмеридионального простирания. Во-вторых, «очаги» и «зоны» максимального градиента вертикальных деформаций чаще всего приурочены к контуру, повторяющему плановую конфигурацию фундамента здания театра.

Плановый рисунок изолиний на градиентных картах показывает пространственную неоднородность территории с точки зрения её вертикальных деформаций. Важной информацией, которую несут эти карты, является средняя для данного года величина абсолютного градиента для территории в целом. Этот параметр, далее именуемый «индексом градиента деформаций» ( $J_G$ ), количественно характеризует степень пространственной «неоднородности» вертикальных деформаций для территории в целом в данном году. Чем больше  $J_G$ , тем более неоднородными и дифференцированными являются вертикальные деформации.

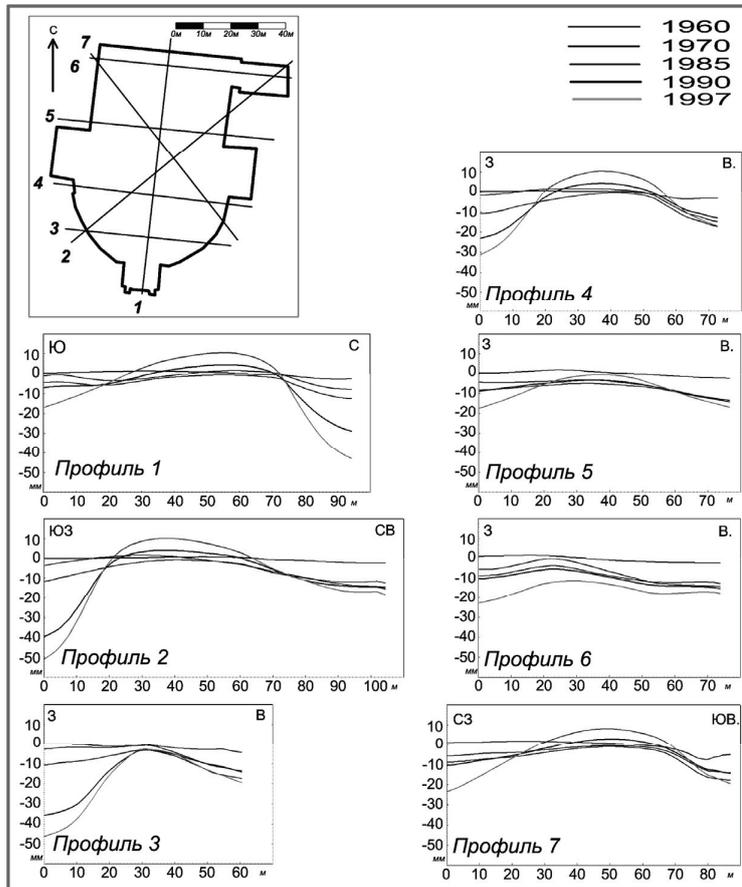


Рис. 6. Режим накопления деформаций после силикатизации лёссовых грунтов основания.

Вычисления показывают, что от года к году  $J_G$  существенно изменяется (рис. 8): годы пространственной «однородности» вертикальных деформаций, когда образование трещин в здании театра менее вероятно, сменяются годами значительной дифференциации деформаций, существенно увеличивающей вероятность образования трещин.

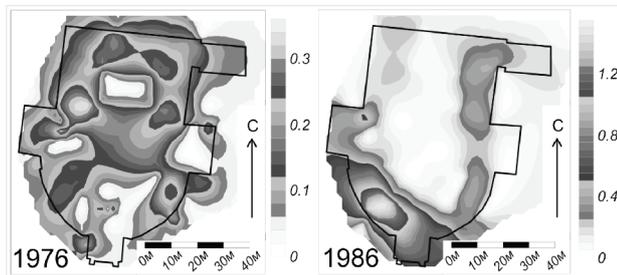


Рис. 7. Примеры карт абсолютных градиентов ежегодных деформаций здания театра в 1976 и 1986 гг.

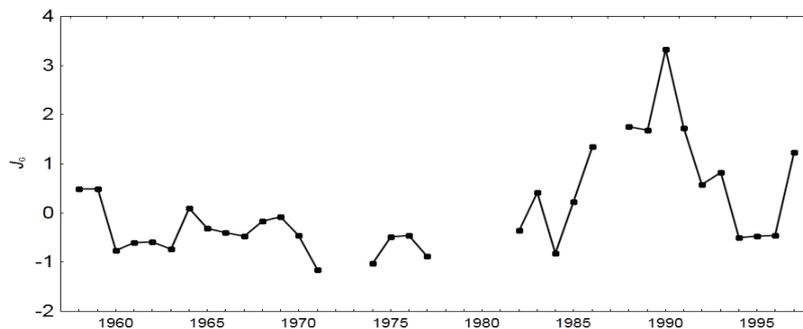


Рис. 8. Изменение индекса градиента деформаций  $J_G$  (в условных единицах), за период с 1958 по 1997 гг.

Рис. 8 свидетельствует о том, что на интервале 1960–1980-х годов, режим деформаций в пределах пятна здания театра был «однородным» по площади. На его фоне периодически, через 4-5-7 лет, происходило лишь незначительное увеличение дифференцированности. Однако в конце 1980-х и в начале 1990-х годов градиенты вертикальных деформаций существенно увеличились. Это, по-видимому, и стало причиной массового образования трещин и привело к тому, что к середине 1990-х годов проблема сохранности здания театра вновь привлекла к себе внимание общественности, после чего был реализован «свайный» проект.

### 3. ТРЕЩИННО-МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСИЛЕНИЯ ОСНОВАНИЯ СВАЯМИ

Усиление основания фундамента буроинъекционными сваями было полностью реализовано в 2005 году [7]. Геодезические наблюдения, по непонятным причинам, выполнялись только лишь в ходе работ, с 2000 по 2004 гг., причём весьма нерегулярно. Позднее геодезический мониторинг эффективности проекта не выполнялся. Поэтому фактических данных, на основе которых можно было бы обоснованно судить о пространственно-временных характеристиках деформаций в течение восьми лет после выполнения усиления фундамента сваями, – таких данных нет.

Доказательства о неэффективности концептуально принятых решений и реализованных в процессе выполнения реконструкций дает трещинно-морфометрическое обследование здания театра, выполненное в феврале 2013 года. По результатам обследования составлена карта трещин и вычислены коэффициенты удельной плотности трещин на различных участках стен по периметру здания (рис. 9). Анализ характера их распространения позволяет заключить, что практически все фасады здания разбиты трещинами, возникшими после 2005 года. Ширина трещин, наблюдавшихся в ходе обследования, колеблется от 1 мм и менее до 2,0 см; наиболее широкие из них зафиксированы в пределах северного фасада здания. Большинство трещин – вертикальные, реже встречаются субвертикальные и горизонтальные. Часто трещины расположены по углам проемов окон, и некоторые из них, – например, на стенах французской (западной) стороны здания, – достигают уровней 3-го и 4-го этажа. Максимальная удельная плотность трещин (1,2 – на английской стороне, 1,0 – на французской стороне) наблюдается в месте расположения пор-

тальной стены с противопожарной защитой, т.е. на стыке двух конструктивных частей здания – сценической и зрительской. Визуальный осмотр строительных конструкций внутри здания также выявил трещины шириной до 0,5-1,5 мм. Они зафиксированы на наружных и внутренних стенах, а также на перегородках, как зрительской, так и в сценической частях здания.

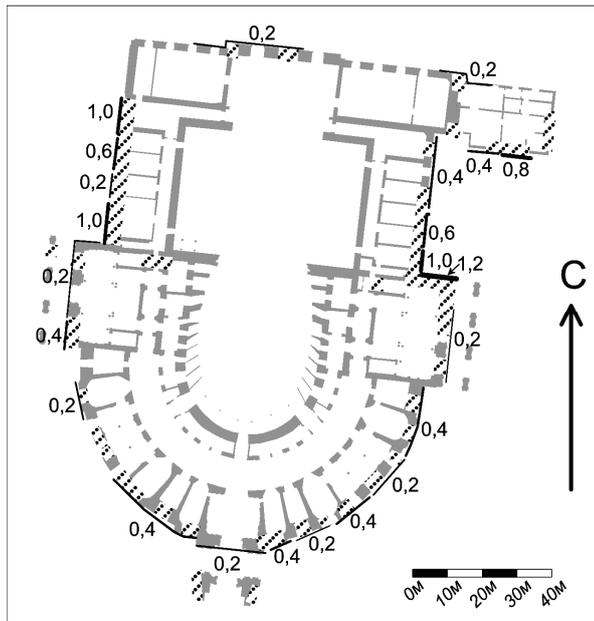


Рис. 9. Вычисленная по результатам обследования в феврале 2013 года удельная плотность трещин здания Одесского театра оперы и балета, возникших после устройства свайного фундамента в 2005 году. Исследования выполнены сотрудниками Одесской государственной академии строительства и архитектуры и ГРПП «Причерноморгеология» в феврале 2013 года.

Анализ текущего технического состояния строительных конструкций и количественная оценка надежности принятых и реализованных решений при реконструкции театра в 1999-2005 гг. позволили сформулировать выводы о возможных причинах возобновившихся деформаций здания. Причиной современных деформаций здания не могут быть просадочные деформации лессовых грунтов основания, т.к. фактическая нагрузка на сваи, передаваемая от фундамента, значительно меньше допустимой нагрузки на сваи, полученной по результатам их многочисленных контрольных испытаний статическими нагрузками. Усиление основания фундамента сваями полностью устранило этот «традиционный» фактор влияния. Кроме того, маловероятно возникновение трещин из-за прогибов пролетных строительных конструкций, а также из-за ползучести каменной кладки в простенках и подоконных блоках. Все это позволяет заключить, что, с точки зрения конструктивных особенностей здания, наиболее «слабым звеном», потенциально способным вызывать деформации здания, может быть неодинаковая нагрузка на конструкции фундамента в различных его частях. Доказательством этому могут быть некото-

рые характерные признаки наблюдаемых трещин: (1) трещины возникают в местах наименьшей пространственной жесткости здания (в проемах и ослаблениях кладки); (2) трещины имеют характерный наклон в сторону предположительно большей осадки здания; (3) шаг магистральных и более мелких трещин одинаков и соизмерим с высотой стены здания, что приводит к разделению оседающих блоков примерно на равные части; (4) трещины, достигшие карниза здания, с высотой обычно расширяются; при этом большинство трещин проникают лишь до уровня третьего яруса по высоте, что может быть связано с наличием жестких поэтажных обвязочных поясов, устроенных при реконструкции здания.

Итак, трещинно-морфометрический анализ и анализ технического состояния строительных конструкций здания вынуждают сделать вывод о том, что наиболее вероятной причиной развития трещин в стенах здания театра после реконструкции 1999–2005 гг. является неравномерная осадка фундаментов. В то же время техническая экспертиза показывает, – и это самое главное, – что при отсутствии дополнительных внешних усилий нет оснований ожидать образования трещин в конструктивных элементах здания. Следовательно, необходимо искать внешние причины деформаций, возобновившихся после создания свайного основания, исключив из рассмотрения пространственную неравномерность просадочных свойств лессовой толщи.

#### **4. ПРИРОДА ДЕФОРМАЦИЙ ЗДАНИЯ ТЕАТРА**

##### **4.1. Модель просадочности лёссовых грунтов**

С первых лет существования современного здания театра главной причиной его деформаций считалась неравномерная просадка лессовых грунтов основания, а причиной неравномерных просадок – утечки из водонесущих коммуникаций. Эта точка зрения изложена во многих работах. Однако двукратный отрицательный опыт защиты здания показал, что модель просадочности лессов неверна как стратегия защиты здания от деформаций. Поэтому ее можно исключить из дальнейшего рассмотрения, тем более что усиление основания фундаментов буроинъекционными сваями с заделкой их концов в понтических известняках в ходе реставрации 1999-2005 годов полностью исключило просадочность лессов как возможный внешний фактор деформаций здания.

##### **4.2. Модель оползневой смещения**

В 1997 году отдел сейсмологии Института геофизики имени С.И. Субботина НАН Украины выполнил исследования по уточнению инженерно-сейсмических условий площадки здания театра. Было выполнено картирование и глубинное зондирование с применением биогеофизических методов, выполнен структурно-кинематический анализ разрывных структур и анализ пространственного распределения деформаций в строениях на территории, прилегающей к театру. Основной причиной аварийного состояния зданий на изученной территории (в том числе, и здания театра) был признан зарождающийся оползневой массив, возникновение которого связывалось с планетарным полем тектонических напряжений, которые усилились в позднем плиоцене–эоплейстоцене и привели к образованию трещинных зон. По мнению авторов модели, здание театра расположено в головной части оползня, который охватывает значительную территорию к востоку и юго-востоку от театра, включая юго-восточную часть Приморского бульвара, часть улиц Лан-

жероновской, Дерибасовской и Ришельевской. Тело развивающегося оползня сложено блоками понтического известняка, которые отделены друг от друга зонами новейшей тектонической трещиноватости северо-западного и северо-восточного простираний. Известняковые блоки, вместе с перекрывающими их образованиями, сползают в восток-северо-восточном и восточном направлениях по относительно пологим поверхностям, которые секут подстилающие меотические глины. Авторы считают, что этот относительно древний оползень длительное время находился в стабильном состоянии и активизировался лишь недавно под влиянием возросшего антропогенного воздействия.

Заметим, однако, что глубокие оползни выдавливания на данной территории не происходили со времени строительства Приморского бульвара и закрепления склона подпорными стенками. В отдельных местах наблюдались только лишь обвалы глыб выветривающегося известняка и обусловленные атмосферными осадками поверхностные оплывины.

#### 4.3. Модель микроблоковой геодинамики

Принципиально иная модель, объясняющая причины деформаций здания театра, предложена в 1990-х годах сотрудниками кафедры инженерной геологии и гидрогеологии Одесского национального университета имени И.И. Мечникова (ОНУ) [2, 3]. В соответствии с ней, главной причиной деформаций являются вертикальные дифференцированные перемещения блоков понтического известняка, т.к. здание театра расположено, по мнению авторов модели, в пределах не одного, а нескольких блоков. Исходя из модели микроблоковой геодинамики, сотрудники ОНУ в 1990-х годах предлагали стратегию защиты здания театра, предусматривающую ослабление тектонических усилий, которые воздействуют на фундамент здания снизу в результате разночастотных движений блоков понтического известняка. Время показало, что предлагавшийся в 1990-х годах и отвергнутый вариант «жесткой плиты» был бы наиболее приемлемым способом защиты здания.

Модель микроблоковой геодинамики позднее получила многочисленные прямые и косвенные подтверждения. В частности, имеется много фактов, свидетельствующих о том, что микроблоковое строение характерно не только для территории Одессы, но и для региона в целом. Это проявляется, например, в структуре оползневых склонов северо-западного побережья Черного моря [1, 4, 8, 9]. Модель структурно-тектонического дренажа [12], основанная на концепции микроблоковой космозависимой геодинамики, позволила не только объяснить наблюдаемые закономерности межгодовой динамики уровня грунтовых вод территории Одессы, но и обосновать его долгосрочный прогноз на ближайшие десятилетия [13].

Приведенные в данной работе факты указывают на то, что наблюдаемые деформации здания театра также обусловлены в основном дифференцированными движениями микроблоков понтического основания. Определенный вклад в деформации может вносить и медленное дифференцированное смещение блоков в горизонтальном направлении, в сторону Приморского бульвара, по неровной поверхности относительно пластичных меотических глинистых отложений. Более того, есть основание считать, что тектонические деформации и связанные с ними движения микроблоков геосреды города носят во времени не случайный характер, а закономерно связаны с управляющим воздействием ротационных и приливных сил. Ранее было выявлено [6, 10], что изменчивость характеристик геосреды региона закономерно связано с вариациями скорости осевого вращения Земли, пре-

допределяющими пространственно-временные вариации напряженного состояния массива пород.

На рис. 10 показана временная связь между индексом градиента деформаций  $J_G$ , который характеризует степень активности деформационных процессов в пятне здания театра, и скоростью осевого вращения Земли ( $w_E$ ); последнюю в данном случае можно интерпретировать как показатель изменчивости напряженного состояния массива пород.

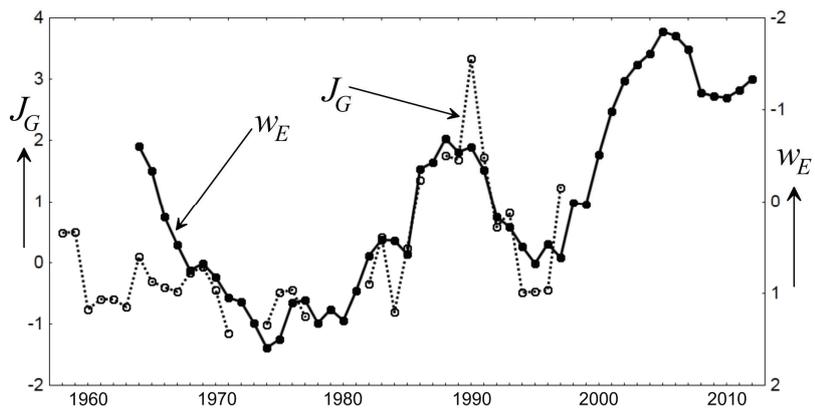


Рис. 10. Связь между вариациями индекса градиента деформаций ( $J_G$ ) на территории здания Одесского театра оперы и балета и скоростью осевого вращения Земли ( $w_E$ ). Стрелками вдоль осей ординат показано направление увеличения параметра. Обе кривые стандартизованы. Кривая  $w_E$  смещена относительно кривой  $J_G$  на два года, в предположении, что деформации здания театра запаздывают на 2 года относительно порождающих их изменений напряженного состояния массива пород.

К сожалению, прерывистый характер геодезического мониторинга исключает возможность абсолютно корректной интерпретации рассматриваемых временных рядов. Тем не менее, есть больше оснований считать, что между данными параметрами есть причинно-следственная связь и принять этот тезис как перспективную рабочую гипотезу, чем отвергнуть такое предположение. Коэффициент корреляции между временными рядами  $r = +0,73$  ( $p < 0,05$ ) при условии двухлетнего запаздывания  $J_G$  относительно  $w_E$ .

Таким образом, на наш взгляд, наиболее приемлемой, – в качестве рабочей концепции для разработки стратегии защиты от деформаций зданий и сооружений на территории Одессы, в том числе и здания театра оперы и балета, – следует считать модель микроблоковой геодинамики. Очевидно, что в рамках этой модели не отрицаются все другие изменяющиеся факторы геологической среды. Однако без учета микроблоковой геодинамики и ее зависимости от внешних – планетарных и космических – факторов объяснить наблюдаемые геологические процессы вряд ли удастся. Опыт многих отечественных и зарубежных исследований последних лет в этом убеждает.

Важно обратить внимание на следующее обстоятельство. Если справедливость модели микроблоковой геодинамики будет окончательно доказана, это будет означать, что реализованный в 2005 году «свайный» проект не только не ликвидировал

главную причину деформаций здания театра, а, вероятнее всего, увеличил разрушительный эффект тектонических усилий, передаваемых «сквозь» лессовую толщу фундаменту здания. Дело в том, что свайное основание полностью исключило возможную положительную «демпфирующую» роль, которую лессовая толща играла до этого, будучи в известном смысле фильтром, который «сглаживал» и «гасил» напряжения, создаваемые вертикальными дифференцированными движениями блоков понтического известняка. Теперь же фундамент здания «вынужден» непосредственно реагировать на распространяющиеся снизу и ничем не ослабленные тектонические напряжения. Негативные следствия такого положения вещей очевидны.

## ВЫВОДЫ

Современное здание Одесского театра оперы и балета построено по проекту Г. Гельмера и Ф. Фельнера в 1887 г.; первые проблемы, связанные с деформацией нового здания, появились уже через 10-15 лет после этого. В 1954-1956 гг. предпринята первая масштабная попытка устранить причины деформаций, укрепив породы лёссовых грунтов под ленточным фундаментом здания методом силикатизации. Через 40 лет после силикатизации ситуация не улучшилась, а к концу 1980-х годов приобрела катастрофические масштабы. В 1996 г. был организован конкурс на лучшее техническое решение по защите здания. Два из 15-ти представленных проектов оказались в центре внимания: проект «жесткой плиты» и проект «свайного основания». Идея первого проекта заключалась в устранении неравномерной просадочности пород лессового основания – и он был принят к исполнению и реализован в 2005 году. Идея второго проекта предусматривала универсальное решение, направленное на устранение внешних (не связанных с конструкцией здания) причин, вызывающих деформации, – и он был отклонен.

После силикатизации лессовых грунтов в 1957 году в течение 40 лет (с перерывами) выполнялся геодезический мониторинг. Информация, накопленная за это время, позволяет количественно оценить эффективность силикатизации как метода защиты здания от деформаций. Выполненные нами и представленные в работе результаты картографической и статистической обработки данных геодезического мониторинга дают основания считать, что главной причиной деформаций вряд ли является неравномерная просадочность лессовых грунтов.

Вторая попытка защиты здания, реализованная в 2005 году, – которая базировалась на той же теоретической основе, что и первая, – не достигла стопроцентного результата. Уже через восемь лет после усиления основания фундамента сваями отмечено проявление деформаций здания театра и вновь возник вопрос, что же является главной причиной возникновения этих дефектов. Геодезический мониторинг, который позволил бы оценить эффективность свайного основания, как метода защиты здания, после 2005 года не проводился. Однако в 2013 году сотрудниками Одесской государственной академии строительства и архитектуры и ГРПП «Причерноморгеология» выполнен анализ текущего технического состояния строительных конструкций, количественная оценка надежности принятых и реализованных решений при реконструкции театра в 1999-2005 гг., а также трещинно-морфометрический анализ. Эти исследования показали, что образование трещин в разных частях здания вызвано разными причинами, в частности, со стороны юго-восточного фасада ими является неравномерная осадка фундаментов. В то же вре-

мя техническая экспертиза показывает, что при отсутствии дополнительных внешних сил, трещины в различных конструктивных элементах здания возникать не могут. Следовательно, есть какая-то внешняя причина деформаций. Однако теперь уже нельзя такой причиной считать неравномерность просадочных свойств лессовых грунтов, т.к. этот фактор, по результатам анализа, был полностью исключен после реализации «свайного» проекта в 2005 году.

Выше обоснована модель микроблоковой геодинамики, в соответствии с которой, главной причиной деформаций здания театра являются вертикальные (и, возможно, горизонтальные) дифференцированные перемещения блоков понтического известняка, т.к. здание расположено в пределах не одного, а нескольких блоков, залегающих на неровной поверхности мезотических глинистых отложений. Исходя из модели микроблоковой геодинамики, сотрудники ОНУ в 1990-х годах предлагали стратегию защиты здания, которая предусматривала бы устранение эффектов, связанных с неравномерными тектоническими усилиями, действующими на фундамент снизу. Время показало, что предлагавшийся в 1996 году вариант «жесткой плиты» был бы наиболее приемлемым проектом защиты здания театра.

В качестве аргументов в пользу модели микроблоковой геодинамики можно привести, в частности, следующие:

(1) в межгодовом масштабе наблюдается колебательный режим деформаций здания театра с частой сменой знака деформаций: восходящие смещения геодезических реперов и марок сменяются нисходящими;

(2) спектрально-гармонический анализ выявляет период смены знака деформаций, равный примерно семи годам;

(3) на картах ежегодных деформаций и градиентных картах рисунок изолиний изменяется, и при этом в его основе нередко присутствуют линейные элементы диагональных и ортогональных простираций;

(4) индекс градиента деформаций ( $J_G$ ), интегрально характеризующий степень пространственной «неоднородности» вертикальных деформаций, изменяется синхронно с изменением скорости осевого вращения Земли; последняя влияет на напряженное состояние массивов горных пород в верхней части земной коры, и, следовательно, предопределяет динамику движений микроблоков и соответствующие деформации здания театра;

(5) модель микроблоковой геодинамики успешно объясняет наблюдаемые многолетние изменения уровня грунтовых вод на территории Одессы и позволяет обосновать его долгосрочный прогноз [13];

(6) межгодовая динамика уровня грунтовых вод на территории Одессы хорошо коррелирует с такими внешними факторами, как скорость осевого вращения Земли и солнечная активность [2, 10];

(7) изучение деформаций в береговой зоне моря и дебита фильтроскважин дренажной завесы выявляет микроблоковую структуру геологической среды Одесского побережья и космозависимый квазициклический характер межгодового дебита указанных скважин [8];

(8) микроблоковая структура отчетливо выявляется в морфологии оползневых склонов морского побережья Одесского региона [1, 8].

Таким образом, наиболее приемлемой теоретической моделью для разработки стратегии защиты зданий и сооружений на территории Одессы от деформаций, в том числе и здания театра оперы и балета, мы считаем модель микроблоковой космозависимой геодинамики. Если правильность такой модели будет окончательно доказана, это будет означать, что реализованный в 2005 году «свайный» проект

увеличил разрушительный эффект тектонических усилий, передаваемых «сквозь» лессовую толщу фундаменту здания, т.к. свайное основание исключило «демпфирующую» роль, которую лессовая толща играла до этого.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Воскобойников В. М.* Применение геодинамического анализа и метода обобщенных переменных для оценки и прогноза устойчивости оползневых склонов (на примере Северного Причерноморья) / В. М. Воскобойников, Т. В. Козлова // Инженерная геология. – 1992. – № 6. – С. 34–49.
2. *Зелинский И. П.* Причины деформаций здания Одесского театра оперы и балета / И. П. Зелинский, Т. В. Козлова, Е. А. Черкез, В. И. Шмуратко // Материалы научно-методической конференции, посвященной 85-летию В.Д. Ломтадзе (11–12 ноя. 1997 г.) «Проблемы инженерной геологии». – С.-Петербург, 1998. – 103–106.
3. *Зелинский И. П.* Подвижность геологической среды и проблема сохранения здания Одесского академического театра оперы и балета / И. П. Зелинский, Т. В. Козлова, Е. А. Черкез, В. И. Шмуратко, В. Г. Сушко, В. Я. Чернокозь, Р. А. Смирнов, Б. В. Будкин // Труды 3-ей Украинской научно-технической конференции по механике грунтов и фундаментостроению «Механика грунтов и фундаментостроение». – Одесса, 1997. – Т. 2. – С. 355–356.
4. *Зелинский И. П.* О природе пластической деформации глинистых пород оползневых склонов Одесского побережья / И. П. Зелинский, Л. М. Моисеев, А. А. Ханонкин // Геоэкология. – 1993. – № 3. – С. 55–65.
5. *Козлова Т. В.* О природе пространственно-временной изменчивости геосреды в связи с проблемой прогноза и контроля опасных геологических процессов / Т. В. Козлова // Мат-ли наук.-техн. конф. «Пробл. техноприродных аварий та катастроф у зв'язку з розвитком небезпечних геол. процесів...». – Київ, 1997. – 1997. – Ч. 2. – С. 12–15.
6. *Козлова Т.В.* Микроблоковая геодинамика на территории Одессы и скорость осевого вращения Земли / Т. В. Козлова, Е. А. Черкез, В. И. Шмуратко // «Механіка ґрунтів, геотехніка та фундаментобудування». Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць ДП НДІБК. – Київ, 2011.– Вип. 75. – Книга 1. – С. 271–276.
7. *Тугаенко Ю.Ф.* Процессы деформирования грунтов в основаниях фундаментов, свай и свайных фундаментов / Ю.Ф. Тугаенко. - Одесса: Астропринт. – С. 163 – 185.
8. *Черкез Е. А.* Оползни северо-западного побережья Черного моря (моделирование, прогноз устойчивости склонов и оценка эффективности противооползневых мероприятий). : автореф. дис. на соискание ученой степени д-ра геол.-мин. наук: спец. 04.00.07 «Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение / Черкез Евгений Анатольевич; Одесский государств. унив. им. И.И. Мечникова – Одесса, 1994. – 36 с.
9. *Черкез Е. А.* Инженерно-геологические условия территории Приморского бульвара в Одессе в период строительства Потемкинской лестницы (по данным изысканий 1840-х годов) / Е. А. Черкез, Т. В. Козлова, В. И. Шмуратко // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – Київ, 2008. – № 2. – С. 11–18.
10. *Черкез Е.А.* Ротационная динамика и уровень четвертичного водоносного горизонта на территории Одессы / Е. А. Черкез, В. И. Шмуратко // Вісник ОНУ. Серія: Географічні та геологічні науки. – 2012. – Т. 17. – Вип. 2 (15). – С. 122–140.
11. *Шмуратко В.И.* Роль многоэтажной тектоники при инженерно-геологической оценке территории / В. И. Шмуратко // Геоэкология. – 1993. – № 2. – С. 79–93.
12. *Шмуратко В.И.* Гравитационно-резонансный экзотектогенез / В. И. Шмуратко. – Одесса: Астропринт. – 332 с.
13. *Шмуратко В.И.* Цикличность межгодовых вариаций уровня грунтовых вод и проблема долгосрочного прогноза подтопления территории Одессы / В. И. Шмуратко // Доповіді НАН України. – № 3. – С. 119–124.

Статья поступила в редакцию 12.06.2013

**В. І. Шмуратко**, доктор геол. наук, професор  
**Є. А. Черкез**, доктор геол.-мін. наук, професор  
**Т. В. Козлова**, канд. геол.-мін. наук, доцент  
кафедра інженерної геології і гідрогеології  
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова  
**В. Г. Тюремiна**, канд. геол.-мін. наук, головний гідрогеолог  
**А. І. Караван**, гідрогеолог I категорії  
**П. Н. Тюремiн**, гідрогеолог I категорії  
ГРГП “Причорноморгеологія”  
**В. М. Митинський**, академік АСУ, канд. техн. наук, доцент  
**С. В. Бараник**, магістр  
Одеська державна академія будівництва і архітектури

## ПРО ПРИЧИНУ ТРИВАЛИХ ДЕФОРМАЦІЙ БУДІВЛІ ОДЕСЬКОГО ТЕАТРУ ОПЕРИ І БАЛЕТУ

### Резюме

Сучасна будівля Одеського театру опери і балету побудована в 1887 р., і вже через 10-15 років після цього виникли перші проблеми, пов'язані з його деформацією. Дві зроблені спроби захистити будівлю – силікатизація лесових ґрунтів (1957 р.) і створення свайної основи фундаменту (2005 р.) – виявилися невдалими: всякий раз через декілька років після реалізації проектів деформації знову поновлювалися. У пропонованій роботі обґрунтовується модель мікро блоковою космозалежної геодинаміки в якості теоретичної основи для розробки стратегії захисту будівель і споруд на території Одеси від деформацій, у тому числі і будівлі театру опери і балету.

**Ключові слова:** інженерна геодинаміка, геологічне середовище, Одеса, деформації будівель і споруд.

**V. I. Shmuratko**, doctor of geology, professor  
**E. A. Cherkez**, doctor of geology, professor  
**T. V. Kozlova**, PhD geology, associate professor  
I.I. Mechnikov Odessa national university  
**V. G. Tyuremina** PhD geology, chief hydrogeologist  
**A. I. Karavan**, hydrogeologist  
**P. N. Tyuremin**, hydrogeologist  
GRGP “Prichernomorgeologiya”  
**V. M. Mitinsky**, academician ASU, PhD technology, associate professor  
**S. V. Baranik**, master of architecture  
Odessa state academy of construction building and architecture

## ON THE REASON OF CONTINUED DEFORMATIONS OF THE BUILDING OF ODESSA OPERA AND BALLET THEATRE

### Summary

The modern building of the Odessa opera and ballet theatre was built in 1887, and already in 10-15 years there appeared first problems related to its deformation. The two attempts to

protect building (strengthening of loess soils (1957) and creation of pile foundation (2005)) were unsuccessful. Every time over the years after realization of projects the deformation started again. The current work provides a model based on micro-block space-dependent geodynamics as a theoretical basis for development of the protection strategy for buildings and constructions on the territory of Odessa from deformations, including the building of the Odessa opera and ballet theatre.

**Keywords:** engineering geodynamics, geological environment, Odessa, deformations of buildings and constructions.