

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ

УДК 656:910(470.345)

И.А. Сёмина, Л.Н. Фоломейкина

ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ В РЕГИОНАЛЬНОМ ИССЛЕДОВАНИИ ТРАНСПОРТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

I.A. SYOMINA, L.N. FOLOMEYKINA
SPATIAL ANALYSIS IN REGIONAL EXPLORATION OF TRANSPORT BY USING
GIS-TECHNOLOGIES

Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева, 430000, Республика Мордовия, г. Саранск, Советская, 24, e-mail: isemina@mail.ru, folomejkina@mail.ru

Исследуется функционирование регионального транспорта с использованием ГИС-технологий. Проводится пространственный анализ развитости дорожной сети Республики Мордовия и воздействия автомобильного транспорта на окружающую среду. Представлена типология административных районов Мордовии по транспортным показателям и степени транспортной нагрузки на территорию.

К л ю ч е в ы е с л о в а: транспортная сеть; густота, плотность сети; ГИС-технологии; влияние транспорта на экологическую ситуацию; ранжирование.

К e y w o r d s: transportation network; density of networks; GIS-technologies; influence of transport on an ecological situation; the ranging.

Геоинформационные системы на транспорте представляют универсальную технологию для работы с пространственными данными. ГИС может решать как «точечные» (привязанные к отдельным транспортным объектам), так и «сетевые» задачи. В первом случае важны описательные характеристики объектов, а во втором – конфигурационные особенности транспортных сетей, связанность и пропускная способность дорог. Соответственно в задачах первого типа используется в основном функциональность базовых ГИС-программ (например, ArcView), в задачах второго типа – специальные программные модули (например, Network Analyst). На разных видах транспорта существуют свои специфические проблемы, которые могут успешно решаться с помощью ГИС.

При развитии автомобильных дорог, которые составляют основу транспортной сети города и региона, применение ГИС-технологий возможно при решении следующих задач [3]:

- планирование (анализ транспортной нагрузки, состояния дорожного полотна);
- проектирование (выбор оптимальных коридоров для строительства новых дорог);
- строительство (отображение состояния строительных проектов и определение приоритетов);
- эксплуатация (анализ различных стратегий проведения ремонтных работ и распределения средств);
- мониторинг передвижения;
- экологизация транспорта.

При комплексном подходе к вопросам развития регионального автомобильного транспорта применим кластерный анализ. Смысл кластеризации в данном случае заключается в разбиении территориальных единиц по множеству показателей на группы. При разбиении требуется, чтобы в один кластер попали наиболее похожие объекты, «однородные», «близкие», а в различные кластеры – наиболее «далекие», «разнородные». Даже при фиксированном числе кластеров существует множество различных способов такого разбиения. Используем расчетные показатели плотности транспортной сети (Энгеля – Юдзуру Като, Ю.И. Успенского, О.В. Попова, Л.И. Василевского) и конфигурационных особенностей сетей административных районов Мордовии (табл. 1).

Интегральная транспортная доступность выражается в часах и представляет время, необходимое для того, чтобы добраться из любого населенного пункта до любого другого (в нашем случае – в пределах административного образования). Коэффициент технической надежности показывает отношение фактической и нормативной скоростей на автомобильных дорогах, имеет

Таблица 1

Показатели развитости дорожной сети административных районов
Республики Мордовия

Районы	ИТД*	КТН**	Показатели морфологии сети		
			Цикломатическое число графа	Индекс Связанности	Индекс формы
Ардатовский	0,72	0,76	1	1,0	3,7
Атюрьевский	0,63	0,63	0	0,9	2,6
Атяшевский	0,73	0,76	3	1,1	2,8
Б.Березниковский	0,57	0,79	4	1,1	3,0
Б.Игнатовский	0,81	0,60	1	1,0	3,4
Дубенский	0,53	0,78	4	1,1	3,0
Ельниковский	0,56	0,88	1	1,0	4,0
Зубово-Полянский	1,13	0,69	10	1,2	4,7
Инсарский	0,67	0,77	1	0,9	2,3
Ичалковский	0,61	0,74	2	1,0	4,6
Кадошконский	0,69	0,70	1	1,0	4,0
Ковылкинский	1,58	0,47	4	1,0	6,0
Кочкуровский	0,68	0,67	5	1,1	2,4
Краснослободский	0,67	0,85	1	1,0	3,2
Лямбирский	0,88	0,82	2	0,9	2,0
Ромодановский	0,54	0,88	1	1,1	5,2
Рузаевский	0,41	0,72	4	1,2	4,1
Старошайговский	0,74	0,71	3	1,1	3,3
Темниковский	0,84	0,74	3	1,1	4,5
Теньгушевский	0,93	0,65	6	1,2	4,1
Торбеевский	0,74	0,74	7	1,2	5,0
Чамзинский	0,52	0,76	7	1,2	6,2
г. Саранск	0,29	0,82	2	1,1	3,3

*ИТД – интегральная транспортная доступность;

**КТН – коэффициент технической надежности

норматив равный 1. Цикломатическое число показывает количество замкнутых циклов графа транспортной сети: чем больше зацикленных участков, тем более надежна дорожная сеть при осуществлении перевозок. Индексы связанности и формы отражают уровень развития транспортной сети. При значении индекса связанности меньше 1 сеть считают слабо связанной, при индексе, равном 1, в сети имеется один замкнутый контур, при индексе больше 1 сеть считают сложной. Индекс формы зависит от размера и конфигурации транспортной сети, в сетях среднего уровня сложности он колеблется от 2 до 4, в наиболее сложных сетях превышает 4.

Предварительно исходные показатели (ИТД, КТН, цикломатическое число графа, индекс связанности, индекс формы, коэффициенты Энгеля, Успенского, Василевского, Попова) нормируем, чтобы привести их к соизмеримому виду. Нормированные показатели образуют матрицу, на основе которой рассчитываются евклидовы расстояния. Все рассчитанные расстояния образуют симметричную матрицу с нулевыми элементами по главной диагонали. На основе матрицы евклидовых расстояний строится «дендрит» (рис. 1) – древовидный неориентированный граф связей территориальных единиц по комплексу обозначенных показателей, который показывает деление административных районов Мордовии на группы. При данном моделировании типологических синтетических характеристик транспортной сети использовался метод Варда, который основывается на анализе дисперсий. Группы выделяются так, чтобы вариация внутри них была минимальной, а между ними – максимальной. По результатам данного моделирования была создана карта (рис. 2).

Для проведения типологии территориальных единиц применим алгоритм оценочной классификации, разработанный В.С. Тикуновым [1], который позволяет использовать ГИС-технологии для создания синтетической карты, представляющей собой моделирование оценочных характеристик. Территориальным носителем информации, как и в первом случае, выбран административный район. Каждый район характеризуется набором следующих показателей: КТН,

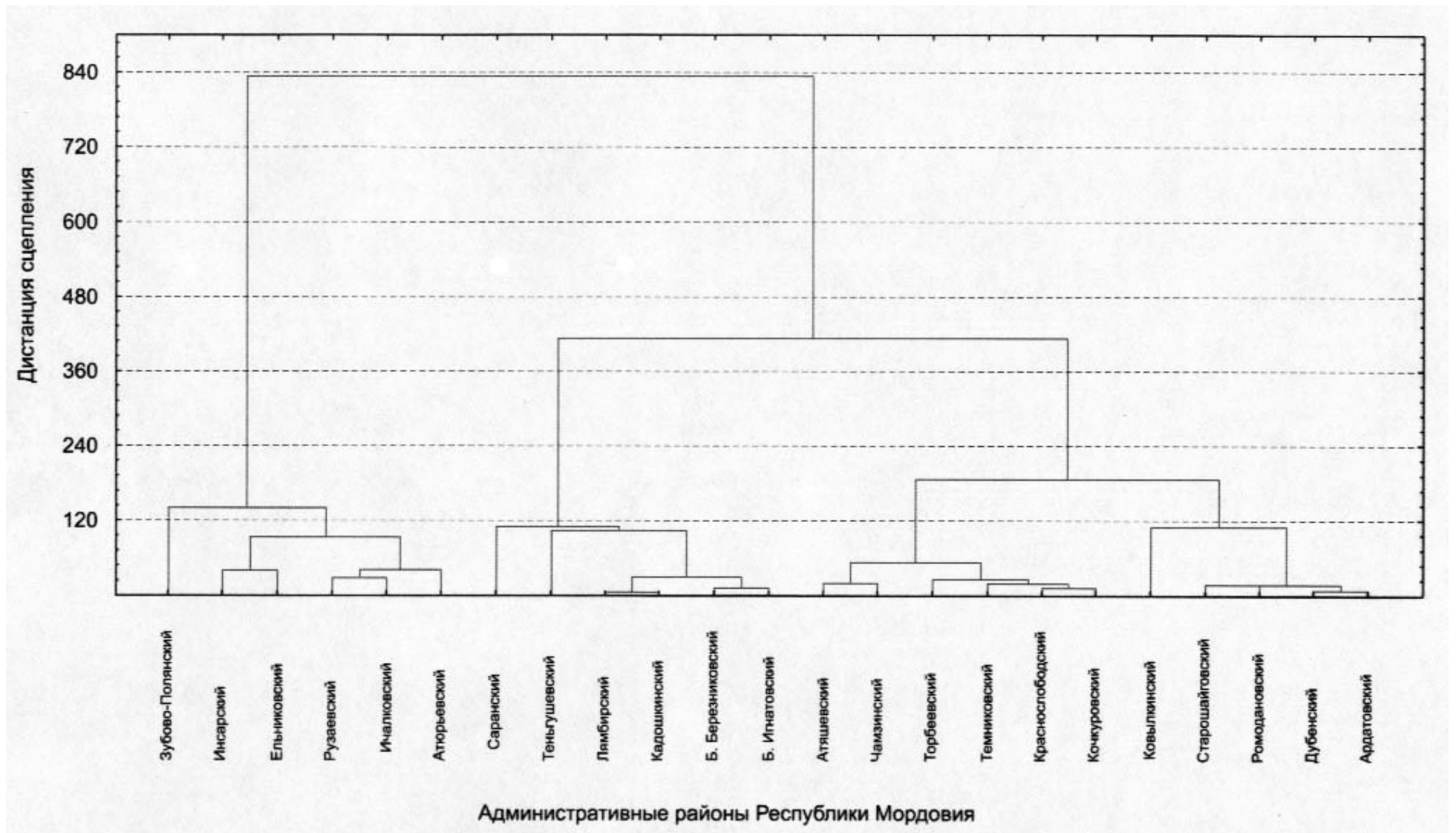


Рис. 1. Дендрограмма, построенная по результатам кластерного анализа (по методу Варда)
(выполнен при участии студентов и преподавателей кафедры геодезии и картографии Мордовского ун-та)



Рис. 2. Деление административных районов Мордовии по показателям развитости и плотности автодорожной сети (по методу Варда)
(выполнен при участии студентов и преподавателей кафедры геодезии и картографии Мордовского ун-та)

пассажиuroоборот автобусов, индекс связанности, цикломатическое число графа, коэффициент Успенского.

Получение интегральных характеристик выполнено на основе вектора размерности $D(n)$. Вектор различий $D(n)$ показывает степень удаленности (близости) всех реальных территориальных единиц от условной, имеющей наилучшие или наихудшие оценочные условия, в нашем случае показывает степень удаленности от условного «наихудшего» района. По значениям интегрального показателя, отражающего комплекс рассматриваемых характеристик автодорожной сети Мордовии, можно наметить пять групп территориальных единиц.

На основе полученных данных с помощью ГИС ArcView построена карта, отражающая территориальные особенности автодорожной сети Республики Мордовия. Данная синтетическая карта (рис. 3) отражает существование пяти типов районов в республике по развитости автодорожной сети и транспортной обслуживаемости: *I тип – развитая, с достаточной обслуживаемостью* (Зубово–Полянский); *II тип – развитая, с недостаточной обслуживаемостью* (Торбеевский, Рузаевский, Чамзинский, Саранский); *III тип – среднеразвитая, с недостаточной обслуживаемостью* (Теньгушевский, Темниковский, Ельниковский, Старошайговский, Ичалковский, Атяшевский, Дубенский, Большеберезниковский, Кочкуровский, Ромодановский); *IV тип – слаборазвитая, с достаточной обслуживаемостью* (Атюрьевский, Краснослободский, Ковылкинский, Кадошкинский, Инсарский, Лямбирский, Ардатовский); *V тип – слаборазвитая, с недостаточной обслуживаемостью* (Большеигнатовский).

Рассмотрим применение геоинформационного подхода при изучении экологических проблем функционирования автомобильного транспорта, когда транспортные магистрали становятся мощным фактором неблагоприятного экологического воздействия на окружающую среду.

Для проведения типологии также используем алгоритм оценочной классификации [1], позволяющий применять ГИС-технологии для создания синтетических карт. В качестве интегрального показателя выступает показатель транспортной нагрузки на территорию. Каждая территориальная единица (административный район) характеризуется набором расчетных показателей: коэффициент Энгеля, коэффициент Успенского, коэффициент Василевского, густота автодорог с интенсивностью движения более 1000 автотранспортных средств в сутки, густота федеральных дорог, показатель автотранспортного загрязнения газотоксичными веществами¹, взвешенная сумма мест с учетом выброса загрязняющих веществ в зависимости от класса опасности, доля дорожных зон ландшафтов¹, ущерб от загрязнения автотранспортом атмосферы².

Показатели нормируем, для чего, используем формулу:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{|x_{ij} - \dot{x}_j|}{|\max/\min x_j - \dot{x}_j|}, \quad i = 1, 2, 3, K, n, \quad (1)$$

$$j = 1, 2, 3, K, m.$$

где n – количество территориальных единиц; m – количество показателей (x_{ij}); \dot{x} – наилучшие (или наихудшие) для каждого показателя оценочные значения; $\max/\min x$ – экстремальные значения показателей, наиболее отличающиеся от величин \dot{x} :

$$\begin{aligned} \max/\min x \equiv \min x & \text{ если } |\min x - \dot{x}| > |\max x - \dot{x}|, \\ \max/\min x \equiv \max x & \text{ если } |\min x - \dot{x}| \leq |\max x - \dot{x}|. \end{aligned} \quad (2)$$

Данное нормирование дает возможность выразить отклонения всей системы показателей от наилучших или наихудших оценочных значений и тем самым правильнее с содержательных позиций соизмерить их между собой. Находим суммарные значения показателей:

¹Представляет собой отношение выброса масс токсичных компонентов загрязняющих веществ к площади территории и численности населения.

¹Отвод дорог под дорожное строительство и придорожную территорию; под дорожной зоной ландшафта будем понимать придорожную территорию, формирующуюся в результате функционирования транспортных путей в природных ландшафтах.

²Рассчитывается по специальной методике и представляет собой денежное выражение ущерба, причиняемого годовыми выбросами загрязнений в атмосферный воздух над изучаемой территорией.



Рис. 3. Территориальные особенности автодорожной сети Мордовии
 (выполнен при участии студентов и преподавателей кафедры геодезии и картографии Мордовского ун-та)

$$S_i = \sum_{j=1}^m \frac{|x_{ij} - \dot{x}_j|}{\max/\min x_j - \dot{x}_j}, \quad i = 1, 2, 3, K, n, \quad (3)$$

$$j = 1, 2, 3, K, m.$$

Такие величины приближенно характеризуют оценочное положение территориальных единиц за счет того, что чем сильнее их показатели отличаются от наилучших значений (\dot{x}), тем величина S_i будет больше, тем хуже синтетическая оценочная характеристика у соответствующей территориальной единицы (и наоборот для наихудших значений). Средние для таксонов величины S_i позволяют дать им качественные характеристики-оценки (например, «очень плохие», «плохие», «хорошие» и т. д.), а также количественно, хотя и в грубой форме, сопоставлять их между собой.

Проблема выбора показателей остается наиболее сложной и в настоящее время. При решении данной проблемы опробовали три варианта систем оценивания показателей. Первый вариант построен на гипотезе о значительной роли показателя автотранспортного загрязнения дорожной сети. Второй вариант рассмотрен с позиций плотностных характеристик сети. Третий предполагает участие всех показателей транспортной нагрузки.

Ранжирование территориальных единиц, достигается вычислением вектора размерности $D^\circ(n)$. Вектор различий $D^\circ(n)$ показывает степень удаленности (близости) всех реальных территориальных единиц от условной, имеющей наилучшие или наихудшие оценочные условия \dot{x} (в нашем случае удаленности от условного «наихудшего» района):

$$d_{ik} = \sqrt{\sum_{j=1}^m (\bar{x}_{ij} - \bar{x}_{kj})^2}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (4)$$

$$k = 1, 2, 3, \dots, n.$$

Ниже приводим три варианта ранжирования административных районов на основе трех информационных массивов, что позволяет сравнить их между собой (табл. 2).

Таблица 2

Классификация административных районов Мордовии при различных вариациях оценки функционирования автомобильного транспорта

Район	$D^\circ(n)$ с позиций оценки воздействия	$D^\circ(n)$ с позиций плотностных характеристик сети	$D^\circ(n)$ При учете всех показателей
Ардатовский	0,4137	0,3812	0,1967
Атюрьевский	1	1	1
Атяшевский	0,4163	0,0968	0
Большеберезниковский	0,9533	0,0499	0,3053
Большеигнатовский	0,8755	0,0492	0,2213
Дубенский	0,2270	0	0,1885
Ельниковский	0,5318	0,5393	0,3238
Зубово-Полянский	0,2957	0,4560	0,3463
Ичалковский	0,6589	0,7038	0,3730
Инсарский	0,7652	0,4135	0,5553
Кадошкинский	0,9676	0,5777	0,3155
Краснослободский	0,3040	0,0470	0,1865
Ковылкинский	0,6278	0,4648	0,3279
Кочкуровский	0,3087	0,3768	0,1762
Лямбирский	0,1115	0,4472	0,1947
Ромодановский	0,5149	0,6510	0,3566
Рузаевский	0,0026	0,5205	0,0635
Старошайговский	0,0835	0,5616	0,4816
Темниковский	0,7056	0,5470	0,2234
Теньгушевский	0,6368	0,1848	0,2008
Горбеевский	0,5019	0,3856	0,2541
Чамзинский	0	0,5924	0,0820

Для того чтобы сделать исследование более комплексным и наглядным, представим графически интегральную оценку транспортного воздействия. Такое графическое представление двух взаимосвязанных ранжировок может анализироваться как совместно, так и порознь. Рисунок 4 позволяет проследить достаточно резкое отличие районов Мордовии по комплексу показателей функционирования автодорожной сети.



Рис. 4. Совмещенное ранжирование районов Республики Мордовия по степени развитости автодорожной сети и показателю воздействия автомобильного транспорта на окружающую среду:

- слева обозначены оценки воздействия автомобильного транспорта на окружающую среду;
- справа – плотностные характеристики транспортной сети

Следующим этапом явилось выделение таксонов. Для этого вычисляли приращения последующих ранжированных значений вектора оценочных характеристик D^o над предыдущими. Из набора (n-1) приращений находили минимальное и связываемые им территориальные единицы объединяли в один таксон. Данное приращение исключали из дальнейшего анализа и отыскивали новое минимальное приращение, которое позволяло сгруппировать еще две территориальные единицы и т.д. В результате такой процедуры получили иерархически упорядоченные между собой таксоны, необходимые для создания оценочной карты.

На основе полученных данных с помощью GIS ArcView построена карта воздействия автомобильного транспорта республики Мордовия на окружающую среду по интегральному показателю (рис. 5). Синтетическая оценочная карта воздействия автомобильного транспорта на

окружающую среду отражает существование трех типов районов в республике: со слабой (I тип), средней (II тип) и сильной (III тип) степенью воздействия. Атюрьевский, Кадошкинский, Большеигнатовский и Большеберезниковский районы составили первый тип, а Рузаевский, Чамзинский, Лямбирский – третий, наиболее проблемный тип районов.

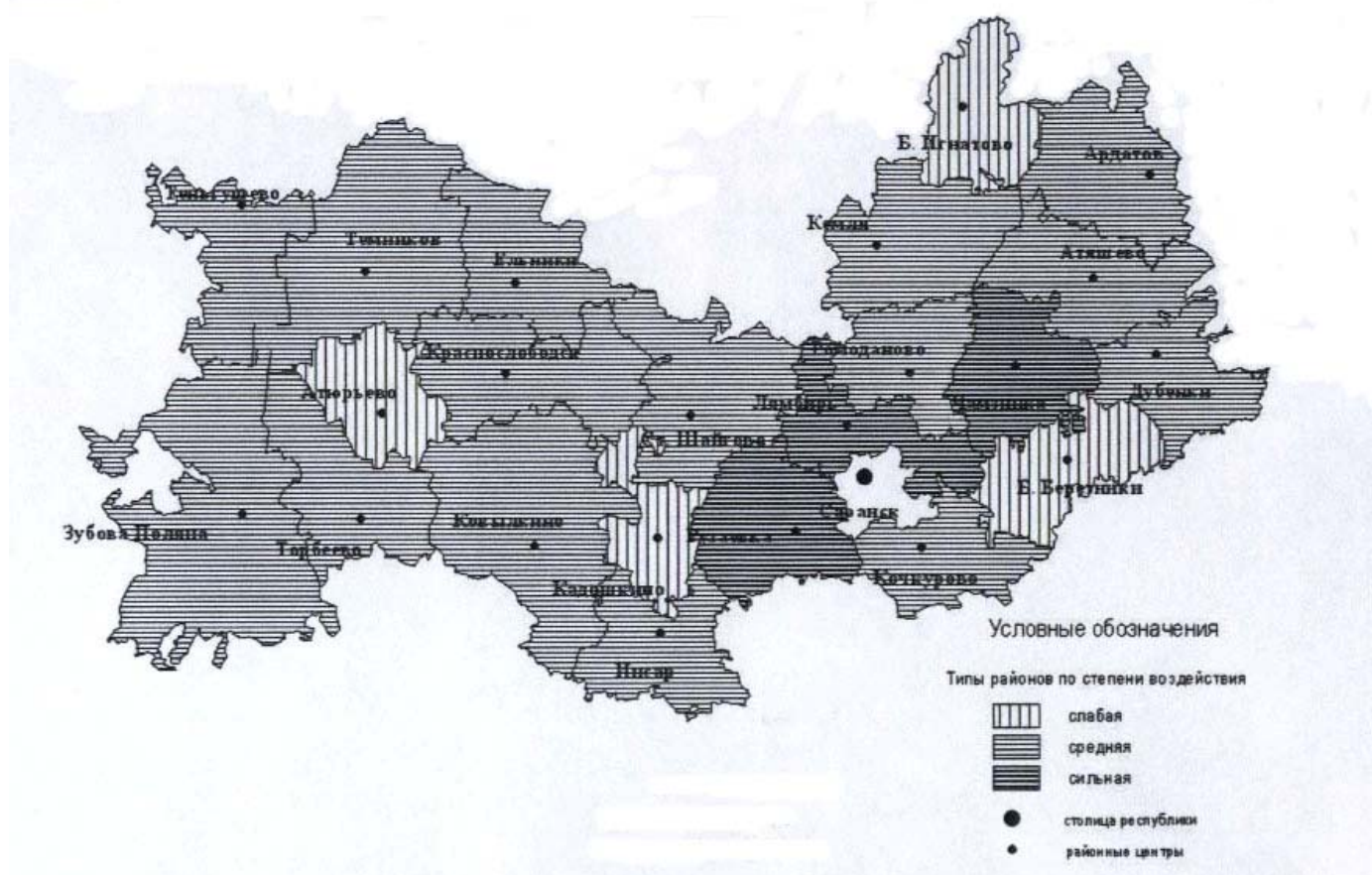


Рис. 5. Типология административных районов Республики Мордовия по степени воздействия автомобильного транспорта на окружающую среду

Проведенное исследование показало, что воздействие автомобильного транспорта на окружающую среду в Республике Мордовия проявляется неравномерно. Особенно воздействие усилено в восточной части республики, так как здесь наибольшая густота автомобильных дорог, интенсивность движения и т.п. Зависит это и от ряда факторов, таких как качество дорожной сети, её техническая оснащённость, загруженность коммуникаций, структура автомобильного потока, скорость транспортных средств, освоенность и озеленённость придорожной полосы.

Предложенное моделирование типологических и оценочных синтетических характеристик дорожной сети Республики Мордовия может быть использовано при решении проблем функционирования автомобильного транспорта региона и при территориальном планировании.

Библиографический список

1. Тикунов В.С. Классификации в географии: ренессанс или увядание? (опыт формальных классификаций). М.-Смоленск: Изд-во СмолГУ, 1997. 367 с.
2. ArcView GIS. Руководство пользователя. ESRI, Inc, 1996. 376 с.
3. ArcREVIEW. Современные геоинформационные технологии. 2003. №1. 96 с.

SUMMARY

Geographic information system (GIS) technologies can be used for working with spatial data on subject of transport. Different kinds of transport are being characterized by their specific functions, which can be determined by using GIS. The problem of data's selection for spatial analysis has special difficulty. In

the abstract several versions of data's estimating are tested. In complex approach for solving problems of regional automobile transport's clustering analysis was applied. Also, estimating indicators of density and configuration of Mordovian administrative districts' transportation network were used.

Researchers of ecological problems caused by automobile transport functioning, usually, use data of pollution rate of motor vehicle and road-net density. In this abstract the authors have used algorithm of estimate classification for construction of territorial unit's typology. On the date base that receives by tools of ArcView GIS-packet, several maps were created. They reflect specifics of Mordovian Republic's road-net and transportation's influence on population life activity.

Proposed modeling of typological and estimating characteristics of Mordovian Republic's roadnet can be used for solving problems of regional automobile transport functioning and spatial governing.