

УДК 624.131.521

А.Э. Зудилин, И.А. Савинцев

**ИНТЕГРИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ СЛАБЫХ ГРУНТОВ С ЦЕЛЬЮ
ОЦЕНКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ РИСКОВ**

Описана методика прогнозирования инженерно-геологических процессов в пределах городских территорий. Показана возможность применения кластерного анализа для интегрирования разнородных инженерно-геологических и геодинамических параметров на примере г. Ханты-Мансийска.

Ключевые слова: техногенные взаимодействия, картографическая модель, геологическая среда, геодинамические процессы.

Решение инженерно-геологической проблемы в рамках концепции устойчивого развития г. Ханты-Мансийска должно базироваться на прогнозировании изменений состояния приповерхностной области литосферы в связи с естественными и техногенными взаимодействиями.

Устойчивость геологической среды – это способность приповерхностной области литосферы взаимодействующей с орудиями и продуктами труда человека (геологическая среда) сохранять свое состояние, структуру и свойства в некотором диапазоне естественных и техногенных взаимодействий. Неустойчивая геологическая среда реагирует на техногенное взаимодействие активизацией естественных геологических и нехарактерных для естественной природной обстановки территории инженерно-геологических процессов.

Наиболее приемлемым способом прогнозирования инженерно-геологических процессов в пределах городских территорий является построение картографической модели,

включающей в себя набор карт районирования по степени опасности, определяющей устойчивость геологической среды по отношению к различным техногенным взаимодействиям.

Для территории г. Ханты-Мансийска ведущими факторами, отражающими устойчивость геологической среды к техногенному воздействию являются: уклон рельефа, пораженность территории экзогенными процессами, коэффициент овражно-балочного расчленения, плотность овражной эрозии, коэффициент устойчивости к оползнеобразованию, геодинамическая устойчивость, вероятность затопления территории за период 50 лет, глубина залегания уровня грунтовых вод, мощность слабых грунтов, средневзвешенное значение консолидации пород. Всего было использовано девять факторов, по каждому из которых построена карта.

Всего при оценке было выделено от 4 до 5 категорий. Выполненная оценка позволила оценить степень опасности проявления того или иного процесса.

Предложенные к оценке факторы характеризовались количественными параметрами с разными единицами измерения, с целью возможности их сравнения, полученным количественным значениям параметров на основе экспертных оценок присваивался балл. Основным методическим приемом для получения балльных оценок являлась индивидуальная экспертиза выбранных параметров, влияющих на формирование инженерно-геологических условий.

В качестве основы принята 12-балльная шкала, и все используемые факторы калибровались по ней. Присвоение баллов осуществлялось по принципу: наихудшему состоянию отвечает максимальная величина баллов. После калибровки по каждому из факторов были построены карты, отражающие характер их распределения.

Территория города по геоморфологическим, геодинамическим и инженерно-геологическим особенностям подразделяется на 3 зоны: «Самаровский останец», пойменная и террасовая зоны.

Для совместной интерпретации девяти характеристик необходимо было рассчитать один интегрированный параметр, который бы одновременно учитывал вклад каждого фактора. В качестве обучающей выборки был выделен участок, включающий все морфоструктурные комплексы данной территории.

В данном проекте авторы использовали адаптированные для поставленных задач и условий алгоритмы классификации как основы объективного прогноза искомых тематических и интегральных параметров. В частности, нами применен модифицированный алгоритм кластерного анализа методом определения наименьшего расстояния. Этот алгоритм является одним из простых и наиболее часто

используемых в картографических моделях.

Точность классификации этим методом сравнима с той точностью, которую обеспечивают более сложные вычислительные алгоритмы, в частности алгоритм максимального правдоподобия. Формальное существо этого подхода заключается в следующем:

На первом этапе, на основе обучающей выборки формируется заданное количество классов-кластеров.

1) Измеряются расстояния между всеми парами точек (или единиц совокупности) в m -мерном пространстве. Количество измерений m равно количеству участвующих в классификации параметров. Количество точек равно N .

В качестве меры расстояния можно использовалось эвклидово расстояние

$$\rho_{i,k}^E = \sqrt{\sum_{j=1}^m (x_{ji} - x_{jk})^2},$$

или взвешенное эвклидово расстояние

$$\rho_{i,k} = \sqrt{\sum_{j=1}^m (x_{ji} - x_{jk})^2 v_j}.$$

На первом шаге каждая точка образует отдельный кластер (область в m -мерном пространстве). Поэтому число кластеров вначале равно N .

Обозначим кластер как S_i , где i - номер кластера. Расстояния между кластерами $\rho(S_i, S_j)$ на первом этапе совпадают с расстояниями между точками.

2) Строится матрица расстояний между кластерами

$$R = \begin{pmatrix} 0 & \rho(S_1, S_2) & \dots & \rho(S_1, S_N) \\ \rho(S_2, S_1) & 0 & \dots & \rho(S_2, S_N) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \rho(S_N, S_1) & \rho(S_N, S_2) & \dots & 0 \end{pmatrix}.$$

Таблица 1
Оценка степени устойчивости территории

| Тип участка | Баллы | Вероятность выделения категорий устойчивости по результатам кластерного анализа |
|-------------------------|-------|---|
| Устойчивые | <6 | 83 |
| Относительно устойчивые | 6-12 | 92 |
| Низкой устойчивости | 12-24 | 97 |
| Неустойчивые | >24 | 95 |

Таблица 2
Значения весовой доли факторов в категориях устойчивости

| Категория устойчивости территории | Морфоструктурный комплекс | Характер вклада фактора | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---------------------------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) |
| Неустойчивая | I | н | вс | н | н | н | н | вс | с | с |
| | II | н | с | вс | вс | вс | н | н | с | с |
| | III | вс | вс | вс | вс | с | с | н | с | с |
| Низкой устойчивости | I | н | с | н | н | н | н | вс | с | с |
| | II | н | с | с | с | с | н | н | с | вс |
| | III | с | с | с | с | с | с | н | с | вс |
| Относительно устойчивая | I | н | с | н | н | н | н | вс | с | с |
| | II | н | с | н | н | н | н | н | с | с |
| | III | н | с | с | с | с | н | н | с | с |
| Устойчивая | I | н | н | н | н | н | н | н | с | с |
| | II | н | н | н | н | н | н | н | с | с |
| | III | н | н | н | н | н | н | н | с | с |

Примечание:

арабские цифры - номер фактора:

1 - Уклон рельефа, град. 2 - Пораженность территории ЭГП, %. 3 - Коэффициент овражно балочного расчленения, д.ед. км/км². 4 - Плотность овражной эрозии, шт/км². 5 - Устойчивость к оползнеобразованию, д.ед (Кз.у.). 6 - Геодинамическая устойчивость, (К д.у.) 7 - Вероятность затопления территории на период 50 лет, % (абс.отм). 8 - Потенциал подтопления территории (глубина залегания УГВ), м. 9 - Мощность слабых грунтов, м.

римские цифры - номер морфоструктурного комплекса:

I - Пойменных отложений. II - Террасовых отложений. III - "Самаровского останца"

буквы – степень вклада фактора (н - незначительный, с – существенный, вс – весьма существенный)

По матрице расстояний определяются два ближайших кластера, т.е. определяются номера v и w , для которых расстояние $\rho(S_v, S_w)$ минимально (элементы на главной диагонали не рассматриваются). Эти ближайшие кластеры объединяются в один. Таким образом, число кластеров уменьшается на 1. Затем пересчитываются расстояния между новым кластером (результатом объединения) и старыми кластерами.

При этом расстояния между кластерами можно считать разными способами: методом ближайшего соседа, методом дальнего соседа или методом средней связи.

В нашем случае использовался последний:

$$\rho_{mid}(S_v, S_w) = \frac{1}{N_v \cdot N_w} \sum_{i \in S_v} \sum_{k \in S_w} \rho_{i,k}$$

3) Переход к началу шага 2.

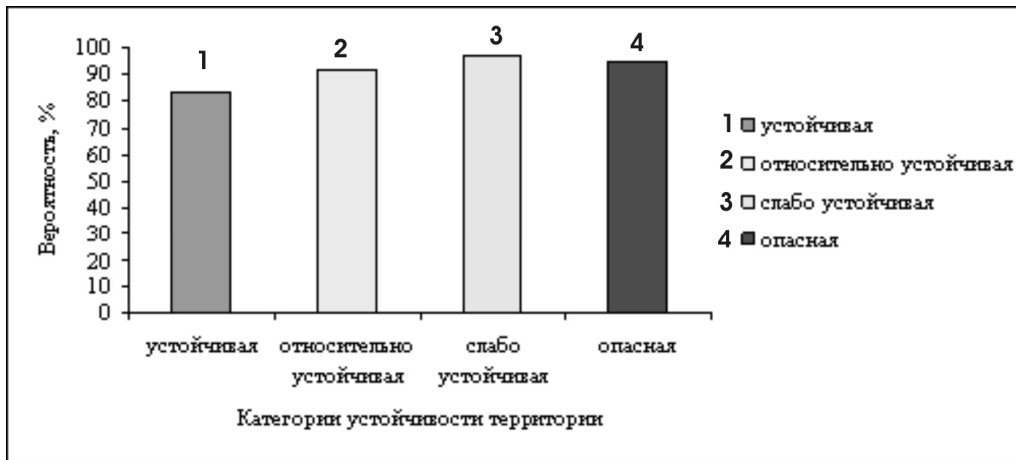


Рис. 1. Вероятность выделения категорий устойчивости

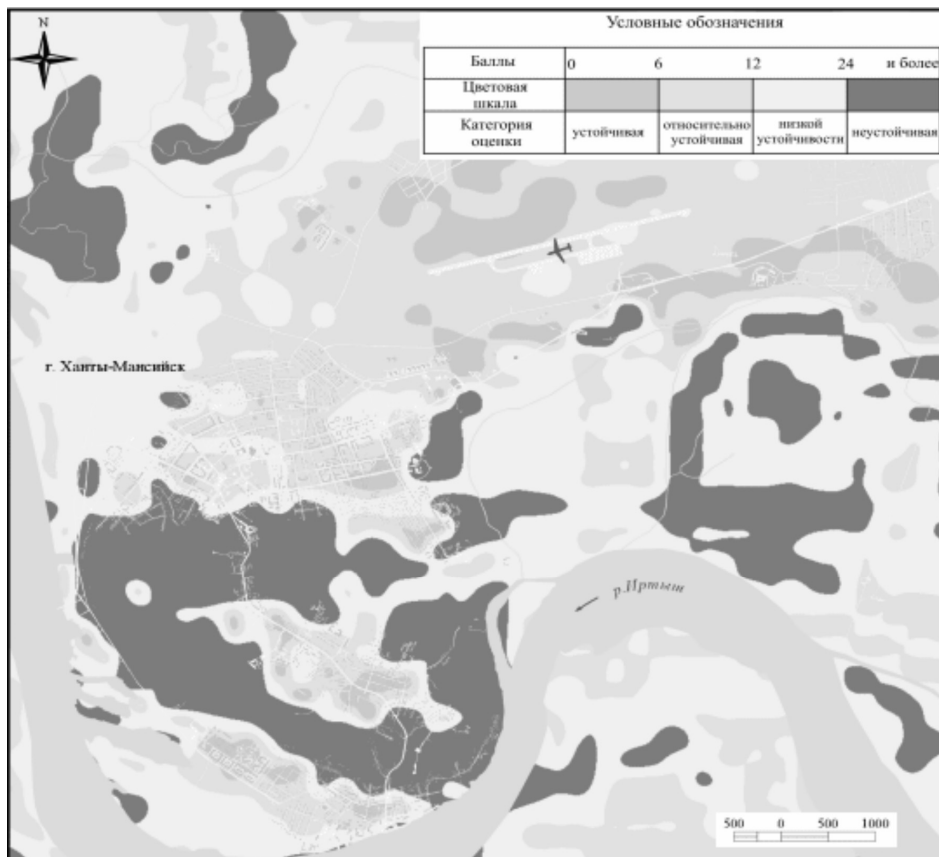


Рис. 2. Карта инженерно-геологического районирования территории

Процесс объединения кластеров продолжается, пока расстояние между кластерами не будет превышать заданный минимум или пока количество кластеров не достигнет заданного числа. Полученные таким образом на обучающей выборке кластеры, можно применять к другим выборкам.

Для каждой точки, не относящейся к обучающей выборке, вычисляется евклидово расстояние r до каждого кластера. Точка приписывается тому классу, для которого это расстояние оказывается наименьшим. Алгоритм был реализован программным как одна из процедур программной системы "AZON".

В результате кластерного анализа по обучающей выборке выделены классы-кластеры, которые затем были применены для всей изучаемой территории и построена интегральная карта.

Построение интегральной карты инженерно-геологического районирования осуществлялось путем под-

счета суммы баллов по средним значениям точек «сетки-грида». Всего было выделено 4 категории участков: устойчивые, относительно устойчивые, низкой устойчивости, неустойчивые (табл. 1). Оценка устойчивости проводилась так же методом экспертных оценок на основании логики причинно-следственных связей и метода аналогий.

На основе кластерного анализа была установлена вероятность выделения категорий устойчивости территории (рис. 1), кроме того, для каждого фактора определялась доля его вклада в категории устойчивости (табл. 2).

Таким образом, из полученных результатов следует, что для построения интегральной карты инженерно-геологического районирования можно эффективно использовать алгоритмы классификации, основанные на кластерном анализе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков, А.М. Геоинформатика. – Тюмень: "Вектор Бук", - 2008.
2. Современные глобальные изменения природной среды: т. I-II, МГУ и РАЕН, "Научный мир", М., 2006. **ПЛАЭ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Зудилин Александр Эдуардович – старший преподаватель кафедры геоинформатики,
Савинцев Иван Андреевич – ассистент кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии.
Уральский государственный горный университет, office@ursmu.ru

