

*В.А. Минаев, Н.Г. Топольский, А.О. Фаддеев,  
А.В. Абрамова, А.Н. Попов, А.В. Мокшанцев*  
(Академия ГПС МЧС России; alex.stanislav2014@yandex.ru)

## **СТРОИТЕЛЬСТВО БЕЗ КАТАСТРОФ: УЧЁТ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ РИСКОВ**

*На основе апробированных математических моделей анализируются результаты расчётов геодинамических рисков для локальных территорий. Предлагаются методы учёта напряжений на строительных площадях.*

*Ключевые слова: геодинамический риск, локальные строительные объекты, математическая модель, оценка рисков.*

*V.A. Minaev, N.G. Topolsky, A.O. Faddeev,  
A.V. Abramova, A.N. Popov, A.V. Mokshantsev*

## **BUILDING WITHOUT DISASTERS: THE REGISTRATION OF GEODYNAMIC RISKS**

*Based on proven mathematical models are analysed the results of calculations geodynamic risks for local areas. Accounting methods stresses on construction areas are offered.*

*Key words: geodynamic risk, local construction projects, mathematical model, risk assessment.*

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 28 декабря 2013 г.

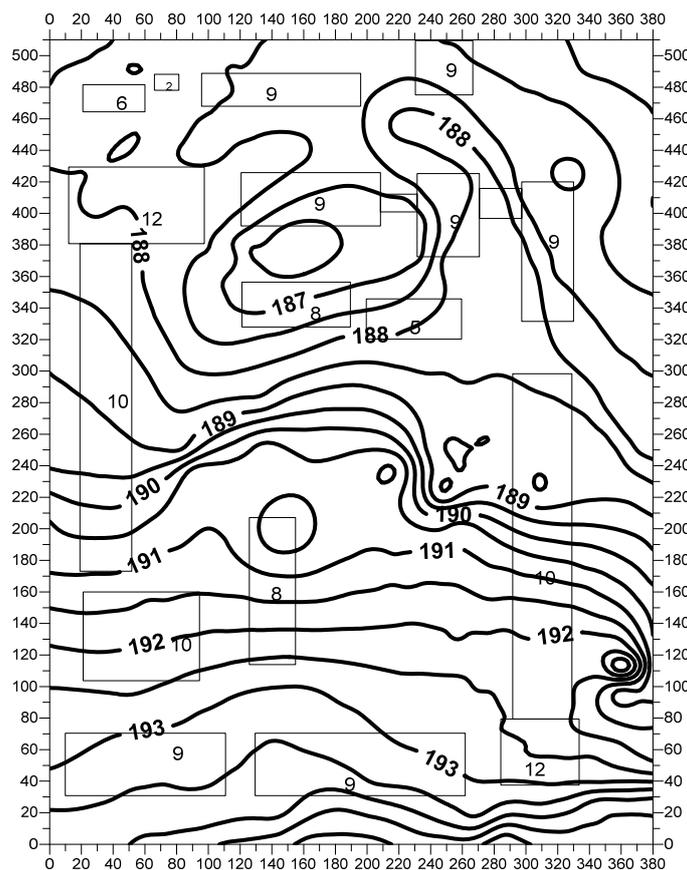
В жизни современного человечества немалое место занимают проблемы безопасности от негативных событий и явлений, обусловленных увеличением количества, сложности и мощности технических систем как на объектном, так и на территориальном уровнях [1, 2].

В этом контексте большое значение имеет оценка рисков в сложных распределенных природно-технических системах при воздействии на них опасных факторов геодинамического происхождения. Эта задача характеризуется большим количеством взаимосвязанных факторов [1-6]. Главным при её решении является нахождение ответов на вопросы, как реагирует система на внешнее воздействие, каково её состояние и динамика, как распределено воздействие в пространственно-временном отношении [7-10]. Эти вопросы являются центральными для решения проблемы обеспечения безопасности населения и территорий от опасных геодинамических процессов.

Можно ли непосредственно управлять сложной природно-технической системой с целью обеспечения её безопасности при воздействии на эту систему опасных геодинамических процессов, таких как землетрясения, оползни, обвалы, проседания и т.п.? Разумеется, нет. Но, зная ответы на вопросы, обозначенные выше, можно построить стратегию предотвращения этих процессов.

В настоящей статье рассмотрим пример такого предупреждения, основанного на применении уникальных математических моделей, разработанных авторами. В чем же их физическая сущность?

Предположим, что имеется территория, на которой предполагается построить жилой массив. Пусть мы располагаем информацией о топографическом рельефе территории (пример, рис. 1) и распределении на ней плотностных неоднородностей. Числами на прямоугольниках, схематично обозначающих жилые дома, указана этажность зданий. Протяженность жилого комплекса обозначена в метрах по осям координат.



**Рис. 1.** Топографический рельеф территории предполагаемой застройки.  
Сечение изолиний 0,5 м

Предположим, что на нижнюю поверхность некоторого модельного упругого трехмерного слоя геосреды воздействует нагрузка  $P(x, y)$ , связанная с геологическими массами рассматриваемой территории, а влияние плотностных неоднородностей описывается функцией  $W(x, y, \chi)$ , где  $\chi$  - некоторый глубинный уровень для каждой точки вида  $(x, y)$ .

Кроме этого, нужно учесть возмущения, оказываемые на верхнюю границу модельного упругого объема геологической среды, то есть необходимо принять во внимание распределённую статическую нагрузку  $F(x, y)$  от будущих зданий и сооружений с учётом их этажности.

На верхнюю часть упругого слоя геосреды действует распределённая нагрузка от зданий и сооружений, то есть при  $z = h$   $\sigma_z(x, y, h) = F(x, y)$  ( $\sigma_z$  – вертикальные нормальные напряжения в среде), на уровне  $z = 0$  – возмущения от топографического рельефа местности, а на глубинах  $z = \chi$  – влияние неоднородностей.

Нужно также учесть в модели отсутствие сдвиговых напряжений ( $\tau_{xz}$ ) на нижней границе слоя. Говорить об этом применительно к верхней границе слоя некорректно, так как из-за строительных работ в верхних слоях, как правило, наблюдается повышенная трещиноватость геологической среды.

Поскольку мы учитываем и топографические особенности территории, и плотностные неоднородности, и распределённую статическую нагрузку от зданий и сооружений, то модель будем называть комплексной типа 3. В отличие от неё, модель, учитывающую только топографический рельеф местности, и модель, учитывающую и топографический рельеф, и распределение плотностных неоднородностей, назовём моделью типа 1 и моделью типа 2, соответственно.

Итак, согласно приведенным допущениям, рассмотренные математические модели типа 1, 2 и 3, используемые для оценки геодинамического риска применительно к системе локального масштабного уровня, будут выглядеть следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_z(x, y, 0) = P(x, y); \\ \sigma_z(x, y, h) = 0; \\ \tau_{xz}(x, y, 0) = 0; \\ \tau_{xz}(x, y, h) = 0, \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_z(x, y, 0) = P(x, y); \\ \sigma_z(x, y, \chi) = W(x, y, \chi); \\ \tau_{xz}(x, y, 0) = 0; \\ \tau_{xz}(x, y, h) = 0, \end{array} \right. \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_z(x, y, h) = F(x, y); \\ \sigma_z(x, y, \chi) = W(x, y, \chi); \\ \sigma_z(x, y, 0) = P(x, y); \\ \tau_{xz}(x, y, 0) = 0. \end{array} \right. \quad (3)$$

Как показано в [1, 2], после подстановки выражений для соответствующих компонент тензора напряжений, например, в модель типа 3, получим следующую систему уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} k^2 \left\{ \left[ \frac{\mu}{\lambda + \mu} C - k(B + Dh) \right] shkh + \left[ \frac{\mu}{\lambda + \mu} D - k(A + Ch) \right] chkh \right\} = F_k; \\ k^2 \left\{ \left[ \frac{\mu}{\lambda + \mu} C - k(B + D\chi) \right] shk\chi + \left[ \frac{\mu}{\lambda + \mu} D - k(A + C\chi) \right] chk\chi \right\} = W_k; \\ k^2 \left( \frac{\mu}{\lambda + \mu} D - kA \right) = P_k; \\ kB + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} C = 0. \end{array} \right. \quad (4)$$

Разрешая систему (4), получим расчётные уравнения для оценки геодинамической устойчивости геологической среды для нашей модели. Рассмотрим теперь результаты математического моделирования. Карты для исследуемой территории (рис. 2-4) приведем в их сопоставлении с результатами моделирования только с учётом топографии (модель 1), с учётом топографии и плотностных неоднородностей (модель 2) и по комплексной модели (модель 3).

Очевидно, что от карты к карте меняется не только конфигурация распределения сдвиговых геодинамических напряжений, но и значительно увеличиваются сами значения этих напряжений. Так, на рис. 2 только в условной северо-западной части территории наблюдается участок с напряжениями выше 4 *КПа*, в то время как на рис. 3 уже вся центральная часть территории с напряжениями значительно выше 4 *КПа*. То есть дополнительный учёт только одних плотностных неоднородностей говорит о том, что геодинамическая обстановка на большей части территории становится неустойчивой. Если же обратиться к рис. 4, то в случае застройки этой территории зданиями и сооружениями планируемой этажности можно ожидать негативных последствий, вплоть до обрушения ряда зданий.

Однако последнее можно утверждать только в том случае, если соответствующие негативные "предвестники" будут обнаружены и на картах распределения скоростей вертикальных и горизонтальных смещений (в *мм/год*) на поверхности (рис. 5-7).

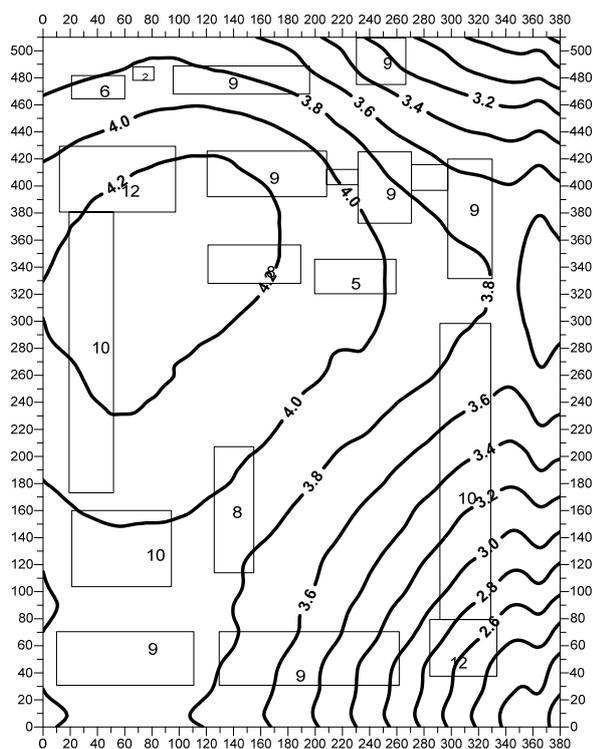


Рис. 2. Сдвиговые напряжения по модели 1

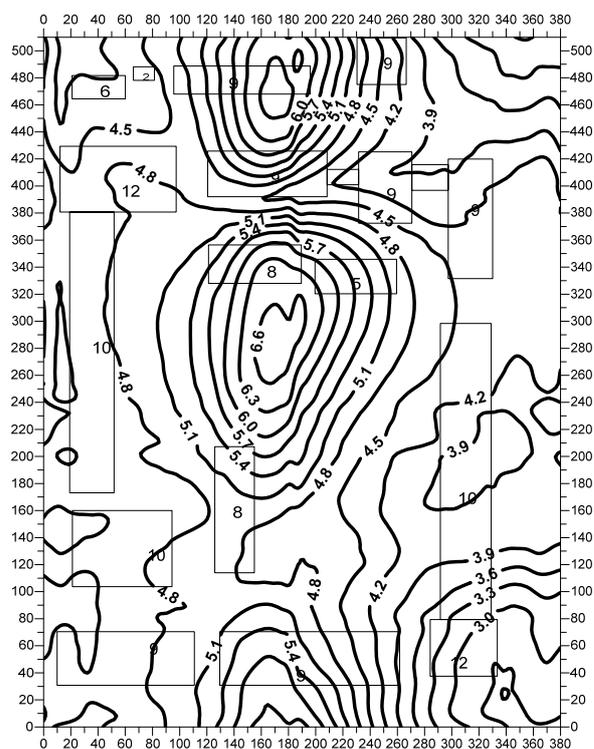


Рис. 3. Сдвиговые напряжения по модели 2

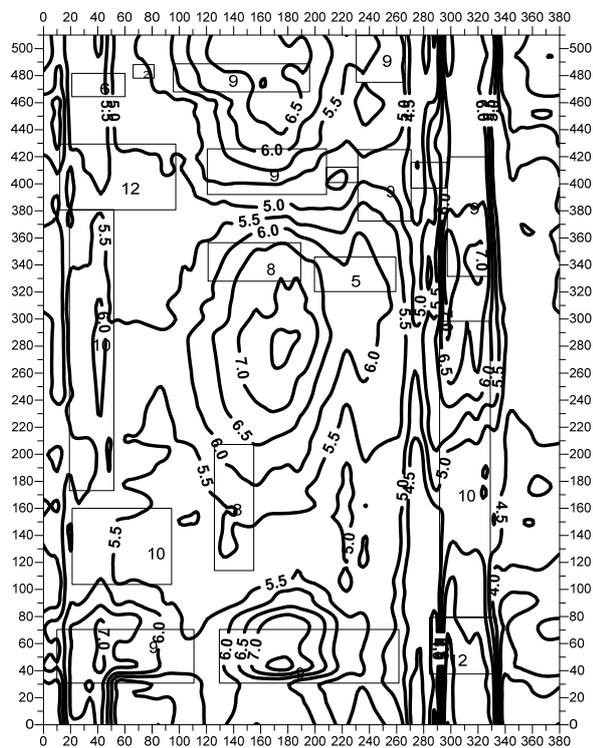


Рис. 4. Сдвиговые напряжения по модели 3

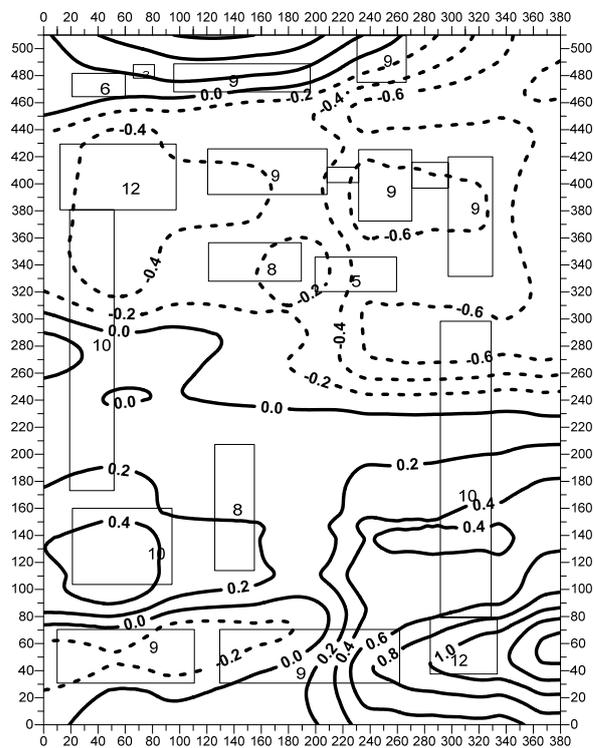


Рис. 5. Скорости вертикальных смещений по модели 1

Результаты расчёта скоростей вертикальных смещений на поверхности, полученные по данным моделирования топографической нагрузки, показывают, что рассматриваемая территория разделяется примерно на две равные части, на одной из которых наблюдается поднятие, на другой – опускание поверхности (рис. 5). В этом случае какие-либо ощутимые проблемы со строительством могут проявиться только для двух сильно вытянутых 10-этажных зданий. Для остальных зданий рассчитанные по этой упрощённой модели вертикальные смещения особой опасности не представляют и могут быть сведены к нулю продуманным планированием территории, отсыпкой грунта и т. п.

Если же обратиться к рис. 6, то видно, что геодинамическая ситуация на рассматриваемой территории значительно осложнилась. Уже большая часть территории охвачена геодинамическим опусканием поверхности и застройка становится проблематичной для многих зданий, к тому же смещения в условной южной части территории становятся более градиентными, чем были ранее. В таких условиях застраивать территорию, по крайней мере, так, как это было запланировано, нельзя.

Но еще большим аргументом в пользу *невозможности застройки* данной территории по первоначальному плану являются результаты, полученные при расчётах по комплексной модели (рис. 7). Поскольку, согласно расчётам, практически вся территория, за исключением её условной юго-восточной части, подвержена процессу геодинамического опускания, а значительная градиентность вертикальных смещений может привести к тому, что здания будут разваливаться на отдельные блоки, что приведет к обрушению их конструкций.

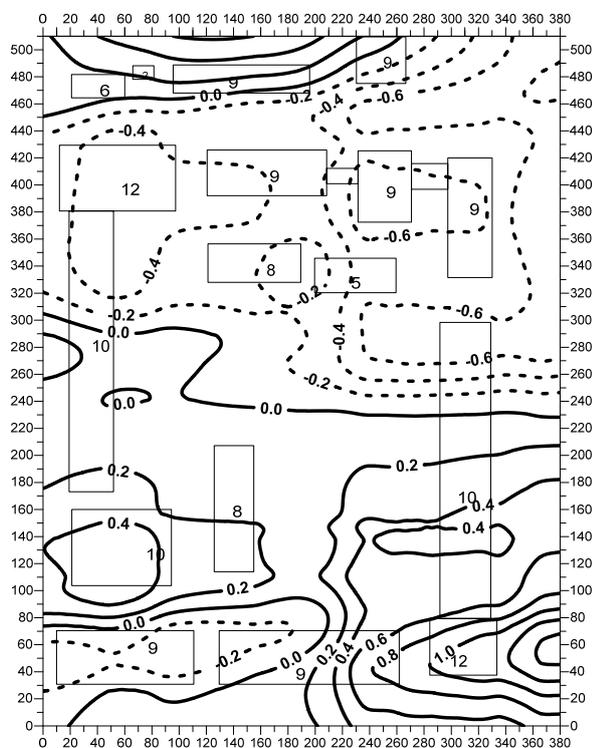


Рис. 6. Скорости вертикальных смещений по модели 2

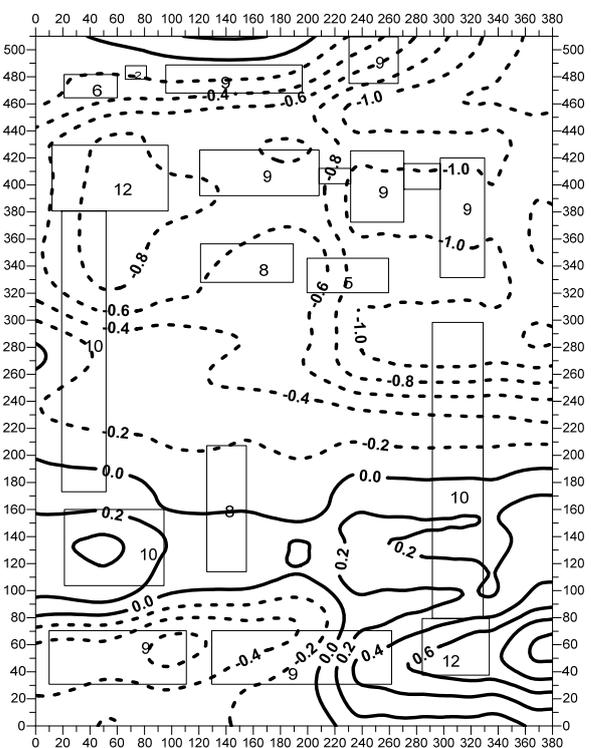


Рис. 7. Скорости вертикальных смещений по модели 3

Естественно, произойдет это не сразу, после застройки, а спустя годы, когда дома уже будут заселены, что может привести не только к материальным потерям, но и к значительным человеческим жертвам.

Как дополнительный аргумент к сказанному выше, можно ещё кратко проанализировать распределение скоростей горизонтальных смещений (1 мм стрелки-вектора в реальном масштабе рисунка соответствует 0,01 мм/год) на поверхности исследуемой территории (рис. 8-10).

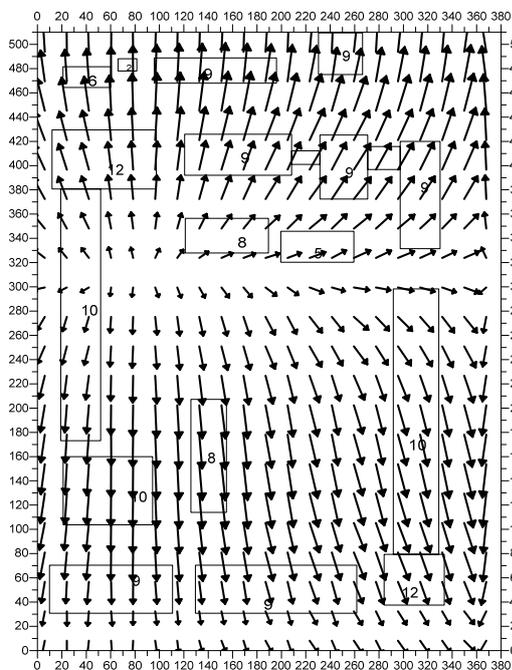


Рис. 8. Скорости горизонтальных смещений по модели 1

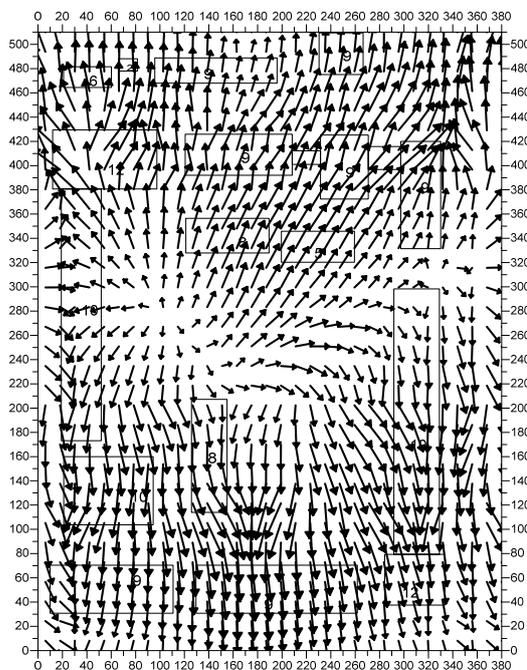


Рис. 9. Скорости горизонтальных смещений по модели 2

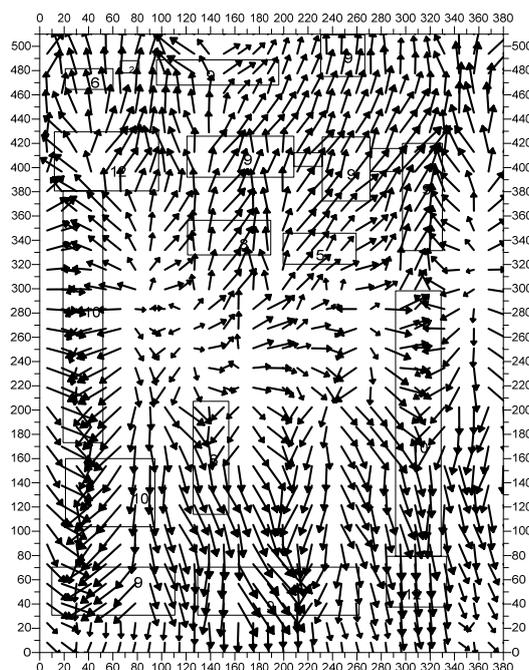


Рис. 10. Скорости горизонтальных смещений по модели 3

Распределение векторов скоростей горизонтальных смещений на поверхности рассматриваемой территории (рис. 8), на первый взгляд, не вызывает никаких опасений. Если не владеть информацией о распределении сдвиговых геодинамических напряжений и скоростях вертикальных смещений на поверхности, то, учтя один имеющийся центр растяжения, находящийся в точке с условными координатами (80; 300), можно проводить застройку территории.

Однако уже вторая модель (рис. 9), с учётом плотностных неоднородностей, характеризует исследуемую территорию как нестабильную в геодинамическом отношении. Здесь наблюдаются и "циркуляция" векторов, и резкая смена их ориентации, что говорит о возможности возникновения оползневых процессов.

Но наиболее точное представление о блочной, "мозаичной" структуре исследуемой территории даёт карта, представленная на рис. 10, полученная с использованием комплексной модели. При таком строении территории, как показано на рисунке, никаких строительных работ производить нельзя, поскольку построенный в таких геодинамических условиях жилой массив обречён на разрушение.

Рассмотренные модели, основанные на использовании данных о топографическом рельефе местности, распределении плотностных неоднородностей и статической нагрузки от зданий и сооружений, позволяют достоверно оценивать геодинамическую ситуацию для сложных распределённых природно-технических систем локального масштабного уровня, что даёт возможность облегчить процедуру принятия управленческих решений при разработке генерального плана застройки территории. При соответствующих доработках (дополнительное информационное обеспечение) эти модели могут быть адаптированы для решения задач обеспечения геодинамической безопасности локальных ("точечных") критически важных стратегических объектов (предприятия топливно-энергетического комплекса – АЭС, ГЭС, ТЭЦ; сооружения военно-оборонного значения – аэродромы, шахтные сооружения, хранилища материально-технических средств; иные важнейшие строительные объекты).

## Литература

1. **Минаев В.А., Фаддеев А.О.** Оценки геоэкологических рисков. Моделирование безопасности туристско-рекреационных территорий. М.: Финансы и статистика. Изд. дом ИНФРА-М, 2009. 370 с.
2. **Фаддеев А.О., Данилов Р.М.** Геодинамическая безопасность ландшафтно-территориальных комплексов. Монография. Хабаровск, 2010. 169 с.
3. **Минаев В.А., Фаддеев А.О.** Моделирование геоэкологического риска // Спецтехника и связь. 2009. № 2. С. 24-30.
4. **Минаев В.А., Фаддеев А.О., Данилов Р.М.** Математическое моделирование рисков геодинамического происхождения // Спецтехника и связь, 2011. №1. С. 48-52.
5. **Минаев В.А., Фаддеев А.О.** Математические методы и модели в геоэкологическом районировании рекреационных территорий // Материалы региональной научно-практической конференции "Математические методы и информационные технологии в современном обществе". 2007. С. 111-117.
6. **Серков Б.Б., Фирсова Т.Ф.** К вопросу о современном подходе к обеспечению противопожарной защиты зданий // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2009. № 2. С. 25-32.
7. **Минаев В.А., Фаддеев А.О.** Методика оценки устойчивости территорий туристско-рекреационного, жилищного и промышленного назначения к факторам геоэкологического риска // Матер. 26-й научно-технической конференции "Системы безопасности" – СБ-2007. М.: Академия ГПС МЧС России, 2007. С. 17-23.
8. **Минаев В.А., Фаддеев А.О.** Моделирование геоэкологических рисков и оценка геоэкологической безопасности на рекреационных территориях // Проблемы управления рисками в техносфере. 2008. № 4. С. 55-62.
9. **Минаев В.А., Фаддеев А.О., Данилов Р.М., Абрамова А.В., Павлова С.А.** Математическое моделирование сейсмических рисков // Спецтехника и связь, 2013. № 5. С. 58-63.
10. **Минаев В.А., Фаддеев А.О., Абрамова А.В., Павлова С.А.** Комплексная математическая модель оценки сейсмических рисков // Вестник РосНОУ. Управление, вычислительная техника и информатика. Вып. 4. М.: РосНОУ, Москва, 2013. С. 19-24.