

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

---

**Факультет географии и экологии**

**ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ В  
РАСТРОВЫХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ  
СИСТЕМАХ**

**Учебно-методическое пособие**

**КАЗАНЬ – 2007**

Составители:

доктор биологических наук, доцент А.А.Савельев,  
старший преподаватель С.С.Мухарамова,  
старший преподаватель А.Г.Пилюгин

Данное учебно-методическое пособие разработано для студентов естественных факультетов, изучающих курс «ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ. ЧАСТЬ 1». Его цель - показать, как геоинформационные системы, основанные на **растровой** модели представления пространственных данных, используются для анализа и моделирования пространственно-распределенных явлений, изучаемых, например, в таких областях как физическая география, гидрология, почвоведение, в науках об окружающей среде.

Кратко даются основные понятия и определения, касающиеся растровых ГИС. Приводятся традиционно различаемые классы операций над растровыми слоями. Основное внимание уделяется рассмотрению методов, позволяющих на основе анализа и обработки существующих растровых картографических слоев с помощью различных операций и их комбинаций получить новые картографические слои. В меньшей степени внимание уделяется методам организации и хранения данных, а также картографической визуализации.

Изучаемые операции разбираются на примере решения различных задач для некоторой модельной территории с использованием разнообразной тематической пространственно-распределенной информации, представленной на растровой модели данных.

Печатается по решению учебно-методической комиссии факультета географии и экологии.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

РАСТРОВАЯ МОДЕЛЬ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ	4
Геометрия растровой модели	4
Растровые слои	5
Типы атрибутивных данных	7
ДААННЫЕ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ	8
Исследуемая территория. Модель представления данных	8
Картографические слои	8
ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РАСТРОВЫХ СЛОЕВ	10
Визуализация растровых слоев со скалярными данными	10
Визуализация растровых слоев с номинальными данными	10
ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ В РАСТРОВЫХ ГИС	11
Алгебра карт	11
Арифметические операции	12
Операции сравнения	12
Логические операции	13
Операции перекодировки	14
Условный оператор	16
Задание	16
Операции с объектами	17
Операция выделения и идентификации связных объектов	17
Вычисление площадей объектов	18
Вычисление статистик для объектов	18
Задания	20
Операции, учитывающие пространственный контекст	20
Скользящее окно и операции в нем	20
Дистанционное преобразование	22
Анализ рельефа	24
Зоны видимости	25
Крутизна и экспозиция склонов	25
Направление локальных потоков (LDD)	26
Дренажный анализ - определение нисходящих потоков	27
Задания	28

## РАСТРОВАЯ МОДЕЛЬ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

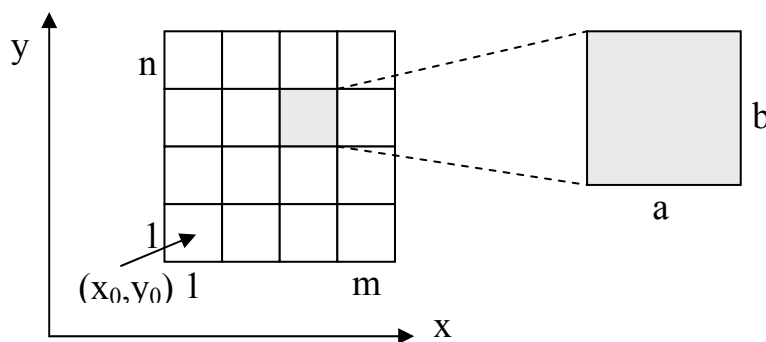
Основой представления пространственной информации, как в векторной, так и в растровой модели данных, являются дискретные операционно-территориальные единицы (ОТЕ). Каждая ОТЕ является пространственным объектом, для которого предполагается однородность имеющейся о нем атрибутивной информации с точки зрения изучаемого явления.

В растровой модели данных ОТЕ соответствуют ячейкам регулярной или нерегулярной сетки, которая полностью покрывает всю территорию исследования. Размеры ячейки предполагаются существенно меньшими характерного размера представляемых пространственных объектов и явлений. Наиболее популярным является использование регулярных прямоугольных сеток, ячейки которых в картографической проекции являются квадратами или прямоугольниками.

### Геометрия растровой модели

Геометрические (пространственные) характеристики растровой модели задаются указанием:

- 1) координат центра левой нижней ячейки сетки в декартовой системе координат проекции -  $(x_0, y_0)$ ;
- 2) размера ячейки -  $a$  по горизонтали и  $b$  по вертикали (в единицах измерения);
- 3) размера сетки - число строк  $n$  и число столбцов  $m$ .



Координаты центра ячейки, расположенной в  $i$ -ой строке и  $j$ -ом столбце сетки, определяются как  $(x_0 + (j-1) \cdot a, y_0 + (i-1) \cdot b)$ . Номер строки и номер столбца ячейки  $(i, j)$  иногда называют ее координатами в единицах растра.

## Растровые слои

Для представления пространственно-распределенной информации в каждой ячейке сетки, рассматриваемой как двумерный массив, записывается значение некоторого атрибута. Такое представление называется *растровым слоем*. Два вида пространственно-распределенной информации может быть представлено на растровых слоях. Это информация об объектах, расположенных на исследуемой территории, и информация о свойствах самой территории.

2	2	1	1	1	...	0	Нет объекта
2	2	1	1	1	...	1	Сельхозугодья
0	4	4	4	4	...	2	Леса
0	4	1	1	1	...	4	Автодороги
...	...	...	...	...	...		

305	304	307	307	308	...	Отметки высот (м)
302	300	298	299	301	...	
299	298	296	300	301	...	
297	296	295	294	295	...	
...	...	...	...	...	...	

Иногда в простейшем случае для представления информации достаточно обычного перечисления всех ячеек с указанием их пространственного положения (координат центра ячейки) и соответствующей им атрибутивной информации.

X	Y	АТРИБУТ 1	АТРИБУТ 2	АТРИБУТ 3
Значение	Значение	Значение	Значение	Значение
Значение	Значение	Значение	Значение	Значение
...	...	...	...	...

Такое представление используется во многих геоинформационных системах и позволяет проводить большинство операций, связанных в первую очередь с атрибутивной информацией.

Если на территории необходимо представить объекты, занимающие значительную площадь (т.е. требующие большого числа ячеек для представления) и (или) покрывающие не всю территорию (например, населенные пункты), то эффективнее в этом случае:

- 1) выделить растровый слой для представления пространственных характеристик объектов, используя в качестве атрибута уникальные идентификационные номера объектов;

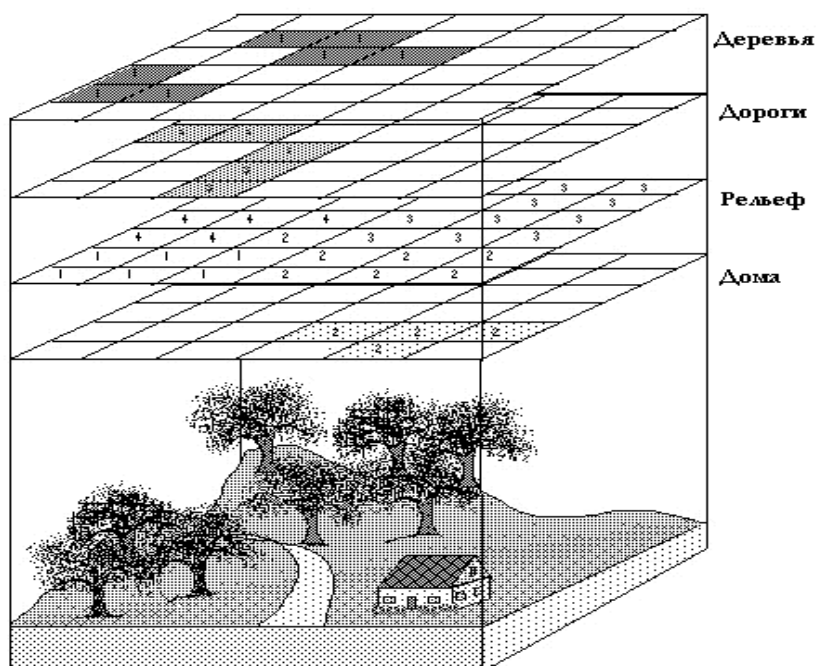
2) атрибутивную информацию представить в виде таблицы идентификаторов всех объектов с соответствующей атрибутивной информацией об объектах. Связь между ячейками, представляющими объект, и атрибутами объекта осуществляется с использованием идентификационного номера (ID) объекта. Например, ниже приведено представление трех объектов с идентификационными номерами 1, 2 и 3 в растровой модели, представляющей собой регулярную сетку 5×5 ячеек. Объекты 2 и 3 являются связными, а объект 1 – несвязным (состоящим из двух фрагментов):

1	1	2	2	2
1	2	2	2	3
2	2	3	3	3
3	3	3	3	1
3	3	3	1	1

Атрибутивная информация в этом случае представляется в виде самостоятельного набора записей:

ID	АТРИБУТ 1	АТРИБУТ 2
1	Значение	Значение
2	Значение	Значение
3	Значение	Значение

Если же необходимо представить большое число различных объектов, покрывающих всю территорию, причем каждый из них требует для представления лишь небольшого числа ячеек, либо требуется представить некоторое явление, распределенное по всей территории, то предпочтительным будет представление в виде отдельных растровых слоев:



## Типы атрибутивных данных

Атрибутивная информация, представленная на растровых слоях, может относиться к тому или иному типу данных, или к той или иной шкале измерения – номинальной (категорийной, качественной), ординальной (порядковой) или скалярной (количественной).

*Скалярные* переменные определяют величины, измеряемые на некоторой относительной или абсолютной шкале. Они могут быть непрерывные или дискретные. Скалярные величины могут сравниваться, упорядочиваться, складываться, вычитаться и т.д. В качестве примера непрерывных переменных можно привести температуру, а дискретных – численность населения.

*Ординальные* переменные имеют упорядоченные категории и могут сравниваться между собой. Например, ординальная переменная "степень присутствия вида" может иметь категории "вид отсутствует", "вид присутствует", "вид содоминирует", "вид доминирует". К таким переменным можно отнести различные балльные или экспертные оценки с очевидным упорядочением значений.

*Номинальным* переменным свойственны наименования их категорий, которые никак естественным образом не упорядочиваются. Например, номинальная переменная "лесные формации", которая может иметь категории "дубравы", "липняки", "осинники", "березняки", "сосняки", "ельники". Если в номинальных шкалах используются числа, то они служат только для различения отдельных возможностей, заменяя названия и имена. Никаких соотношений, кроме равенства или неравенства, между такими значениями нет.

Если на растровом слое представлены объекты с использованием в качестве атрибута их идентификаторов, то такую информацию можно рассматривать как номинальную. И наоборот, если некоторое свойство территории представлено номинальной переменной (например, тип почвы), то совокупности ячеек с одинаковыми ненулевыми значениями можно интерпретировать как объекты.

Шкалы могут приводиться одна к другой: скалярная шкала – к ординальной или номинальной, ординальная шкала – к номинальной. Приведение одной шкалы к другой называют понижением шкалы; оно ведет к потере некоторой части информации об изучаемых признаках. Обратные операции считаются некорректными. Понижение шкал необходимо при анализе переменных, измеренных в разных шкалах.

Тип данных, представленных на растровых слоях определяет, какими методами эти слои могут быть обработаны, а также визуализированы.

# ДАННЫЕ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ

## Исследуемая территория. Модель представления данных

Рассмотрим некоторую территорию по форме представляющую собой в картографической проекции квадрат со стороной 51 км. Пусть в декартовой системе координат проекции имеем:

- координаты левого нижнего угла  $X_1=584\ 000$  м,  $Y_1=111\ 000$  м;
- координаты правого верхнего угла  $X_2=635\ 000$  м,  $Y_2=162\ 000$  м.

Общая площадь территории -  $2601\text{ км}^2$ .

Для изучаемой территории собрана различная тематическая (атрибутивная) информация, для представления которой используется растровая модель данных. Вся территория разбита на совокупность ячеек регулярной прямоугольной сетки размером  $511 \times 511$  ячеек. Центры угловых ячеек соответствуют углам квадрата территории. Размер каждой ячейки -  $100 \times 100$  м. Атрибутивная информация соотнесена с центрами ячеек сетки.

## Картографические слои

Каждый атрибут представлен в виде отдельного растрового слоя. Всего для исследуемой территории даны 13 растровых (сеточных) слоев. Каждый слой определяет пространственное распределение значений соответствующей атрибутивной переменной номинального или скалярного непрерывного (вещественного) типа.

Имя файла	Содержание	Тип данных
topo.lay	цифровая модель рельефа (м)	непрерывные
geol.lay	абсолютные отметки кровли подстилающей геологической поверхности (м)	непрерывные
water.lay	местоположение водотоков и водоемов	номинальные
tree.lay	местоположение лесов	номинальные
road.lay	местоположение дорог	номинальные
build.lay	местоположение строений	номинальные
soil.lay	типы почв	номинальные
rain.lay	распределение годовой суммы осадков (мм/год)	непрерывные
rainstorm.lay	распределение ливневых осадков (мм/год)	непрерывные
logging.lay	местоположение вырубок	номинальные
dump.lay	местоположение складов	номинальные
well.lay	местоположение колодцев (скважин)	номинальные
firestat.lay	местоположение пожарных станций	номинальные



Для номинальных переменных приведем их кодовые таблицы:

Имя файла	Код	Значение
water.lay	0	суша
	1	водоток
	2	водоем
tree.lay	0	нет леса
	1	дубравы
	2	липняки
	3	осинники
	4	березняки
	5	сосняки
	7	культуры дуба
	8	культуры ели
	9	культуры сосны
road.lay	0	нет дороги
	1	грунтовая
	2	шоссе
build.lay	0	нет
	1	селитьба
	2	промзона
	3	свалка
	4	карьер
soil.lay	1	водоток
	2	водоем
	3	дерново-подзолистые
	4	дерново-карбонатные типичные
	5	дерново-карбонатные оподзоленные
	6	светло-серые лесные
	7	серые лесные
	8	темно-серые лесные
	9	черноземы оподзоленные
	10	черноземы выщелоченные
	11	черноземы типичные
	12	лугово-черноземные
	13	торфяно-болотно-низинные
	14	лугово-болотные
	15	солодь лугово-болотная
19	аллювиальные дерново-насыщенные	
logging.lay	0	нет
	1	есть
dump.lay	0	нет
	1	есть
well.lay	0	нет
	1	есть
firestat.lay	0	нет
	1	есть

# ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РАСТРОВЫХ СЛОЕВ

## Визуализация растровых слоев со скалярными данными

Пусть на растровом слое представлено пространственное распределение значений некоторой атрибутивной переменной  $Z$  скалярного типа. Картографическое представление (визуализация) такого растрового слоя осуществляется следующим образом. По всем ячейкам сетки ищутся минимальное и максимальное значения атрибута –  $Z_{\min}$  и  $Z_{\max}$  ( $Z_{\min}$  и  $Z_{\max}$  могут и просто задаваться). Выбирается число классов  $k$ , на которое делится интервал ( $Z_{\min}, Z_{\max}$ ). С каждым классом соотносится свой цвет - для первого и последнего класса цвет должен быть задан, для всех же остальных классов значение цвета определяется автоматически по спектру. Цвет может быть задан и индивидуально для каждого класса. Таким образом, создается *легенда*. Далее при визуализации каждая ячейка растровой сетки окрашивается цветом, который соответствует тому классу, в который попадает значение переменной  $Z$  в этой ячейке.

## Визуализация растровых слоев с номинальными данными

Для картографического представления (визуализации) растровой информации номинального типа создается легенда, где каждому из возможных значений переменной задается свой цвет. При визуализации слоя каждая ячейка сетки окрашивается цветом, который соответствует значению переменной в данной ячейке.

## ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ В РАСТРОВЫХ ГИС

Одно из основных преимуществ растровой модели – это относительная простота выполнения различных аналитических операций. На основе анализа и обработки существующих растровых слоев с помощью различных операций и их комбинаций могут быть получены (вычислены) новые слои. Будем различать следующие классы операций над растровыми слоями:

- *алгебра карт,*
- *операции с объектами,*
- *операции, учитывающие пространственный контекст.*

Отметим, что любая операция над двумя растровыми слоями может быть выполнена только в том случае, если оба слоя имеют одинаковые геометрические характеристики: координаты центра левой нижней ячейки сеток, размеры ячеек должны быть одинаковы, в слоях должно быть одинаковое количество строк и столбцов.

### Алгебра карт

Операции алгебры карт (их еще называют точечными операциями или локальными операциями) осуществляют анализ и вычисление отдельно в каждой ячейке растровой сетки; результат операции не зависит от значений в соседних ячейках. Эти операции создают новый растровый слой из одного или нескольких входных слоев, причем значение ячейки нового слоя зависит только от значений ячеек входных слоев, имеющих те же растровые координаты.

Алгебра карт обеспечивает исследователей большими функциональными возможностями для конструирования сложных алгоритмов анализа растровых пространственных данных, позволяя создавать модели пространственного распределения феноменов.

В зависимости от типа атрибутивных данных новые слои могут быть получены с помощью *арифметических* операций, *логических* операций, операций *сравнения*, *условного оператора*, а также *перекодировкой* на базе перекодировочных таблиц. Обратите внимание, что применение, например, арифметических операций требует наличия скалярной шкалы измерений. Если значениями ячеек являются коды, бессмысленно применять к ним арифметические или статистические функции.

## Арифметические операции

$Z1, Z2$  – входные слои скалярного типа

$Z3$  – новый слой скалярного типа

$Z3=Z1+Z2$	сложение
$Z3=Z1-Z2$	вычитание
$Z3=Z1*Z2$	умножение
$Z3=Z1/Z2$	деление
$Z3=Min(Z1,Z2)$	значение в ячейке результирующего слоя $Z3$ будет равно меньшему из значений в этой ячейке слоев $Z1$ и $Z2$
$Z3=Max(Z1,Z2)$	значение в ячейке результирующего слоя $Z3$ будет равно большему из значений в этой ячейке слоев $Z1$ и $Z2$
$Z3=Ln(Z1)$	натуральный логарифм
$Z3=Log10(Z1)$	десятичный логарифм

Например:

$Z1$	$Z2$	$\Rightarrow$	$Z3 = Z1 + Z2$																											
<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>5</td><td>8</td><td>4</td></tr><tr><td>12</td><td>10</td><td>5</td></tr><tr><td>3</td><td>9</td><td>10</td></tr></table>	5	8	4	12	10	5	3	9	10	<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><td>14</td><td>12</td><td>12</td></tr><tr><td>26</td><td>20</td><td>18</td></tr></table>	3	4	5	14	12	12	26	20	18		<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>8</td><td>12</td><td>9</td></tr><tr><td>26</td><td>22</td><td>17</td></tr><tr><td>29</td><td>29</td><td>28</td></tr></table>	8	12	9	26	22	17	29	29	28
5	8	4																												
12	10	5																												
3	9	10																												
3	4	5																												
14	12	12																												
26	20	18																												
8	12	9																												
26	22	17																												
29	29	28																												

$Z1$	$Z2$	$\Rightarrow$	$Z3 = Max(Z1,Z2)$																											
<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>8</td><td>4</td><td>10</td></tr><tr><td>10</td><td>12</td><td>0</td></tr><tr><td>5</td><td>6</td><td>8</td></tr></table>	8	4	10	10	12	0	5	6	8	<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>3</td><td>6</td><td>2</td></tr><tr><td>10</td><td>2</td><td>2</td></tr><tr><td>6</td><td>4</td><td>18</td></tr></table>	3	6	2	10	2	2	6	4	18		<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>8</td><td>6</td><td>10</td></tr><tr><td>10</td><td>12</td><td>2</td></tr><tr><td>6</td><td>6</td><td>18</td></tr></table>	8	6	10	10	12	2	6	6	18
8	4	10																												
10	12	0																												
5	6	8																												
3	6	2																												
10	2	2																												
6	4	18																												
8	6	10																												
10	12	2																												
6	6	18																												

**Пример 1:** Создать слой *depth* значений мощности эрозионной поверхности на исследуемой территории.

**Решение:**  $depth = topo - geol$ .

## Операции сравнения

$Z1, Z2$  – входные слои скалярного или ординального типа

$Z3$  – новый слой номинального (бинарного) типа

$Z3=(Z1>Z2)$	если условие выполняется, то значение результата 1, иначе 0
$Z3=(Z1<Z2)$	
$Z3=(Z1>=Z2)$	
$Z3=(Z1<=Z2)$	
$Z3=(Z1<>Z2)$	
$Z3=(Z1=Z2)$	

Например:

Z1		
8	4	10
10	12	0
5	6	8

Z2		
3	6	2
10	2	2
6	4	18

 $\Rightarrow$ 

Z3 = if (Z1<Z2,1,0)		
0	1	0
0	0	1
1	0	1

Пример 2: Создать слой возвышенностей *elev* (участков территории, где высота над уровнем моря более 300 м).

Решение: Применив операцию сравнения, получим номинальный слой, где отображаются только возвышенные территории:

$elev = \text{if} (topo > 300, 1, 0)$ .

<i>topo</i>		
305	304	307
302	300	298
299	298	296

 $\Rightarrow$ 

<i>elev</i>		
1	1	1
1	0	0
0	0	0

### Логические операции

Z1, Z2 – входные слои номинального или ординального типа

Z3 – новый слой номинального (бинарного) типа

$Z3 = Z1 \text{ And } Z2$	любое ненулевое значение Z1 и Z2 трактуется как «истина» - 1, нулевое значение Z1 и Z2 – как «ложь» - 0
$Z3 = Z1 \text{ Or } Z2$	
$Z3 = \text{Not } Z1$	

Правила, порождающие результат:

Z1	Z2	Z1 And Z2	Z1 Or Z2
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	1

Z1	Not Z1
0	1
1	0

Например:

Z1		
1	0	0
2	2	0
0	0	2

Z2		
0	0	1
0	1	0
1	0	0

 $\Rightarrow$ 

Z3 = Z1 And Z2		
0	0	0
0	1	0
0	0	0

Пример 3: Создать слой *bridge*, содержащий местоположения (маски) мостов.

Решение:  $bridge = \text{water And road}$ .

Используя логические операции можно получить:

$m1 = \text{road And (Not water)}$  – маска «сухих» дорог – все дороги, исключая мосты.

$m2 = (\text{Not road}) \text{ And (Not water)}$  – маску отсутствия дорог и воды.

## Операции перекодировки

Z1 – входной слой номинального или ординального типа

T1 – перекодировочная таблица

Z3 – новый слой

Z3=recode1(Z1,T1)	перекодировочная таблица T1 каждому возможному значению Z1 ставит в соответствие новое значение
-------------------	---

Z1, Z2 – входные слои номинального типа

T2 – перекодировочная таблица

Z3 – новый слой номинального типа

Z3=recode2(Z1,Z2,T2)	перекодировочная таблица T2 каждой паре возможных значений Z1 и Z2 ставит в соответствие новое значение
----------------------	---

Z1 – входной слой скалярного типа

L1 – его легенда

Z3 – новый слой номинального типа

Z3=recode3(Z1,L1)	перекодировочная таблица специального вида - легенда L1, которая каждому диапазону значений Z1 ставит в соответствие номер класса легенды, в который попадает это значение
-------------------	--

Например:

Z1		
2	2	3
1	1	3
1	2	2

T1	
1	4.6
2	5.1
3	4.8

=>

Z3 = recode1(Z1,T1)		
5.1	5.1	4.8
4.6	4.6	4.8
4.6	5.1	5.1

Пример 4: Создать слой *mine*, содержащий местоположения карьеров.

Решение: 1). Используя кодовую таблицу номинального растрового слоя *build*, определяющего местоположение строений, построим перекодировочную таблицу table1:

0	0
1	0
2	0
3	0
4	1

2). Применим одну из операций перекодировки:  $mine = recode1(build, table1)$ .

Пример 5: Создать слой кислотности (pH) почв *pH*.

Решение:

1). Используя кодовую таблицу слоя *soil* (тип почв), построим перекодировочную таблицу *table2*:

3	7.6
4	5.3
5	6.8
6	7.3
7	5.8
8	6.8
9	7.1
10	6.4
11	6.2
12	8.0
13	7.3
14	6.8
15	5.4
19	5.5

2). Применим операцию перекодировки:  $pH = \text{recodel}(soil, table2)$ .

Пример 6: Создать слой *bridgetype*, содержащий местоположения мостов с указанием их типа: 1- через реку, 2 – через водоем.

Решение:

1). Используя значения кодов слоев *water* и *road*, построим перекодировочную таблицу *table3*:

0	0	0
0	1	0
0	2	0
1	0	0
1	1	1
1	2	1
2	0	0
2	1	2
2	2	2

2). Применим операцию перекодировки:  $bridgetype = \text{recodel2}(water, road, table3)$

Пример 7: Создать слой *steps* ступеней высот в соответствии с легендой:

legend

0-60	1 – низины
60-120	2 – средние высоты
120-900	3 – возвышенности
> 900	4 – горные территории

Решение:  $steps = \text{recodel3}(topo, legend)$ .

## Условный оператор

- Z1 – входной слой номинального или ординального типа  
 Z2, Z3 – входные слои скалярного, или ординального, или номинального типа  
 Z4 – новый слой того же типа, что и Z2, Z3

Z4=if(Z1,Z2,Z3)	любое ненулевое значение Z1 трактуется как «истина», нулевое значение Z1 – как «ложь»; если условие выполняется, т.е. «истина», то значение результата Z2, иначе Z3 (когда условие не выполняется, т.е. «ложь»)
-----------------	--

Например:

Z1	Z2	Z3		Z4 = if(Z1,Z2,Z3)																																				
<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>2</td></tr> </table>	1	0	0	1	1	0	0	0	2	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>8</td><td>4</td><td>10</td></tr> <tr><td>10</td><td>12</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>6</td><td>8</td></tr> </table>	8	4	10	10	12	0	5	6	8	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>3</td><td>6</td><td>2</td></tr> <tr><td>10</td><td>2</td><td>2</td></tr> <tr><td>6</td><td>4</td><td>18</td></tr> </table>	3	6	2	10	2	2	6	4	18	=>	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>8</td><td>6</td><td>2</td></tr> <tr><td>10</td><td>12</td><td>2</td></tr> <tr><td>6</td><td>4</td><td>8</td></tr> </table>	8	6	2	10	12	2	6	4	8
1	0	0																																						
1	1	0																																						
0	0	2																																						
8	4	10																																						
10	12	0																																						
5	6	8																																						
3	6	2																																						
10	2	2																																						
6	4	18																																						
8	6	2																																						
10	12	2																																						
6	4	8																																						

Пример 8: Известно, что карьеры будут использованы под открытые разработки. При этом 40 м грунта будет срыто. Вычислить слой рельефа *toponew*, возникшего в результате разработок.

Решение: последовательно применим три операции алгебры карт

- 1).  $topo40 = topo - 40$
- 2).  $mine = recode1(build, table1)$
- 3).  $toponew = if(mine, topo40, topo)$

### Задание

Гипотетически черника произрастает только при выполнении следующих условий:

1. тип почвы – светло-серые лесные или серые лесные,
2. эффективные осадки (сумма выпадающих осадков за вычетом осадков, поглощенных деревьями) составляют более 400 мм/год.

Где на исследуемой территории эти условия выполняются? Создать слой потенциальных ареалов распространения черники.

Даны:

- слой типов почв *soil*;
- слой лесной растительности *tree*;
- слой *rain* распределения годовой суммы осадков (мм/год) на территории,



и таблица процентов поглощения осадков в зависимости от породы деревьев:

Лесная порода	Код породы	% поглощения
Нет леса	0	0%
Дубравы	1	20%
Липняки	2	15%
Осинники	3	15%
Березняки	4	15%
Сосняки	5	10%
Культуры дуба	7	20%
Культуры ели	8	10%
Культуры сосны	9	10%

### Операции с объектами

Операции с объектами анализируют и обрабатывают растровые слои, на которых представлена информация о местоположениях объектов (их также иногда называют зональными операциями).

Каждый объект имеет свой уникальный идентификационный номер (идентификатор), который на растровом слое записан в ячейках, представляющих объект. Объект может быть связным – состоящим из одного участка соседствующих ячеек, или несвязным - состоящим из двух или более разделенных участков.

Растровый слой, на котором представлены объекты, можно рассматривать как слой с данными номинального типа. И наоборот, на растровом слое с номинальными данными совокупности ячеек с одинаковыми ненулевыми значениями можно интерпретировать как объекты.

#### Операция выделения и идентификации связных объектов

Цель этой операции выделить на слое связные объекты с присвоением им уникальных идентификаторов. Решение принимается на основании анализа соседства ячеек и равенства значений в них: считаем, что если две соседние ячейки имеют одинаковое значение, то они принадлежат одному объекту.

Z1 – входной слой номинального типа - исходные объекты

Z2 – новый слой номинального типа - связные объекты

Z2= clump (Z1)	значение в ячейке слоя Z2 равно новому идентификатору связного объекта, включающего данную ячейку
----------------	---

Например: даны четыре объекта с идентификационными номерами 1, 5, 7 и 9. Объекты 1 и 5 являются связными, а объекты 7 и 9 – несвязными (состоящими из двух фрагментов каждый). На новом слое получаем шесть связных объектов с идентификационными номерами 1, 2, 3, 4, 5 и 6. Ячейки с кодом 7 образовали два новых объекта с идентификаторами 2 и 6; ячейки с кодом 9 – два новых объекта с идентификаторами 1 и 5.

Z1						Z2 = clump (Z1)					
9	9	9	9	7	7	5	5	5	5	6	6
1	1	1	9	9	9	4	4	4	5	5	5
9	1	1	5	5	9	1	4	4	3	3	5
9	9	5	5	5	7	1	1	3	3	3	2
9	7	7	7	7	7	1	2	2	2	2	2
9	9	9	9	9	7	1	1	1	1	1	2

### Вычисление площадей объектов

Если известен размер ячейки сетки, то легко можно вычислить площадь, занимаемую каждым объектом.

Z1 – входной слой номинального типа - объекты

Z2 – новый слой скалярного типа - площадь объектов

Z2= objectArea (Z1)	значение в ячейке слоя Z2 равно площади объекта со слоя Z1, включающего данную ячейку
---------------------	---

Например: пусть ячейка имеет размер 100м×100м=1га, тогда получим площади в га

Z1						Z2 = objectArea (Z1)					
9	9	9	9	7	7	17	17	17	17	9	9
1	1	1	9	9	9	5	5	5	17	17	17
9	1	1	5	5	9	17	5	5	5	5	17
9	9	5	5	5	7	17	17	5	5	5	9
9	7	7	7	7	7	17	9	9	9	9	9
9	9	9	9	9	7	17	17	17	17	17	9

Пример 9: Создать слой *soilarea* площадей, занимаемых различными типами почв.

Решение: *soilarea* = objectArea (*soil*).

### Вычисление статистик для объектов

Кроме площади для объектов, определенных на растровом слое, могут быть подсчитаны значения различных статистических характеристик (среднее

значение, минимум, максимум и т.п.) какой-либо переменной, задаваемой другим растровым слоем. В вычислениях для каждого объекта участвуют только значения ячеек второй сетки, принадлежащих этому объекту.

В зависимости от типа атрибутивных данных второго слоя, для объектов первого слоя могут быть подсчитаны, например, следующие статистики.

Z1 – входной слой номинального типа - объекты

Z2 – входной слой скалярного типа - данные, по которым вычисляются статистики

Z3 – новый слой скалярного типа

Z3= objectAverage (Z1, Z2)	значение в ячейке слоя Z3 равно среднему значению Z2, вычисленному по всем ячейкам объекта со слоя Z1, включающего данную ячейку
Z3= objectVariance (Z1, Z2)	дисперсия Z2 для объектов Z1

Z1 – входной слой номинального типа - объекты

Z2 – входной слой скалярного или ординального типа - данные, по которым вычисляются статистики

Z3 – новый слой скалярного типа

Z3= objectMin (Z1, Z2)	минимальные значения Z2 для объектов Z1
Z3= objectMax (Z1, Z2)	максимальные значения Z2 для объектов Z1

Z1 – входной слой номинального типа - объекты

Z2 – входной слой номинального или ординального типа - данные, по которым вычисляются статистики

Z3 – новый слой скалярного типа

Z3= objectDivers (Z1, Z2)	число разных значений Z2 в пределах объектов Z1 (оценка неоднородности, разнообразия)
---------------------------	---

Например:

Z1
1   1   0
1   1   0
0   2   2
3   3   0

Z2
3   6   2
10   2   2
6   4   18
3   4   5

=>

Z3 = objectMin (Z1,Z2)
2   2   0
2   2   0
0   4   4
3   3   0

Пример 10: Создать слой *soiltopo*, который содержит значения средних отметок высот для различных типов почвы на исследуемой территории.

Решение: *soiltopo* = objectAverage (*soil*,*topo*).

## Задания

*Вариант 1.* Сосновые леса на данной территории частично используются для коммерческой вырубki. Вырубка экономически пригодна, только если площадь участка с сосной более 40 га. *Создать слой местоположений участков пригодных для вырубki.*

Дано: слой лесной растительности *tree*.

*Вариант 2.* С/х кооперативу необходимо приобрести участок земли для посева свеклы на данной территории. Участок земли экономически выгодно использовать для посева, только если площадь участка с черноземом более 100 га. *Создать слой местоположений участков пригодных для посева.*

Дано: слой типов почв *soil*.

*Вариант 3.* Какова общая площадь территорий, пригодных для произрастания черники? См. предыдущее задание.

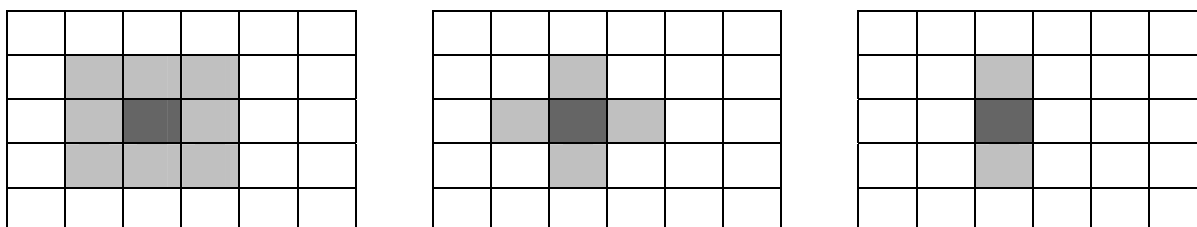
## **Операции, учитывающие пространственный контекст**

Эти операции анализируют связь ячейки с ее окружением (в ряде систем их называют фокальными операциями). Новое значение в каждой ячейке определяется на основе анализа различного рода соотношений с соседними ячейками или потоками вещества (например, воды) из соседних ячеек. Значение ячейки выходного слоя зависит от значения самой ячейки и от значений соседних ячеек.

### Скользящее окно и операции в нем

Основой ряда методов обработки и анализа растровых данных, учитывающих пространственный контекст, а именно отношения соседства, является использование «скользящего» окна.

Скользящее окно – это своего рода «палетка», у которой выделена одна ячейка для ответа, а остальные отражают соседство. Окно может быть разных форм: прямоугольное, крестообразное, линейное (см. рисунок ниже) и т.д. В самом простом и наиболее распространенном случае окно – это квадратная сетка  $k \times k$  ячеек, размером меньшая, чем анализируемый растровый слой. Ячейка выходного слоя соответствует центральной ячейке окна, поэтому размер окна обычно выбирают нечетным.



Для каждой ячейки выходного слоя новое значение вычисляется как некоторая функция от значений тех ячеек исходного слоя, которые попали в окно с центром в данной ячейке. Например, выбрать наибольшее значение из всех имеющихся в окне (и поместить его в центральную ячейку окна). Если выделенная ячейка находится на границе раstra, т.е. какие-то ячейки окна выступают за края, то туда помещают либо нулевое значение, либо дополняют сетку с помощью зеркального отображения.

В зависимости от типа атрибутивных данных в скользящем окне могут быть выполнены, например, следующие операции.

Z1 – входной слой скалярного типа,

Z2 – новый слой скалярного типа

$Z2 = \text{winave}(Z1, k)$	среднее значение Z1 в окне $k \times k$
$Z2 = \text{winvar}(Z1, k)$	дисперсия Z1 в окне $k \times k$

Z1 – входной слой скалярного или ординального типа,

Z2 – новый слой

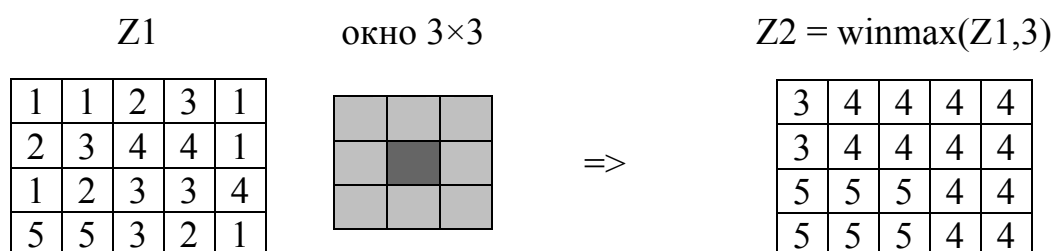
$Z2 = \text{winmax}(Z1, k)$	максимальное значение Z1 в окне $k \times k$
$Z2 = \text{winmin}(Z1, k)$	минимальное значение Z1 в окне $k \times k$
$Z2 = \text{winmed}(Z1, k)$	медиана в окне $k \times k$

Z1 – входной слой номинального или ординального типа,

Z2 – новый слой скалярного типа

$Z2 = \text{windiv}(Z1, k)$	число разных значений Z1, попавших в окно $k \times k$ ячеек (оценка неоднородности, разнообразия)
-----------------------------	--

Например:



**Пример 11:** Карта мощности эрозионной поверхности (слой *depth* – см. пример 1) слишком зашумлена (много «пиков» и «ямок»). Создать три варианта

сглаженного слоя мощности эрозионной поверхности. Использовать окна с  $k=4$ ,  $k=16$  и  $k=32$ .

Решение: применим к исходному слою *depth* операцию вычисления среднего в скользящем окне размера  $k \times k$

- 1). *depth\_var1* = *winave(depth, 4)*,
- 2). *depth\_var2* = *winave(depth, 16)*,
- 3). *depth\_var3* = *winave(depth, 32)*.

Пример 12: Создать три варианта слоя (карты) пространственной неоднородности почвенного покрова на исследуемой территории. Использовать окна с  $k=4$ ,  $k=16$  и  $k=32$ .

Решение: применим к слою типов почв *soil* операцию оценки неоднородности в скользящем окне размера  $k \times k$

- 1). *soil\_div\_var1* = *windiv(soil, 4)*,
- 2). *soil\_div\_var2* = *windiv(soil, 16)*.
- 3). *soil\_div\_var3* = *windiv(soil, 32)*.

### **Дистанционное преобразование**

Данная операция вычисляет для каждой ячейки растровой сетки кратчайшее расстояние до заданной ячейки или группы ячеек. Как правило, заданными ячейками являются ненулевые ячейки входного слоя номинального типа.

Расстояние может быть абсолютным («по воздуху») либо относительным – с учетом сопротивления среды (или стоимости).

В качестве сопротивления используют затраты необходимые для преодоления одной ячейки. В частности, это может быть время преодоления единицы пути в одной ячейке или стоимость строительства дороги через эту ячейку. Сопротивление может иметь постоянную величину или меняться по территории. В последнем случае оно представляется слоем сопротивления, задающим значение сопротивления на единицу длины в каждой ячейке раstra. Если сопротивление одинаково во всех ячейках и равно 1, то имеем абсолютное расстояние.

Слой расстояний, полученный с учетом сопротивления, часто называют «стоимостным рельефом».

- Z1 – входной слой номинального типа,
- Z2 – входной слой скалярного типа (или константа) – слой сопротивлений,
- Z3 – выходной слой скалярного типа – слой расстояний

$Z3 = \text{spread}(Z1, Z2)$	вычисляет в каждой ячейке $Z3$ кратчайшее расстояние до ненулевых ячеек $Z1$ с учетом сопротивления (стоимости) $Z2$ ; при $Z2 = 1$ имеем абсолютные расстояния
------------------------------	--

Например, если использовать самый простой способ оценки абсолютного расстояния - вычисление Евклидова расстояния в единицах раstra - имеем:

$Z1$		$Z3 = \text{spread}(Z1, 1)$																																										
<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	=>	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td><math>\sqrt{2}</math></td><td><math>\sqrt{5}</math></td><td><math>\sqrt{10}</math></td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> </table>	0	0	1	2	3	0	0	1	2	3	1	1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	$\sqrt{10}$	1	0	1	2	3		
1	1	0	0	0																																								
1	1	0	0	0																																								
0	0	0	0	0																																								
0	2	0	0	0																																								
0	0	1	2	3																																								
0	0	1	2	3																																								
1	1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{5}$	$\sqrt{10}$																																								
1	0	1	2	3																																								

Однако чаще в ГИС для вычисления расстояний используют метод, основанный на расчетах распространения световых волн в среде по принципу Френеля-Гюйгенса. Напомним этот принцип: каждая точка, до которой дошла световая волна становится источников вторичных волн, которые распространяются во всех направлениях.

Например:

$Z1$		$Z3 = \text{spread}(Z1, 1)$																																										
<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	=>	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td><math>\sqrt{2}</math></td><td><math>1+\sqrt{2}</math></td><td><math>2+\sqrt{2}</math></td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> </table>	0	0	1	2	3	0	0	1	2	3	1	1	$\sqrt{2}$	$1+\sqrt{2}$	$2+\sqrt{2}$	1	0	1	2	3		
1	1	0	0	0																																								
1	1	0	0	0																																								
0	0	0	0	0																																								
0	2	0	0	0																																								
0	0	1	2	3																																								
0	0	1	2	3																																								
1	1	$\sqrt{2}$	$1+\sqrt{2}$	$2+\sqrt{2}$																																								
1	0	1	2	3																																								

$Z1$	$Z2$		$Z3 = \text{spread}(Z1, Z2)$																																																													
<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>5</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>5</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>5</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	1	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	5	1	1	1	1	5	1	1	=>	<table border="1" style="display: inline-table;"> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>5</td><td>3</td><td><math>2+\sqrt{2}</math></td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td><math>5\sqrt{2}</math></td><td>4</td><td><math>3+\sqrt{2}</math></td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>5</td><td>5</td><td><math>4+\sqrt{2}</math></td></tr> </table>	0	0	1	2	3	0	0	5	3	$2+\sqrt{2}$	1	1	$5\sqrt{2}$	4	$3+\sqrt{2}$	1	0	5	5	$4+\sqrt{2}$	
1	1	0	0	0																																																												
1	1	0	0	0																																																												
0	0	0	0	0																																																												
0	2	0	0	0																																																												
1	1	1	1	1																																																												
1	1	5	1	1																																																												
1	1	5	1	1																																																												
1	1	5	1	1																																																												
0	0	1	2	3																																																												
0	0	5	3	$2+\sqrt{2}$																																																												
1	1	$5\sqrt{2}$	4	$3+\sqrt{2}$																																																												
1	0	5	5	$4+\sqrt{2}$																																																												

Пример 13: Слой *well* содержит маску местоположения колодцев, используемых для забора питьевой воды на данной территории. Вокруг колодцев в радиусе 1 км организуются защитные зоны. Создать слой *zone* с маской защитных зон на данной территории.

Решение:

1) Используя дистанционное преобразование, получим вспомогательный слой *welldist* расстояний до колодцев:  $welldist = \text{spread}(well, 1)$ .

2) При условии, что расстояния вычислены в метрах, с помощью операции сравнения получим:  $zone = \text{if}(welldist < 1000, 1, 0)$ .

Пример 14: Вода транспортируется от колодцев через водопроводную сеть. При этом в среднем на прохождение водой 1 м пути уходит 3 сек. Создать слой *time1* значений времени, необходимого для достижения каждой ячейки водой из ближайшего к ней колодца.

Решение:  $time1 = \text{spread}(well, 3)$ .

Пример 15: Слой *firestat* дает маску местоположения пожарных станций на данной территории. Создать слой *time2* времени, необходимого для достижения каждой ячейки пожарной машиной из ближайшей пожарной станции при условии, что пожарная машина способна ехать по бездорожью со скоростью 20 км/час, по грунтовой дороге - 50 км/час, по шоссе - 80 км/час.

Решение: В качестве сопротивления используем время, необходимое на прохождение пожарной машиной 1 м пути в ячейке растра в зависимости от отсутствия или наличия в ней дороги и ее типа, определяемое как  $3600 / (\text{скорость} \times 1000)$ , (сек/м).

1) Используя значения кодов слоя *road*, построим перекодировочную таблицу *table*:

0	0.18
1	0.072
2	0.045

2) Применив операцию перекодировки, из слоя *road* получим слой сопротивлений *ttime*:  $ttime = \text{recodel}(road, table)$ .

3) Используя дистанционное преобразование, получим:

$time2 = \text{spread}(firestat, ttime)$ .

### Анализ рельефа

Ниже рассматривается группа операций, которые являются основой методов анализа растровых данных, определяющих пространственное распределение отметок абсолютных высот, т.е. рельеф местности. Такие растровые слои называют цифровыми моделями высот (ЦМВ) или цифровыми моделями рельефа (ЦМР).

Анализ рельефа необходим при решении задач гидрологических исследований (определение путей водотоков, характеристик водосборных площадей, бассейнов), при анализе поверхностного стока, при исследовании эрозионных процессов, в ландшафтном анализе и т.п.



Операции анализа рельефа применимы и для растровых слоев, трактуемых как «стоимостной рельеф» и рассматриваемых при решении задач ландшафтного планирования, экономической географии и др.

Зоны видимости

- Z1 – входной слой скалярного типа - рельеф
- Z2 – входной слой номинального типа - точки обзора
- Z3 – новый слой номинального (бинарного) типа - зоны видимости

$Z3 = \text{visible}(Z1, Z2)$	определяет зоны видимости, маскируя ячейки слоя Z3, видимые из ненулевых ячеек (точек обзора) слоя Z2 на фоне рельефа Z1
-------------------------------	--

Пример 16: Создать слой *viszone* зон видимости с пожарных станций.

Решение:  $viszone = \text{visible}(topo, firestat)$ .

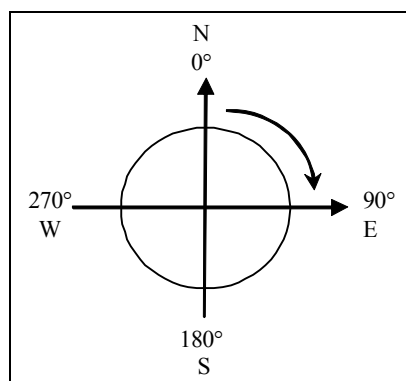
Крутизна и экспозиция склонов

- Z1 – входной слой скалярного типа - рельеф
- Z2 – новый слой скалярного типа - крутизна склонов

$Z2 = \text{slope}(Z1)$	значение уклона в градусах
-------------------------	----------------------------

- Z1 – входной слой скалярного типа - рельеф
- Z2 – новый слой скалярного типа - экспозиция склонов

$Z2 = \text{aspect}(Z1)$	значение экспозиции в градусах от 0 до 360 по часовой стрелке, где Север соответствует 0 градусов (см. рисунок)
--------------------------	---



Пример 17: Создать карту уклонов *myslope*. Какова минимальная и максимальная крутизна склона на рассматриваемой территории?

Решение:  $myslope = \text{slope}(topo)$ .

Пример 18: Вычислить уклоны для карты уклонов. Что означает полученный результат?

Решение:  $myslope1 = \text{slope}(myslope)$ .

Пример 19: Построить карту экспозиций склонов с легендой, отражающей холодные и теплые экспозиции.

Решение:

1) создаем слой экспозиций склонов:  $myasp1 = \text{aspect}(topo)$ ,

2) построим легенду legend:

0°-90°	2 -Средне
90°-180°	3 - Холодно
180°-270°	1 - Тепло
270°-360°	2 -Средне

3) применим операцию перекодировки:  $myasp2 = \text{recode3}(myasp1, \text{legend})$ .

### Направление локальных потоков (LDD)

Эта операция для заданного слоя рельефа находит в каждой ячейке направление наиболее крутого уклона вниз, которое является направлением локального стока.

Направления кодируются следующим образом: соответствие направлений их кодам аналогично соответствию на клавишах со стрелками и цифрами на клавиатуре компьютера (см. рисунок ниже). Например, код 9 в некоторой ячейке соответствует локальному направлению потока в ближайшую верхнюю левую ячейку. Код 5 представляет ячейку без направления локального потока.

↖ 7	↑ 8	↗ 9
← 4	5	→ 6
↙ 1	↓ 2	↘ 3

Z1 – входной слой скалярного типа - рельеф

Z2 – новый слой типа LDD

Z2= ldd(Z1)	направления локальных потоков
-------------	-------------------------------

Например:

Z1

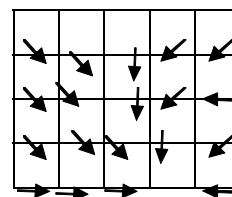
Z2 = ldd (Z1)

305	304	307	307	308
302	300	298	299	301
299	298	296	300	301
297	296	295	294	295

⇒

3	3	2	1	1
3	3	2	1	4
3	3	3	2	1
6	6	6	5	4

или



Ячейки с кодом 5 на краю (границе) LDD карты представляют точки утечки с карты. Ячейки с кодом 5, расположенные не на краю карты,

называются «ямками». «Ямка» окружена ячейками с большей высотой, чем в ней самой. Как результат, из «ямки» невозможен сток в соседние ячейки.

На ЦМР может встречаться два вида «ямок». «Ямки» первого вида – следствие естественных понижений местности и карстовых воронок в ландшафте. На таком понижении «ямка» будет находиться в ячейке с наименьшей высотой. «Ямки» второго вида вносятся самой ЦМР, так как вследствие дискретизации поверхности высот, ЦМР не точно описывает рельеф. Как результат «ямки» могут иметь место на ЦМР в местах без реального понижения на ландшафте.

Пример 20: Создать слой *myLDD* направлений локальных потоков.

Решение:  $myLDD = ldd(topo)$ .

Пример 21: Создать слой *pit* с маской «ямок» на данной территории.

Решение:

1) построим перекодировочную таблицу *table*:

1	0
2	0
3	0
4	0
5	1
6	0
7	0
8	0
9	0

2)  $pit = recode1(myLDD, table)$ .

#### Дренажный анализ - определение нисходящих потоков

Данная операция находит пути, по которым на заданном рельефе (или стоимостном рельефе) пойдет поток из некоторых источников, расположенных на изучаемой территории. Она маскирует на результирующем слое те ячейки, которые находятся вниз по течению от ненулевых ячеек слоя источников.

Z1 – входной слой номинального типа - источники

Z2 – входной слой типа LDD

Z3 – новый слой номинального типа - потоки

$Z3 = \text{path}(Z1, Z2)$	определяет пути нисходящих потоков из ненулевых ячеек слоя Z1 по рельефу с LDD Z2, маскируя ячейки слоя Z3
----------------------------	--

Пример 22: Создать слой *flow* потоков из мест расположения колодцев. Где заканчивается путь воды из этих мест? (в «ямках»)

Решение:  $flow = \text{path}(well, myLDD)$ .

## Задания

*Вариант 1.* Получить карту застройки на рельефе с уклоном более 5 градусов.

Даны: слой застройки *build* и слой рельефа *topo*.

*Вариант 2.* Какова минимальная и максимальная крутизна склонов южной экспозиции?

Даны: слой рельефа *topo*.

*Вариант 3.* Какие колодцы, используемые для забора питьевой воды, расположены в защищенных зонах - на расстояниях более чем 2 км от строений и дорог? Сколько на заданной территории таких колодцев?

Даны: слой застройки *build*, слой дорог *road*, слой колодцев *well*.

*Вариант 4.* Где на заданной территории можно построить спорткомплекс площадью 20 га, если для его размещения необходимо выполнение следующих условий:

- 1) в настоящий момент это место еще не используется для застройки, для дорог, там нет водных объектов,
- 2) в радиусе 5 км нет промышленных предприятий, карьеров (рудников) и свалок,
- 3) крутизна рельефа не более 8 градусов,
- 4) расстояний до шоссе менее 1.5 км,

Замечание: зона, занимаемая спорткомплексом, должна быть связной (индивидуальным участком).

Даны: слой застройки *build*, слой дорог *road*, слой водотоков и водоемов *water*, слой рельефа *topo*.

*Вариант 5.* Найти наиболее дешевый маршрут для прокладки грунтовых дорог между вырубками и местами складирования леса при условии:

- 1) стоимость строительства дороги на рельефе с уклоном более 12 градусов в 3 раза выше, чем по норме,
- 2) стоимость строительства моста в 10 раз выше, чем стоимость строительства дороги.

Даны: слой складов *dump*, слой вырубок *logging*, слой водотоков и водоемов *water*, слой рельефа *topo*.