

УДК 6257: 551.582(571.1)+681.3

В.Н. Ефименко, М.С. Барышников

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫМ РАСПРОСТРАНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ ГЕОКОМПЛЕКСОВ ПРИ ДОРОЖНО-КЛИМАТИЧЕСКОМ РАЙОНИРОВАНИИ ТЕРРИТОРИЙ (на примере Тюменской области)

Нормы проектирования транспортных сооружений на территории России дифференцированы дорожно-климатическим районированием, нашедшими отражение в СНиП 2.05.02-85. По мнению ряда специалистов [1-3], существующее дорожно-климатическое районирование, разработанное в середине прошлого столетия, нельзя признать полностью удовлетворяющим требованиям по обеспечению качества проектирования и строительства автомобильных дорог. Каждая дорожно-климатическая зона, особенно II, имеет огромную протяженность с Запада на Восток и является единым географическим целым, но объединяет районы с различными климатическими и природными условиями.

В связи с отмеченным, в настоящее время на территории России выполняются исследования по уточнению границ дорожно-климатических зон (ДКЗ) [4, 5]. При этом исследователи, как правило, применяют метод наложения схем покомпонентного районирования, учета геокомплексов азонального, зонального, инразонального и регионального характера. Этот метод отличают громоздкость, большие трудозатраты, необходимость привлечения специалистов различного профиля.

Решение задач, связанных с районированием отдельных территорий, можно осуществлять как путем совершенствования существующего опыта, так и с привлечением новых приемов, в частности, математических. Существенный прогресс в этом направлении может быть достигнут на пути формализа-

ции понятий и действий районирования и выработки на этой основе ряда общих, унифицированных правил исследования. Такая унификация методики позволит добиться большей определенности результатов районирования, их воспроизводимости и сравнимости между собой, а также увеличения их теоретической и практической значимости.

Процесс районирования представляет собой сложную систему, состоящую из ряда взаимосвязанных элементов, таких, например, как выбор модели представления, масштаба исследования, вида первичных объектов наблюдения, способов размещения и описания этих

объектов, а также последующей обработки данных и интерпретации результатов. Разнородность выделенных элементов создает различные возможности для формализации. В то же время обращение к formalизованным приемам даже на отдельных этапах районирования вследствие взаимосвязи элементов, влечет за собой перестройку всей системы (процесса районирования) в целом.

Поэтому в исследованиях, проводимых с помощью formalизованных методов важное место занимает увязка всех элементов районирования, на каждом из этапов, переложение задач районирования на математический язык, выработка

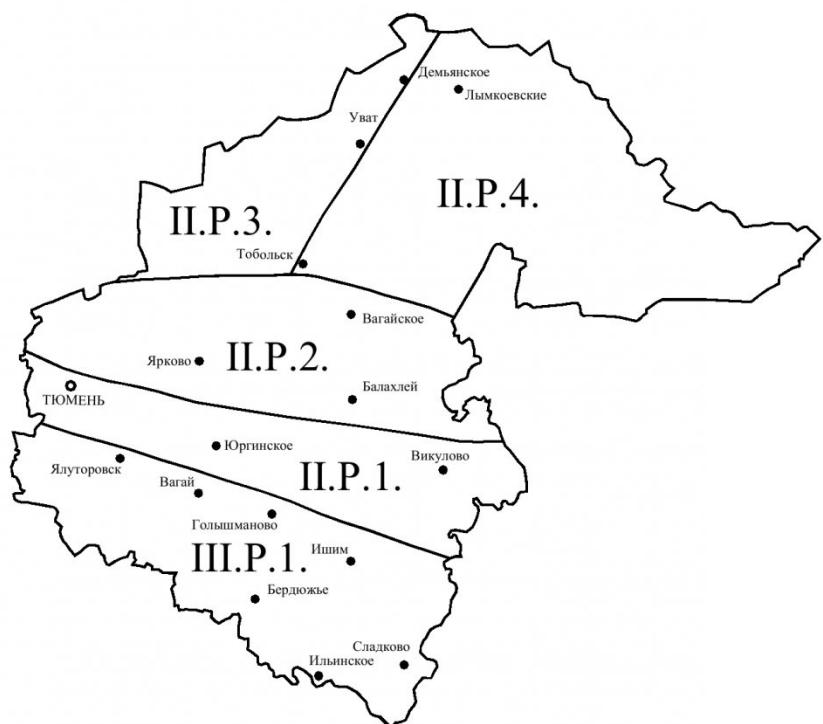


Рис.1. Проект схемы дорожно-климатического районирования Тюменской области, полученной по методу наложения (традиционный путь районирования): II, III, - дорожно-климатические зоны; R - подзона по типам рельефа (равнинный); 1, 2, 3, 4 - номера дорожных районов

подходов к интерпретации результатов. Только при удовлетворительном решении названных методических задач применение математических приемов будет успешным [6].

В качестве примера рассмотрим дорожно-климатическое районирование территории Тюменской области, выполненное по традиционному методу наложения схем покомпонентного районирования и с привлечением математических методов.

Метод наложения схем покомпонентного районирования заключается в следующем. На начальном этапе составляют схемы районирования изучаемой территории отдельно по каждому фактору: зонального (влажненность территории, распространение растительности, осадки, высота снежного покрова, глубина промерзания почвы), интразонального (инженерно-геологическое районирование) и регионального характера (распространение болот). Анализ комплекса этих факторов позволил выделить на территории Тюменской области 5 дорожных районов (рис.1). За основу разделения территории Тюменской области при дорожном районировании принята таксономическая система: зона – подзона – район. При этом дорожный район представляет собой генетически однородную территорию, характеризуемую типичными, свойственными только ей климатом, геологией, рельефом местности и другими физическими условиями [7]. Внутри дорожного района, однотипные дорожные конструкции (земляное полотно и дорожные одежды) должны характеризоваться однородной прочностью (способностью выдержать нагрузки без нарушения их сплошности) и устойчивостью (способностью изменять свое состояние так, чтобы связанные с этими изменениями деформации не превосходили допустимые) [8].

Вместе с тем, при уточне-

Таблица 1
Исходные данные для районирования территории
Тюменской области (зональные факторы)

Населенный пункт	Увлажненность, мм	Среднегодовая температура воздуха, °C	Высота снежного покрова, см	Типы растительности
Демьянское	-0,6	-0,8	45	средней тайги
Уват	-5,9	-0,9	41	южной тайги
Тобольск	-4,4	0	44	южной тайги
Вагайское	-4,5	-0,2	35	подтайги
Ярково	-7,3	0,3	36	подтайги
Балахлей	-6,4	-0,1	37	подтайги
Тюмень	-7,3	1,3	34	подтайги
Юргинское	-10,2	0	35	подтайги
Викулово	-3,0	0,1	32	подтайги
Ялуторовск	-13,7	0,3	30	подтайги
Вагай	-11,1	0,3	27	лесостепи
Гольшманово	-10,5	0,1	26	лесостепи
Ишим	-14,0	-0,1	25	лесостепи
Бердюжье	-14,3	0,2	28	лесостепи
Сладково	-14,2	0,1	26	лесостепи
Ильинское	-16,7	0,2	26	лесостепи

ние положения границ дорожно-климатических зон и подзон Тюменской области также были реализованы методы математического моделирования. При этом к анализу были принятые следующие факторы: *зональные* – увлажнение территории, среднегодовая температура воздуха, высота снежного покрова и распространение растительности (табл. 1); *интразональные* – граница текучести и граница раскатывания грунтов, процентное содержание песчаной, пылеватой и глинистой фракций (табл. 2); *региональные* – распространение различных типов болот.

Заметим, что в качестве исходных можно применять не только данные, сформированные непосредственно при полевых наблюдениях и натурных испытаниях, но и результаты прогноза. Например, определение прогнозируемой влажности можно осуществить по методу проф. И.А. Золотаря [1].

Обработка собранной информации была выполнена по следующему алгоритму.

Математические алгоритмы классификации осуществляют операции над векторами. По-

этому все исходные данные были представлены в виде матрицы информации следующего вида:

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ \dots \\ X_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1m} \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

Здесь в строке располагается единообразная последовательность характеристик, в вертикальном столбце – фиксированная последовательность изучаемых объектов; *m* - число признаков; *n* - число объектов; *x_{ij}* - значение *j*-го признака в *i*-ом объекте .

Поскольку выделение дорожно-климатических зон и подзон ведется по зональной и интразональной группе факторов, то резонно предположить, что можно выделить некие главные факторы, один из которых характеризовал бы зональную, а другой интразональную группу факторов .

Существует, по крайней мере, три основных типа принципиальных предпосылок, обуславливающих возможность перехода от большего числа исходных показателей анализируемой системы к существенно

меньшему числу наиболее информативных переменных. Это, во-первых, дублирование информации, доставляемой сильно взаимосвязанными признаками; во-вторых, неинформативность признаков, мало меняющихся при переходе от одного объекта к другому (малая "вариабельность" признаков); в-третьих, возможность агрегирования, т.е. простого или "взвешенного" суммирования, по некоторым признакам [9].

Для того чтобы выделение главных факторов было правомерным, предварительно необходимо удостовериться в справедливости хотя бы одной из вышеперечисленных предпосылок. При положительном результате можно приступить непосредственно к выделению главных факторов посредством процедуры факторного анализа.

Далее рассмотрим корреляции между изучаемыми переменными и выделенными факторами (или "новыми" переменными). Эти корреляции называются факторными нагрузками. Однако, могут возникнуть некоторые трудности, связанные с интерпретацией полученных значений факторных нагрузок, т.е. с невозможностью четко определить, какой фактор характеризует ту или иную группу исходных признаков.

Для устранения этих трудностей можно воспользоваться одним из так называемых методов вращения факторов [9]. Мы можем изобразить факторные нагрузки в виде диаграммы рассеяния. На этой диаграмме каждая переменная представлена точкой. Можно повернуть оси в любом направлении без изменения относительного положения точек; однако действительные координаты точек, то есть факторные нагрузки, должны, без сомнения, меняться. Для этого можно воспользоваться методом варимакс.

Таким образом, выделив главные факторы, один из которых характеризует зональную, а другой интразональную группы



Рис. 2. Схема деления территории Тюменской области по зональным факторам с применением математического моделирования

факторов, мы подходим вплотную к выделению однородных участков отдельно по каждому из них.

Предположим, что на плоскости с координатами x и y заданы значения непрерывной скалярной переменной u , причем

$$u=f(x,y) + \varepsilon, \quad (2)$$

где $f(x,y)$ - функция координат; ε - случайная переменная [10].

В целом такая модель называется моделью аддитивного случайного поля. В нашем случае в качестве переменной u выступают найденные главные факторы. Требуется дать оценку функции $f(x,y)$ в известных предположениях относительно ε .

При определении вида функции $f(x,y)$ за основу возьмем полиномиальную модель с добавлением дополнительного члена для лучшего описания переменной u :

$$\begin{aligned} f(x,y) = & a_{00} + a_{10}x + a_{01}y + a_{11}xy + \\ & + a_{20}x^2 + a_{02}y^2 + a_{21}x^2y + a_{12}xy^2 + \text{доп.} \end{aligned} \quad (3)$$

Решение задачи сводится к нахождению неизвестных коэффициентов a_{ij} . Для этого воспользуемся процедурой нелинейного оценивания или нелинейной регрессии.

После выбора модели возникает вопрос: каким образом

можно оценить эту модель? Для этого воспользуемся методом наименьших квадратов. Основной смысл этого метода заключается в минимизации суммы квадратов отклонений наблюдаемых значений зависимой переменной от значений, предсказанных моделью, т.е. в минимизации функции потерь следующего вида:

$$F = \sum (Obs_i - Pred_i)^2, \quad (4)$$

где Obs_i - наблюдаемые значения зависимой переменной; $Pred_i$ - предсказанные значения.

Определив коэффициенты a_{ij} , мы можем построить график линий уровня функции $f(x,y)$, которые и будут являться границами однородных участков по переменной u . Так как переменная u является главным фактором, характеризующим зональную либо интразональную группу признаков, то выделенные однородные участки будут разбивать изучаемую территорию соответственно на дорожно-климатические зоны либо подзоны.

В заключение, чтобы получить единую картину разбиения изучаемой территории на дорожно-климатические зоны и подзоны, остается только наложить две полученные схемы друг на друга.

В результате моделирования получены следующие схемы



Рис. 3. Схема деления территории Тюменской области по интразональным признакам с использованием математического моделирования

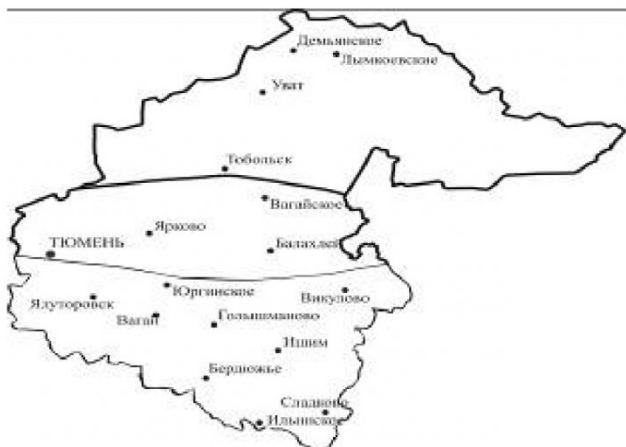


Рис. 4. Схема деления территории Тюменской области с учетом региональных факторов

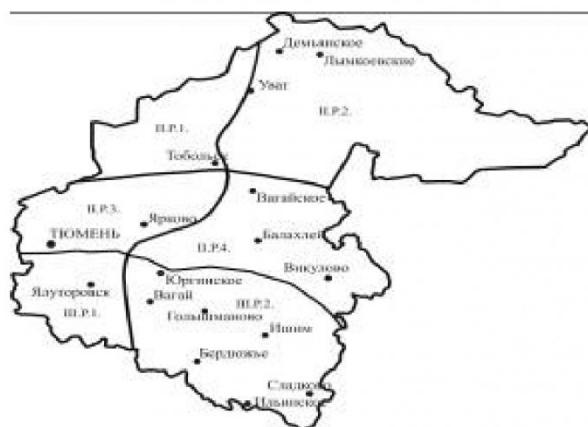


Рис. 5. Проект схемы дорожно-климатического районирования территории Тюменской области, полученной с использованием математических методов: II, III - дорожно-климатические зоны; Р - подзона по типам рельефа (равнинный); I, 2, 3, 4 - номера дорожных районов

мы районирования территории Тюменской области (рис. 2 – 5).

Сравнивая дорожно-климатическое районирование территории Тюменской области (рис. 5), приведенное в СНиП 2.05.02-85 (см. п. 6.3 и приложение 1) и проект схемы, представленной на рис. 1, отметим, что граница II и III дорожно-климатических зон, выделенная пунктами «Кыштым – Томск – Канс», проходит значительно

южнее ранее выделенной (рис. 1) на западе области и фактически совпадает на востоке.

Представленные результаты по районированию территории Тюменской области с привлечением математических методов свидетельствуют о более полном отражении естественной пространственной дифференциации ландшафтной оболочки. Это связано с тем, что рассматриваемый нами метод позволяет

учитывать большое количество факторов и сводит к минимуму субъективное влияние исследователя. Можно предположить, что уточнение границ дорожно-климатических зон по рассмотренной схеме позволит повысить надежность транспортных сооружений уже на стадии проектирования и будет способствовать снижению эксплуатационных расходов.



Рис. 6. Дорожно-климатическое районирование территории Тюменской области по СНиП 2.05.02-85

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд. Под ред. проф. И.А. Золотаря, Н.А. Пузакова, В.М. Сиденко. –М.: Транспорт, 1971. – 416 с.
2. Определение расчетной влажности земляного полотна автомобильных дорог с помощью теории вероятности/ Бирюля А.К., Сиденко В.М.// Автомобильные дороги, 1957. № 12 –С. 24-25.
3. Технические условия проектирования и строительства дорог следует районировать/ Кудрявцев

М.Н./ Автомобильные дороги, 1959 -№ 9

4. Ефименко В.Н., Барышников М.С. Математические подходы к уточнению границ дорожно-климатических зон./ Автомобильные дороги №2 (9). Омск, 2004 - С. 16-18.
5. Гулько О.Н. Дорожно-климатическое районирование территории Крайнего Севера Европейской части России с наличием многолетнемерзлых грунтов. Автореф. дис. канд. тех. наук. М.: МАДИ(ГУ), 2005г – 26с.
6. Куприянова Т.П. Принципы и методы физико-географического районирования с применением ЭВМ. - М.: Наука, 1977.
7. Сиденко В.М., Батраков О.Т., Волков М.И. и др. Автомобильные дороги (Совершенствование методов проектирования и строительства). –Киев: Будивельник, 1973. –278 с.
8. Хархута Н.Я., Васильев Ю.М. Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог. - М.: Транспорт, 1975.-288 с.
9. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности: Справ. изд. / С.А. Айвазян, В.М. Бухштабер и др. Под ред. С.А. Айвазяна. - М.: Финансы и статистика, 1989.-607 с.
10. Боровко Н.Н. Статистический анализ пространственных геологических закономерностей. - Л.: Недра, 1971.-173.

Авторы статьи:

Ефименко Владимир Николаевич - докт.техн.наук, проф., зав. каф. «Автомобильные дороги» (Томский государственный архитектурно- строительный университет)	Барышников М.С. - аспирант каф. «Автомобильные дороги» (Томский государственный архитектурно-строительный универ- ситет)
--	--