

5. Палеогеография Европы за последние сто тысяч лет. М.: Наука, 1982. 156 с.
6. Коновалов И. М., Баланин В. В., Дербаков Р. И. Затопы льда на р.р. Сухоне, Северной Двине, мероприятия по предупреждению и борьба с ними//Тр. ЛИИВТ. 1962. Вып. 30. 95 с.
7. Соффер М. Г. Особенности образования затопов льда на реках Сухоне и М. Сев. Двине//Вестн. ЛГУ. Геология, География. 1967. Вып. 3. С. 161—168.
8. Титов А. А. Летопись Великоустюжская. М.: 1889. 108 с.
9. Ильина Л. Л., Грахов А. Н. Реки Севера. М.: Гидрометеоздат, 1988. 230 с.
10. Чалов Р. С. Географические исследования русловых процессов. М.: Изд-во МГУ, 1979. 232 с.
11. Маккавеев Н. И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 247 с.
12. Шанцер Е. В. Аллювий равнинных рек умеренного пояса и его значение для познания закономерностей строения и формирования аллювиальных свит//Тр. Института геол. наук АН СССР. 1951. Вып. 135. № 55. 218 с.
13. Пашкин Е. М., Бессонов Г. Б. Диагностика деформации памятников архитектуры. М.: Стройиздат, 1984. 152 с.

Вологодский политехнический
институт

Поступила в редакцию
05.06.92

**LOWER REACHES OF THE SUKHONA VALLEY:
TOPOGRAPHIC CONTROL OVER THE VELIKY USTYUG
DEVELOPMENT**

A. N. KICHIGIN

S u m m a r y

Processes of floodplain formation had a profound impact on the ground properties and groundwater location within the area of the city of Veliky Ustyug; they are reflected in the topography of the present-day floodplain and terraces. Early in the city history, the architectural planning was controlled by the natural topography. At present, the engineering-geomorphological analysis is required to make up for recent mismanagements within the limits of the Veliky Ustyug territory.

УДК 550.348.422

© 1993 г. Э. А. ЛИХАЧЕВА, В. Г. ГИТИС, Л. В. БАХИРЕВА,
А. П. ВАЙНШТОК, Е. Ф. ЮРКОВ

**КОМПЛЕКСНОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ
ПО СТЕПЕНИ УСТОЙЧИВОСТИ К ДИНАМИЧЕСКОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ**

Введение

Понятие «устойчивость», заимствованное из техники, в последние десятилетия распространено на ландшафты — рельеф, геологическую среду и другие гео- и экосистемы. Это связано с резко возросшим интересом к проблемам сохранения свойств геосистем как средовоспроизводящих систем. Цель всех природоохранных мероприятий — сохранить при изменениях ландшафта или геологической среды их способность устойчиво выполнять социально-экономические функции, что особенно важно для урбанизированной территории, выполняющей комплекс таких функций.

Устойчивость геосистем оценивается путем выяснения устойчивости свойств их компонентов, а также пространственных и временных аспектов их структуры [1]. Так как устойчивость — это свойство геосистемы сохранять свою структуру в течение определенного отрезка времени, то оценка устойчивости — это не что иное, как прогноз изменения геосистемы при каком-либо воздействии на нее.

Весьма распространенным конечным результатом саморегуляции геоморфологических систем являются деформации земной поверхности (оседания, обрушения). Оседания земной поверхности имеют сложную природу и могут служить суммарной количественной характеристикой неустойчивости рельефа урбанизированной территории. Одной из менее изученных причин оседания земной поверхности является вибрация — динамическое техногенное воздействие. При динамическом воздействии усиливаются деформации грунтов, активизируется процесс оседания, уменьшается устойчивость геосистемы. Вибрационный фон современного города связан в основном с движением транспорта. Транспортные магистрали, формирующие своеобразный каркас города, образуют сложную систему линейных источников вибрации практически постоянного действия. В задачу нашей работы входило выявление геолого-геоморфологических условий, при которых воздействие вибрации может нарушить устойчивость, и оценка этих условий с целью районирования территории по степени устойчивости к динамическим воздействиям.

В настоящей статье предлагается способ районирования городской территории по степени устойчивости к динамическим воздействиям на основе комплекса геологических и геоморфологических характеристик среды. Для решения задачи районирования используется геоинформационная система ГЕО [2]. В данной работе система ГЕО применялась для уточнения предложенного ниже алгоритма районирования, а также как средство оперативного преобразования и отображения картографической информации, позволяющее быстро проанализировать большое число промежуточных вариантов районирования и выбрать из них наиболее подходящий с экспертной точки зрения.

Экспертные знания

Эффект динамических воздействий зависит от интенсивности и спектрального состава воздействия, от удаления и взаимного расположения источника и объекта воздействия, волновых свойств геологической среды, а также от технических характеристик инженерных сооружений.

Устойчивость территории к динамическим воздействиям определяется тремя группами свойств геологической среды: 1) способностью компонентов геологической среды передавать динамические воздействия на инженерные сооружения; 2) резонансными свойствами грунтов; 3) изменением геологической среды под воздействием динамических нагрузок — степенью изменчивости прочностных характеристик грунтов, морфометрических и морфологических характеристик рельефа.

Эти свойства представлены в виде комплекса факторов (признаков). Из исследований по сейсмическому микрорайонированию [3] и на основе экспертных знаний влияние каждого отдельного фактора на устойчивость территории к динамическим воздействиям можно оценить с учетом шкалы приращений сейсмической балльности. Однако зависимости между компонентами геологической среды носят сложный и неоднозначный характер. Поэтому комплексная оценка устойчивости территории дается в условной шкале, полученной на основе суммирования баллов от отдельных факторов.

Для данной работы были выбраны характеристики геологической среды, каждая из которых достаточна для усиления эффекта динамических воздействий:

рельеф: морфометрия (уклоны и глубина расчленения), генезис;
грунт: литология, тип геологического разреза;
грунтовые воды: глубина залегания (минимальная);
техногенные изменения рельефа и грунтовых условий: техногенные отложения (мощность).

В качестве экспериментальной территории взят Хорошевский район Москвы, расположенный на северо-западной окраине города в долине р. Москвы на ее левом берегу. Здесь отмечаются все три террасы реки и значительно развита пойма. Долина Москвы-реки на данном участке города имеет унаследованный характер, и по геологическим данным здесь установлена так называемая доюрская долина. На большей части территории четвертичные существенно песчаные аллювиальные и флювиогляциальные отложения залегают на меловых и юрских глинах, являющихся главным водоупорным горизонтом в геологическом разрезе столицы. Исключением является участок палеодолины, где юрские глины размыты и четвертичные отложения залегают на трещиноватых и частично закарстованных карбоновых известняках. Рельеф Хорошевского района достаточно спокойный — с незначительными уклонами и расчлененностью, но вдоль реки отмечаются крутые склоны, среди которых есть и оползневые. В процессе градостроительства рельеф района претерпел некоторые изменения — засыпаны небольшие овраги, проведены подсыпки и срезки неровностей рельефа.

Из литературы [3—5] известно, что обводненные грунты менее устойчивы к динамическим воздействиям, чем необводненные. В пределах верхней 10-метровой толщи повышение грунтовых вод влечет постоянное приращение балльности. При залегании грунтовых вод около 4 м от поверхности в песчаных, супесчаных и глинистых грунтах балльность территории повышается примерно на 0,5 балла; если грунтовые воды залегают близко от поверхности — на 1 балл. При залегании грунтовых вод глубже 10 м их влияние на приращение балльности не сказывается. Четвертичные отложения — пески, суглинки и супеси — характеризуются приблизительно одинаковой устойчивостью к динамическим воздействиям. Отличаются лишь мелкие и пылеватые пески, увеличивающие неустойчивость приблизительно на 0,5 балла, и особенно рыхлые суглинки и супеси (к которым могут быть отнесены техногенные отложения), повышающие неустойчивость на 1—2 балла. Отмечается значительное усиление разрушающего динамического воздействия на сооружения, расположенные на крутых склонах холмов, оврагов и на обрывистых берегах. Для склонов, сложенных супесчано-суглинистыми и песчаными нецементированными грунтами, при крутизне поверхности склона более 10° возможно увеличение интенсивности динамического воздействия на 1 балл.

Функции неустойчивости территории

Для описания свойств грунтовых условий, влияющих на неустойчивость территории к динамическим воздействиям, выбраны следующие пять факторов: x_1 — показатель вертикальной расчлененности территории в метрах, полученный как разность максимальной и минимальной отметок высоты на квадратной площадке со стороной 250 м; x_2 — высота территории над уровнем реки, м; x_3 — тип литологического строения; x_4 — уровень грунтовых вод, м; x_5 — мощность техногенных отложений, м.

Факторы x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 представлены в виде растровых полей в координатной сетке с шагом 25 на 25 м. Ниже приведена матрица корреляции полей x_1, x_2, x_4, x_5 . Включение в матрицу корреляции фактора x_3 не имеет смысла, так как он представлен в номинальной шкале.

Из матрицы видно, что корреляция между факторами практически отсутствует, за исключением пары факторов x_2, x_4 . Слабая корреляция является некоторым обоснованием того, что функция неустойчивости от комплексов

	x_1	x_2	x_4	x_5
x_1	1,00	-0,27	-0,21	0,09
x_2	-0,27	1,00	0,63	0,05
x_3	-0,21	0,63	1,00	0,04
x_4	0,09	0,05	0,04	1,00

факторов может быть сконструирована в виде суммы функций неустойчивости отдельных факторов. Коэффициент корреляции факторов x_2, x_4 равен 0,63. Тем не менее в комплексную оценку включены оба фактора. Добавление к фактору x_4 фактора x_2 позволяет подчеркнуть увеличение неустойчивости территории в районе поймы, где неустойчивость увеличивается как за счет уровня грунтовых вод, так и за счет наличия лессовых отложений.

Функция неустойчивости территории сконструирована в виде суммы нелинейных функций от отдельных факторов, показывающих, как каждый из этих факторов в отдельности влияет на неустойчивость

$$\Phi(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = \sum_{i=1}^5 \varphi_i(x_i),$$

где x_i — значение фактора, определяющего неустойчивость, $\varphi_i(x_i)$ — функция неустойчивости от i -го фактора, называемая также вкладом этого фактора в неустойчивость.

1. Функция неустойчивости для фактора расчлененности имеет следующий вид:

$$\varphi_1(x_1) = \begin{cases} 0 & \text{для } x_1 < 15 \\ 0,1x_1 - 1,5 & \text{для } 15 \leq x_1 \leq 20 \\ 0,033x_1 - 0,16 & \text{для } 20 \leq x_1 < 35 \\ 1 & \text{для } x_1 \geq 35 \end{cases}$$

График функции $\varphi_1(x_1)$ показан на рис. 1, а.

2. При конструировании функции неустойчивости за счет пойменных грунтов $\varphi_2(x_2)$ считалось, что территория, расположенная выше уровня реки до отметки 1 м, еще является поймой, а территория, расположенная выше уреза реки на 3 м, таковой уже не является. Влияние пойменных грунтов на устойчивость территории оценено нами в 0,5 балла, функция вклада в неустойчивость для данного фактора имеет следующий вид:

$$\varphi_2(x_2) = \begin{cases} 0,5 & \text{для } x_2 < 1 \\ 0,75 - 0,25x_2 & \text{для } 1 \leq x_2 \leq 3, \\ 0 & \text{для } x_2 > 3, \end{cases}$$

а ее график показан на рис. 1, б.

3. При оценке неустойчивости территории нами рассматривался тип геологического разреза. Эти данные были взяты с карты инженерно-геологического строения территории района. Устойчивость участков с различным типом геологического строения оценена экспертным путем. Функция вклада в неустойчивость за счет строения геологической среды имеет следующий вид:

$$\varphi_3(x_3) = \begin{cases} 1 & \text{для оползневого склона} \\ 2 & \text{для палеодолины} \\ 0 & \text{для прочих типов литологического строения} \end{cases}$$

4. При конструировании функции неустойчивости за счет влияния уровня грунтовых вод использовалась формула Медведева [3]

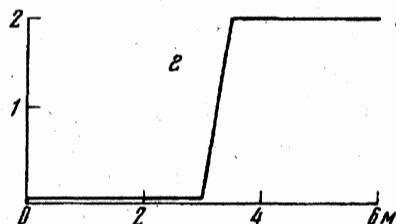
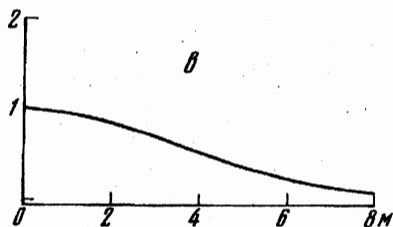
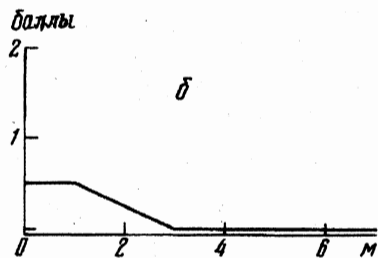
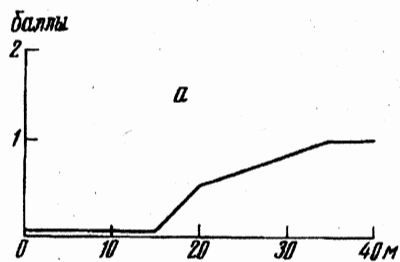


Рис. 1. Графики функций для факторов неустойчивости

a — функция неустойчивости для фактора x_1 — расчлененности территории; *б* — для фактора x_2 — высоты территории над уровнем реки; *в* — для фактора x_4 — уровня грунтовых вод, м; *г* — для фактора x_5 — мощности техногенных отложений, м

$$\varphi_4(x_4) = B \exp(-0,04x_4^2),$$

график которой изображен на рис. 1, *в*, B — коэффициент, зависящий от типа грунтов. Для данного примера принят $B = 1$.

5. При конструировании функции неустойчивости за счет техногенных отложений считалось, что отложения свыше 3,5 м увеличивают динамическое воздействие на 2 балла, отложения до 3 м не дают увеличения неустойчивости, а от 3 до 3,5 м воздействие плавно (линейно) увеличивается до 2 баллов. Таким образом, функция вклада техногенных отложений в неустойчивость территории $\varphi_5(x_5)$ должна иметь вид:

$$\varphi_5(x_5) = \begin{cases} 0 & \text{для } x_5 < 3 \\ 4x_5 - 12 & \text{для } 3 \leq x_5 \leq 3,5 \\ 2 & \text{для } x_5 > 3,5 \end{cases}$$

График функции $\varphi_5(x_5)$ изображен на рис. 1.

Карта неустойчивости

Карта, составленная по функции неустойчивости $\Phi(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$ для всех точек координатной сетки, изображена на рис. 2. На ней представлены четыре группы зон со значениями функции неустойчивости: 0—0,49, 0,5—1,49, 1,5—2,99 и от 3 и более баллов. Выделенные территории различаются по сложности инженерно-геологических условий: чем выше балл, тем большее число характеристик геологической среды вносит вклад в динамическую неустойчивость территории и тем дороже обходятся инженерно-строительные мероприятия при ее освоении.

К устойчивым отнесены участки, оцененные в 0—0,49 балла. Они составляют 30% площади исследуемой территории. Относительно устойчивыми могут считаться участки, получившие в сумме 0,5—1,49 балла (этот балл может быть получен за счет вклада одного-двух показателей геологической среды),

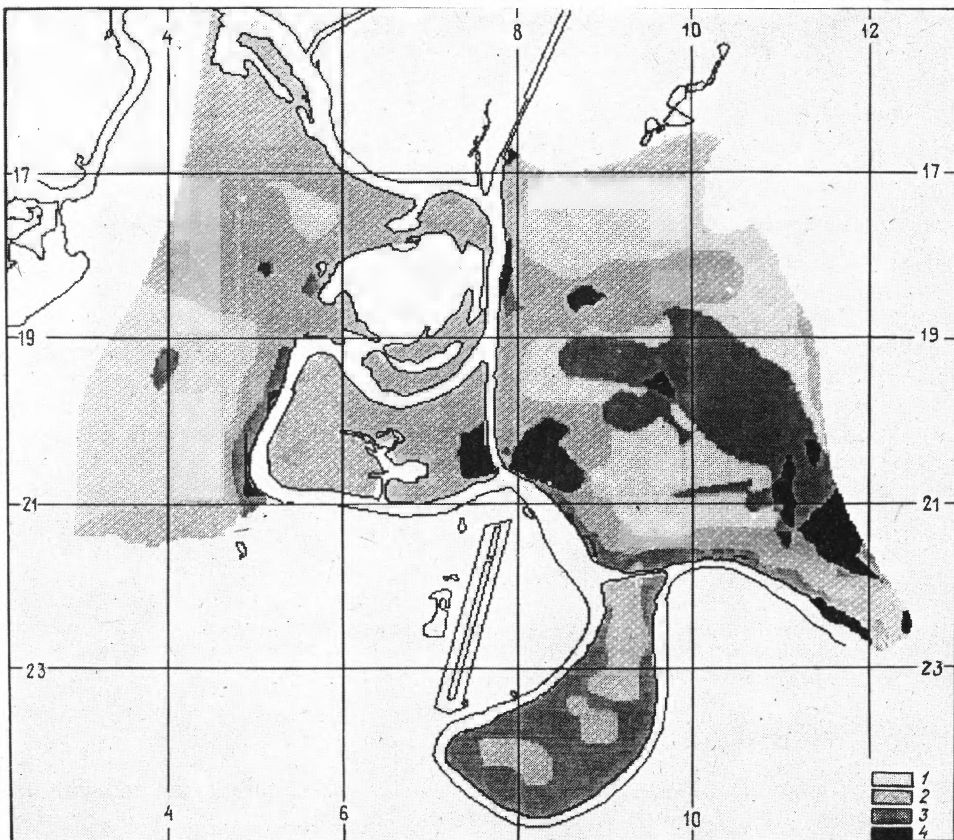


Рис. 2. Комплексная карта неустойчивости территории в баллах (Хорошевский р-н г. Москвы)

1 — 0—0,49; 2 — 0,5—1,49; 3 — 1,5—2,99; 4 — >3

составляющие 29% площади. Участки, получившие 1,5—2,99 балла, как правило, неустойчивы за счет комплекса трудноустраняемых факторов: оползневые склоны, подтопленная пойма, карстово-суффозионный участок палеодолины р. Москвы. Эти участки составляют 0,35% площади. Особо неустойчивыми являются участки, получившие при комплексной оценке от 3 баллов и выше. Они составляют 6% площади.

Выводы

В данной работе задача по комплексной оценке устойчивости территории решена лишь в первом приближении. Не оценены условия, увеличивающие устойчивость (к таким условиям могут быть отнесены некоторые инженерно-строительные мероприятия, например, дренаж, укрепление склонов [6], но в работе пока вообще не рассмотрено техногенное воздействие). Не рассмотрен также временной аспект устойчивости, вызванный необходимостью учитывать изменения во времени характеристик элементов геологической среды. Система ГЕО позволяет решать задачи мониторинга и прогноза устойчивости, но для этого необходимы данные режимных наблюдений, которыми мы не располагаем.

Оценка устойчивости геологической среды к динамическим воздействиям может быть использована для построения карты экологического дискомфорта от динамических техногенных источников [7].

Избранный нами способ решения задачи страдает одним очевидным недостатком — слабо обоснована операция арифметического суммирования факторов неустойчивости для комплексной оценки устойчивости территории к динамическим воздействиям. Тем не менее с нашей точки зрения районирование территории получилось вполне удовлетворительным и согласуется с экспертными представлениями об устойчивости территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Охрана ландшафтов. Толковый словарь. М.: Прогресс, 1982. 272 с.
2. Вайншток А. П., Гитис В. Г., Ошер Б. В. и др. Инструментальная среда ГЕО//Труды III конференции по искусственному интеллекту. Тверь, 1992. Т. 1. С. 169—172.
3. Сейсмическое микрорайонирование/Под ред. С. В. Медведева. М.: Наука, 1977. 248 с.
4. Вахтанова А. Н., Эсенев Э. М., Непесов Р. Д. О сейсмическом микрорайонировании городов ТССР//Изв. АН СССР. Сер. физ.-техн., хим. и геол. наук. 1970. № 3. С. 97—112.
5. Сергеев Е. М. Инженерная геология. М.: Изд-во МГУ, 1978. С. 165—167.
6. Симонов Ю. Г., Кружалин В. И. Инженерная геоморфология. М.: Изд-во МГУ, 1989. Ч. 1. 99 с.
7. Локшин Г. П. Виброметрические наблюдения//Инженерная география. М.: МФГО СССР, 1989. С. 125—133.

Институт географии РАН,
Институт проблем передачи информации РАН,
Инженерно-геологический и геоэкологический центр РАН

Поступила в редакцию
07.06.93

COMPLEX SUBDIVISION OF URBAN TERRITORY ON THE BASIS OF RESISTANCE TO DYNAMIC IMPACTS

E. A. LIKHACHEVA, V. G. GITIS, L. V. BAKHIREVA,
A. P. VAINSHOK, E. F. YURKOV

Summary

A new method is suggested to subdivide an urban territory into regions different in their resistance to dynamic (vibrational) action, on the basis of a series of geological and geomorphological characteristics of the environment. The subdivision is carried out using the «GEO» information system. The estimate is given taking into account the increase in seismicity due to hydrogeological (groundwater level) and geomorphic properties.