

**КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ**

---

*Кафедра моделирования экологических систем*

# **ОСНОВЫ ПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА В РАСТРОВЫХ ГИС**

**Учебно-методическое пособие**



**КАЗАНЬ  
2015**

**УДК 004.9**

**ББК 26**

*Печатается по решению Редакционно-издательского совета ФГАОУВПО  
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»*

*Методической комиссии Института экологии и природопользования  
(протокол № 11 от 15 декабря 2014 г.)*

*Кафедры моделирования экологических систем  
(протокол № 5 от 2 декабря 2014 г.)*

**Авторы-составители:**

доктор биологических наук, профессор. **А.А. Савельев**,  
кандидат биологических наук, доцент **С.С. Мухарамова**,  
кандидат биологических наук, доцент **Н.А. Чижикова**,  
старший преподаватель **А.Г. Пилюгин**

**Научный редактор**

доктор физико-математических наук, профессор **Э.В. Скворцов**

**Рецензенты**

доктор географических наук, профессор **О.П. Ермолаев**  
кандидат географических наук, доцент **К.А. Мальцев**

**Основы пространственного анализа в растровых ГИС:** учебно-методическое пособие / сост.: А.А. Савельев, С.С. Мухарамова, Н.А. Чижикова, А.Г. Пилюгин. – Казань: Казанский университет, 2015. – 59 с.

Учебно-методическое пособие разработано для студентов естественнонаучных факультетов, изучающих курс «ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ». Основная цель пособия - показать, как геоинформационные системы (ГИС), основанные на растровой модели представления пространственных данных, используются для анализа и моделирования пространственно-распределенных явлений, изучаемых в таких областях как география, гидрология, почвоведение, в науках об окружающей среде.

Кратко даются основные понятия растровых ГИС. Приводятся традиционно различаемые классы операций над растровыми слоями, рассматриваются методы анализа и обработки. Изучаемые операции разбираются на примере решения задач для некоторой модельной территории. Приводится описание учебной программы GISPROG, предназначенной для выполнения практических заданий по курсу.

© Издательство Казанского университета, 2015

## СОДЕРЖАНИЕ

РАСТРОВАЯ МОДЕЛЬ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ ....	5
Геометрия растровой модели .....	5
Растровые слои.....	6
Типы атрибутивных данных .....	9
ДАННЫЕ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ.....	11
ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РАСТРОВЫХ СЛОЕВ .....	14
Визуализация растров с номинальными данными .....	14
Визуализация растров со скалярными данными .....	15
ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ В РАСТРОВЫХ ГИС .....	16
Алгебра карт .....	16
Арифметические операции .....	17
Операции сравнения.....	18
Логические операции .....	19
Операции перекодировки .....	20
Условный оператор .....	23
Задание.....	24
Операции с объектами.....	25
Операция выделения и идентификации связанных объектов	26
Вычисление площадей объектов.....	27
Вычисление статистик для объектов .....	27
Задания.....	29
Операции, учитывающие пространственный контекст.....	30
Скользящее окно и операции в нем .....	30
Дистанционное преобразование.....	32
Анализ рельефа .....	36
Крутизна и экспозиция склонов .....	36
Зоны видимости .....	39

Направление локальных потоков (LDD) .....	39
Дренажный анализ - определение нисходящих потоков	41
Задания.....	42
УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА GISPROG .....	44
Главное окно программы .....	44
Главное меню .....	45
Информационная панель.....	46
Панель инструментов .....	47
Окно информации.....	47
Режим «рисования» .....	48
Окно легенды .....	49
Легенда номинального слоя .....	49
Легенда скалярного слоя.....	50
Окно управления слоями .....	51
Список слоев .....	52
Меню -> Слои .....	54
Меню -> Редактирование - операции над слоями .....	54
ЛИТЕРАТУРА .....	57

# 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 - это пространственный объект, 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 территорию исследования. Размеры ячейки предполагаются существенно меньшими характерного размера представляемых пространственных объектов и явлений. Наиболее популярно использование регулярных прямоугольных сеток, ячейки которых в картографической проекции являются квадратами или прямоугольниками.

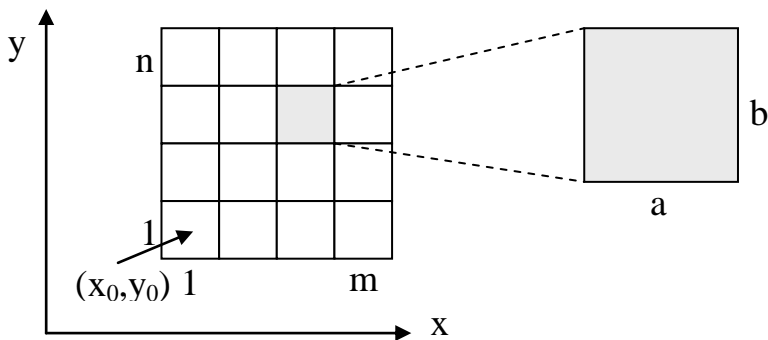
Растровая модель пространственно-распределенных данных задается указанием геометрических параметров раstra и значений атрибута в каждой ячейке растровой сетки. Такое представление называется *растровым слоем*.

## Геометрия растровой модели

Геометрические (пространственные) параметры растровой модели определяют:

- 1) координаты центра левой нижней ячейки сетки в декартовой системе координат проекции -  $(x_0, y_0)$ ;
- 2) размер ячейки -  $a$  по горизонтали и  $b$  по вертикали (в единицах измерения координат);

3) размер 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

Два вида пространственно-распределенной информации может быть представлено на растровых слоях. Это информация о свойствах самой исследуемой территории (пространственно-непрерывная информация) и информация об объектах, расположенных на исследуемой территории. В каждую ячейку растровой сетки помещается значение или кодированное значение пространственно-распределенной переменной (атрибут):

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

Отметки высот (м)

2	2	1	1	1	...
2	2	1	1	1	...
0	4	4	4	4	...
0	4	1	1	1	...
...	...	...	...	...	...

0	Нет объекта
1	Сельхозугодия
2	Леса
4	Автодороги

Для записи такой информации обычно достаточно перечисления всех ячеек с указанием их пространственного положения (координат центра ячейки) и соответствующих им значений атрибута:

X	Y	АТРИБУТ
Значение	Значение	Значение
Значение	Значение	Значение
...	...	...

Если несколько растровых слоев имеют одинаковые геометрические параметры, то значения соответствующих пространственно-распределенных переменных могут быть записаны в одной таблице:

X	Y	АТРИБУТ 1	АТРИБУТ 2	...	АТРИБУТ k
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.

В случае, когда с помощью растровой модели необходимо представить информацию об объектах (пространственно-дискретная информация), занимающих значительную площадь

и / или покрывающих не всю изучаемую территорию (например, населенные пункты республики), то эффективнее:

- 1) создать растровый слой, где в ячейки, представляющие объекты, в качестве атрибута поместить уникальные идентификационные номера (идентификаторы) объектов;
- 2) атрибутивную информацию об объектах записать в виде таблицы, одна из колонок которой содержит идентификаторы всех объектов, а остальные колонки - атрибутивные данные о свойствах объектов. Связь между геометрией объекта (ячейками, представляющими объект), и атрибутами объекта осуществляется с использованием идентификатора (ID) объекта.

Ниже приведено такое представление трех объектов с идентификационными номерами 1, 2 и 3 на растровой сетке 5×5 ячеек. Объекты 2 и 3 являются связными, а объект 1 – несвязный (состоящий 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

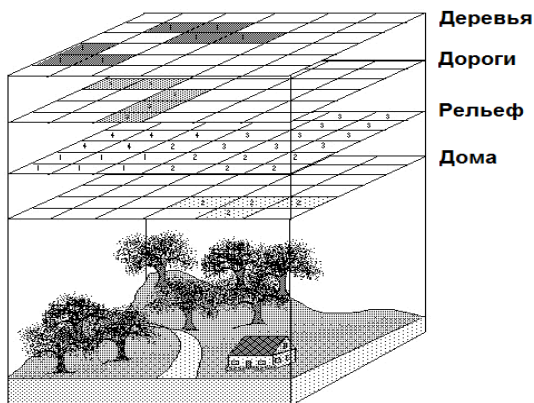
Атрибутивная информация, в этом случае, представляется в виде самостоятельного набора записей:

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

Если с помощью растровой модели требуется представить большое число объектов различной природы, либо представить явления, непрерывно распределенные по всей территории, то



предпочтительным будет представление в виде отдельных растровых слоев.



## Типы атрибутивных данных

Информация, представленная на растровых слоях, может относиться к тому или иному типу данных – номинальному (категориальному, качественному), ординальному (порядковому, ранговому) или скалярному (количественному, числовому). *Тип данных определяет, какими методами эти слои могут обрабатываться, анализироваться и визуализироваться.*

*Скалярные* переменные принимают числовые значения, измеренные на некоторой интервальной, 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 измерены на ординальной шкале, имеющей упорядоченные категории. Например,

ординальная переменная «степень присутствия вида» может иметь значения: «вид отсутствует», «вид присутствует», «вид содоминирует», «вид доминирует». К таким переменным можно отнести различные балльные оценки с очевидным упорядочением значений. Для ординальных данных применимы только операции сравнения и ранжирования: «равно», «не равно», «больше», «меньше»

*Номинальные* переменные принимают значения, измеренные на некоторой номинальной шкале, состоящей из наименований категорий, которые никак естественным образом не упорядочиваются. Например, номинальная переменная «лесные формации» может иметь значения «дубравы», «липняки», «осинники», «березняки», «сосняки», «ельники». Если в номинальных шкалах используются числа, то они служат только для различения отдельных категорий, 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. Такое «понижение» шкалы ведет к потере некоторой части информации. Обратные операции считаются некорректными.

## ДАННЫЕ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ

Пусть исследуемая территория по форме представляет собой квадрат (в картографической проекции) с координатами левого нижнего угла  $X_1 = 584\ 000$  м,  $Y_1 = 111\ 000$  м и координатами правого верхнего угла  $X_2 = 635\ 000$  м,  $Y_2 = 162\ 000$  м. Сторона квадрата – 51 км; общая площадь территории - 2601 км<sup>2</sup>.

Для территории собрана различная тематическая пространственно-распределенная информация, для представления которой используется растровая модель данных. Вся территория разбита на совокупность ячеек регулярной прямоугольной сетки:

- центры угловых ячеек соответствуют углам квадрата территории;

- размер каждой ячейки - 100×100 м;

- размер сетки - 511×511 ячеек.

Всего дано 13 растровых слоев, каждый из которых определяет пространственное распределение значений той или иной тематической переменной номинального или скалярного (непрерывного, вещественного) типа:

Имя слоя	Содержание	Тип данных
topo.lay	цифровая модель рельефа (м)	непрерывный
geol.lay	абсолютные отметки кровли подстилающей геологической поверхности (м)	непрерывный
water.lay	местоположение водотоков и водоемов	номинальный

tree.lay	местоположение лесов	номинальный
road.lay	местоположение дорог	номинальный
build.lay	местоположение строений	номинальный
soil.lay	типы почв	номинальный
rain.lay	распределение годовой суммы осадков (мм/год)	непрерывный
rainstorm.lay	распределение ливневых осадков (мм/год)	непрерывный
logging.lay	местоположение вырубок	номинальный
dump.lay	местоположение складов	номинальный
well.lay	местоположение колодцев (скважин)	номинальный
firestat.lay	местоположение пожарных станций	номинальный

Для номинальных переменных приведем их кодовые таблицы:

Имя слоя	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

Для картографического отображения (визуализации) геоинформации, представленной на растровых слоях, могут применяться различные методы: метод изолиний, метод цветовых шкал, метод аналитической отмывки, визуализация в виде трехмерной поверхности, метод градиентов, др. Выбор метода визуализации зависит от типа данных растрового слоя.

### Визуализация растров с номинальными данными

Для отображения растра с геоинформацией номинального типа предварительно создается *легенда*, где каждому из возможных значений отображаемой переменной задается свой цвет. При визуализации слоя каждая ячейка растровой сетки окрашивается тем цветом, который соответствует, согласно легенде, значению переменной в данной ячейке.

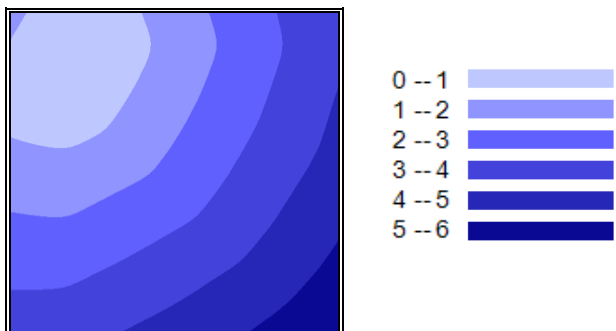


дубравы	
липняки	
осинники	
березняки	
сосняки	

## Визуализация растров со скалярными данными

Если на растровом слое представлено пространственное распределение значений некоторой переменной  $Z$  скалярного типа, то для его картографического отображения также может применяться цветовая шкала. При этом легенда создается следующим образом. Сначала определяются два числовых значения -  $Z_{\min}$  и  $Z_{\max}$ . Эти значения либо приравнены минимальному и максимальному значениям атрибута  $Z$  по всем ячейкам сетки, либо просто задаются исследователем. Далее фиксируется число диапазонов  $k$ , на которое делится интервал  $(Z_{\min}, Z_{\max})$ . После чего для каждого из  $k$  диапазонов задается свой цвет. Цвета диапазонов могут быть заданы либо вручную, либо автоматически. В последнем случае для первого и последнего диапазонов цвета задаются вручную, для всех остальных диапазонов цвета определяется автоматически по спектру - создается шкала цветового перехода от цвета первого диапазона к цвету последнего, состоящая из  $k$  градаций.

При визуализации каждая ячейка растровой сетки окрашивается цветом, который соответствует тому диапазону легенды, в который попадает значение переменной  $Z$  в этой 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 параметры: координаты центров левых нижних ячеек сеток совпадают, размеры ячеек одинаковы, слои имеют одинаковое количество строк и столбцов.

### Алгебра карт

Операции алгебры карт (их еще называют точечными операциями или локальными операциями) выполняют анализ и вычисления отдельно в каждой ячейке растровой сетки; результат операции в ячейке не зависит от значений в соседних ячейках. С помощью этих операций можно получить новый растровый слой из одного или нескольких входных слоев, причем значение каждой ячейки нового слоя зависит только от



значений ячеек входных слоев, имеющих те же растровые координаты.

Алгебра карт обеспечивает исследователей функциональными средствами для конструирования сложных алгоритмов обработки и анализа растровых данных, предоставляет инструменты для создания моделей пространственного распределения изучаемых 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
$Z3 = \text{Min} (Z1, Z2)$	значение в ячейке результирующего слоя $Z3$ будет равно меньшему из значений в этой ячейке слоев $Z1$ и $Z2$

$Z3 = \text{Max} (Z1, Z2)$	значение в ячейке результирующего слоя Z3 будет равно большему из значений в этой ячейке слоев Z1 и Z2
$Z3 = \text{Ln} (Z1)$	натуральный логарифм
$Z3 = \text{Log}_{10} (Z1)$	десятичный логарифм

и другие.

Например:

Z1			Z2			Z3 = Z1 + Z2		
5	8	4	3	4	5	8	12	9
12	10	5	14	12	12	26	22	17
3	9	10	26	20	18	29	29	28

Z1			Z2			Z3 = Max (Z1, Z2)		
8	4	10	3	6	2	8	6	10
10	12	0	10	2	2	10	12	2
5	6	8	6	4	18	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
$Z3 = (Z1 < Z2)$	
$Z3 = (Z1 >= Z2)$	
$Z3 = (Z1 <= Z2)$	

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

Например:

$Z1$			$Z2$			$\Rightarrow$	$Z3 = (Z1 < Z2)$		
8	4	10	3	6	2	=>	0	1	0
10	12	0	10	2	2		0	0	1
5	6	8	6	4	18		1	0	1

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

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

$elev = (topo > 300)$ .

<i>topo</i>			$\Rightarrow$	<i>elev</i>		
305	304	307	=>	1	1	1
302	300	298		1	0	0
299	298	296		0	0	0

### Логические операции

$Z1, Z2$  – входные слои номинального или ordinalного типа

$Z3$  – новый слой номинального (бинарного) типа

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

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			Z2		
1	0	0	0	0	1
2	2	0	0	1	0
0	0	2	1	0	0

=>

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

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

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

Подобным образом с помощью логических операций можно получить:

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

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

### Операции перекодировки

Z1 – входной слой номинального или ординального типа

T1 – перекодировочная таблица

Z3 – новый слой

$Z3 = \text{recodel}(Z1, T1)$	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 - каждому значению Z1 ставит в соответствие номер диапазона (класса) легенды, в который попадает это значение
----------------------	---

Например:

Z1	T1		Z3 = recode1(Z1, T1)																								
<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr><td>2</td><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>3</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>2</td></tr> </table>	2	2	3	1	1	3	1	2	2	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1</td><td>4.6</td></tr> <tr><td>2</td><td>5.1</td></tr> <tr><td>3</td><td>4.8</td></tr> </table>	1	4.6	2	5.1	3	4.8	=>	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr><td>5.1</td><td>5.1</td><td>4.8</td></tr> <tr><td>4.6</td><td>4.6</td><td>4.8</td></tr> <tr><td>4.6</td><td>5.1</td><td>5.1</td></tr> </table>	5.1	5.1	4.8	4.6	4.6	4.8	4.6	5.1	5.1
2	2	3																									
1	1	3																									
1	2	2																									
1	4.6																										
2	5.1																										
3	4.8																										
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 местоположения 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:  
 $pH = recode1 (soil, table2)$ .

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  $table3$ :

1	1	1
1	2	1
2	1	2
2	2	2

2). Применим операцию перекодировки:  
*bridgetype = recode2 (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 = recode3 (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

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

Например:

Z1			Z2			Z3			Z4 = if (Z1, Z2, Z3)			
1	0	0	8	4	10	3	6	2	=>	8	6	2
1	1	0	10	12	0	10	2	2		10	12	2
0	0	2	5	6	8	6	4	18		6	4	8

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

Решение: последовательно применим три операции алгебры карт

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

### 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 (эти операции 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 связанные 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 - связанные объекты

Z2 = clump (Z1)	значение в ячейке слоя Z2 равно новому идентификатору связанного 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 связанных 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
1	1	1	9	9	9
9	1	1	5	5	9
9	9	5	5	5	7
9	7	7	7	7	7
9	9	9	9	9	7

=>

5	5	5	5	6	6
4	4	4	5	5	5
1	4	4	3	3	5
1	1	3	3	3	2
1	2	2	2	2	2
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 100 м × 100 м = 1 га, тогда получим следующие площади в га:

Z1

Z2 = objectArea (Z1)

9	9	9	9	7	7
1	1	1	9	9	9
9	1	1	5	5	9
9	9	5	5	5	7
9	7	7	7	7	7
9	9	9	9	9	7

=>

17	17	17	17	9	9
5	5	5	17	17	17
17	5	5	5	5	17
17	17	5	5	5	9
17	9	9	9	9	9
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. При вычислении статистики для каждого

отдельного объекта учитываются только значения ячеек второй сетки, принадлежащих этому объекту.

В зависимости от типа 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 вырубке. Вырубка экономически пригодна, только если площадь участка с сосной более 40 га. *Создать слой местоположений участков пригодных для вырубки.*

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 свеклы.*

Дано: слой типов почв *soil*.

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

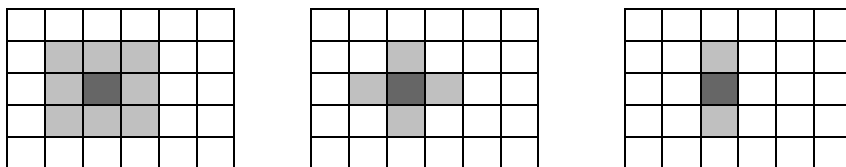
## Операции, учитывающие пространственный контекст

Эти операции анализируют связь ячейки с ее окружением (в ряде систем их называют фокальными операциями). Значение каждой ячейки результирующего слоя определяется на основе анализа различного рода соотношений с соседними ячейками, и зависит как от значения самой ячейки, так и от значений соседних ячеек обрабатываемого слоя.

### Скольльзящее окно и операции в нем

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

Скольльзящее 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 обрабатываемая ячейка находится на границе растра (то есть какие-то ячейки окна выступают за края растра), то в нее либо помещают нулевое значение, либо вычисление проводится по растру, дополненному 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

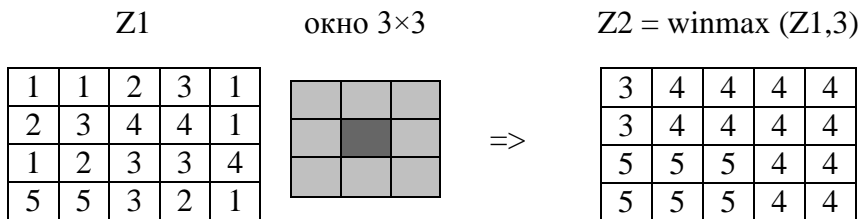
$Z2 = \text{winmax}(Z1, k)$	максимальное значение Z1 в окне $k \times k$
$Z2 = \text{winmin}(Z1, k)$	минимальное значение Z1 в окне $k \times k$
$Z2 = \text{winmed}(Z1, k)$	медиана Z1 в окне $k \times k$

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  $k = 4$ ,  $k = 16$ ,  $k = 32$ .

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

- 1).  $depth\_var1 = \text{winave}(depth, 4)$ ,
- 2).  $depth\_var2 = \text{winave}(depth, 16)$ ,
- 3).  $depth\_var3 = \text{winave}(depth, 32)$ .

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

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

- 1).  $soil\_div\_var1 = \text{windiv}(soil, 4)$ ,
- 2).  $soil\_div\_var2 = \text{windiv}(soil, 16)$ .
- 3).  $soil\_div\_var3 = \text{windiv}(soil, 32)$ .

### 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 - целевые объекты.

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

В качестве сопротивления рассматриваются затраты, необходимые для преодоления единицы расстояния. В частности, это может быть время преодоления единицы пути или стоимость строительства дороги для единицы пути. Сопротивление может иметь постоянную величину или меняться по территории. В последнем случае оно представляется слоем сопротивления, задающим значение сопротивления в каждой ячейке раstra. Слой расстояний, полученный с учетом сопротивления, часто называют «стоимостным рельефом». Если сопротивление одинаково во всех ячейках и равно 1, то операция вычисляет абсолютные расстояния.

Z1 – входной слой номинального типа – целевые объекты

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 $Z2 = 1$ получаем абсолютные расстояния
------------------------------	--

Например, если использовать самый простой способ оценки абсолютного расстояния - вычисление Евклидового расстояния в единицах растра, то получим:

Z1			Z3 = spread (Z1, 1)																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <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="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <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 = spread (Z1, 1)																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <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="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <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																																						

Или другой пример:

Z1	Z2		Z3= spread (Z1, Z2)																																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <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="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <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="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <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 для данной территории.

Решение:

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

2) При условии, что расстояния вычислены в метрах, с помощью операции сравнения получим:  $zone = (welldist < 1000)$ .

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 того, чтобы в ячейку пришла вода из ближайшего к ней колодца.

Решение:  $time1 = spread(well, 3)$ .

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 (сек), необходимое для прохождения пожарной машиной 1 м пути, которое будет зависеть от отсутствия или наличия в ячейке дороги того или иного типа. Оно определяется 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) Применяя операцию перекодировки, из слоя *road* получим слой сопротивлений *time*:  $time = \text{recodel}(road, table)$ .

3) Используя дистанционное преобразование, получим результат:  $time2 = \text{spread}(firestat, time)$ .

### **Анализ рельефа**

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

Анализ рельефа выполняется при проведении 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 применяются и для растровых слоев, трактуемых как «стоимостной рельеф» и рассматриваемых при решении задач ландшафтного планирования, экономической географии и др.

#### **Крутизна и экспозиция склонов**

Крутизна склона (уклон) - это угол между горизонтальной плоскостью и плоскостью, касательной к земной поверхности в

некоторой точке. Уклон, как правило, измеряют в градусах (изменяется от 0 до 90°). Формула для вычисления уклона в точке с координатами (X, Y) и высотой Z в рельефе имеет вид:

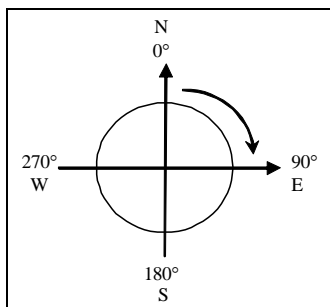
$$\frac{360}{2\pi} \operatorname{arctg} \sqrt{\left(\frac{\partial Z}{\partial X}\right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial Y}\right)^2},$$

а ее сеточная аппроксимация на основе ЦМР:

$$\frac{360}{2\pi} \operatorname{arctg} \sqrt{\left(\frac{z(x+h, y) - z(x-h, y)}{2h}\right)^2 + \left(\frac{z(x, y+h) - z(x, y-h)}{2h}\right)^2},$$

где (x, y) – координаты центра ячейки, в которой вычисляется оценка; h – шаг сетки (h = a = b для регулярной растровой сетки с квадратными ячейками); z(·, ·) - значение ЦМР в соответствующей ячейке.

Экспозиция - это угол, отсчитываемый по часовой стрелке (см. рисунок) между направлением на Север и направлением вектора градиента (направлением «самого крутого подъёма») в точке.



Экспозиция (в градусах, изменяется от 0° до 360°) определяется по формуле:

$$270 - \frac{360}{2\pi} \operatorname{arctg}\left(\frac{\partial Z}{\partial Y} / \frac{\partial Z}{\partial X}\right),$$

а ее аппроксимация по ЦМР будет:

$$270 - \frac{360}{2\pi} \arctg \left( \frac{z(x, y + h) - z(x, y - h)}{2h} / \frac{z(x + h, y) - z(x - h, y)}{2h} \right).$$

Z1 – входной слой скалярного типа - рельеф

Z2 – новый слой скалярного типа - крутизна склонов

Z2 = slope (Z1)	значение уклона в градусах
-----------------	----------------------------

Z1 – входной слой скалярного типа - рельеф

Z2 – новый слой скалярного типа - экспозиция склонов

Z2 = aspect (Z1)	значение экспозиции в градусах от 0 до 360 по часовой стрелке, где Северу соответствует 0 градусов
------------------	--

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

Решение: *myslope* = slope (*topo*).

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

Решение: *myslope1* = slope (*myslope*).

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

Решение:

1) создаем слой экспозиций склонов: *myasp1* = 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:

$myasp2 = \text{recode3}(myasp1, \text{legend})$ .

Зоны видимости

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

Z3 = 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:  $viszone = \text{visible}(topo, \text{firestat})$ .

Направление локальных потоков (LDD)

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

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

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

Z2 = ldd (Z1)

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 исследуемой территории.

Ячейки с кодом 5, расположенные не на краю карты, называют «ямками». «Ямка» окружена ячейками с большей высотой, чем в ней самой. Как результат, из «ямки» невозможен сток в соседние ячейки.



Надо отметить, что возможны два вида «ямок». «Ямки» первого вида – следствие реальных понижений местности и карстовых воронок в ландшафте. На таком понижении «ямка» будет находиться в ячейке с наименьшей высотой. «Ямки» второго вида являются артефактом модели вследствие дискретизации поверхности высот на ЦМР. Такие «ямки» находятся 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 рельефе (или стоимостном рельефе) пойдет поток из заданных 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 = 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 источников? (в «ямках»)

Решение:  $flow = path(well, myLDD)$ .

### 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 не используется для застройки, на нем нет дорог и водных объектов,
- 2) в радиусе 5 км нет промышленных предприятий, карьеров (рудников) и свалок,
- 3) крутизна рельефа не более 8 градусов,
- 4) расстояние до шоссе менее 1.5 км,

Замечание: зона, занимаемая спорткомплексом, должна быть связной.

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*.

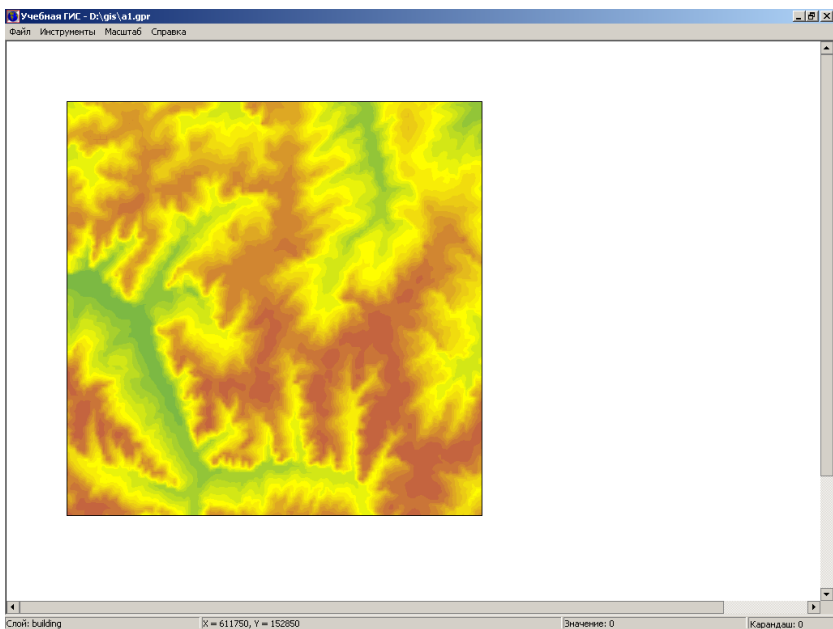
## УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА GISPROG

Для выполнения практических заданий по курсу «ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ» используется учебная программа GISPROG, разработанная в Казанском университете. Эта несложная растровая ГИС специально создана для образовательных целей; ее структура и основные функции сходны с теми, что реализованы в дорогих промышленных ГИС-пакетах. Ограничением программы является использование для представления пространственной информации в рамках растровой модели данных регулярной квадратной сетки фиксированного размера - 511×511 ячеек.

Основной файловой единицей программы является *проект* – текстовый файл формата \*.grg, содержащий информацию о координатах исследуемой территории и список картографических слоев, включенных в проект, с указанием расположения слоев относительно друг друга. Имя файла проекта отображается в заголовке *главного окна* программы. Координаты проекта, список слоев, их свойства отображаются и редактируются в *окне управления слоями*.

### Главное окно программы

Главное окно программы отображает на экране *главное меню*, *информационную панель* и текущую карту.



## Главное меню

Пункт главного меню **Файл** предназначен для действий с проектами:

Новый проект - создает новый проект.

Открыть проект - открывает существующий проект.

Сохранить проект - сохраняет текущий проект.

Сохранить проект как ... - сохраняет текущий проект под новым именем.

Закрыть проект - закрывает текущий проект.

Выход - выход из программы.

Пункт главного меню **Инструменты** предоставляет различные средства для работы с информацией:

Панель инструментов - показывает или скрывает *панель инструментов*,

Управление слоями - открывает *окно управления слоями*,  
Легенда текущего слоя - открывает *окно легенды* активного слоя,  
Информация по координатам точки - открывает *окно информации*,  
Рисование по текущему слою - включает *режим «рисования»* по активному слою.

Пункт главного меню **Масштаб** предоставляет возможность изменить масштаб визуализируемой геоинформации:

Увеличить – переход в режим курсора «увеличение масштаба»,  
Уменьшить – переход в режим курсора «уменьшение масштаба»,  
Минимальный - уменьшает масштаб карты до минимума: 1 ячейка соответствует 1 точке экрана.

Пункт главного меню **Справка** предоставляет справочную информацию:

Содержание - показывает страницу содержания справки,  
Индекс - показывает страницу индекса справки,  
О программе - открывает окно "О программе".

### **Информационная панель**

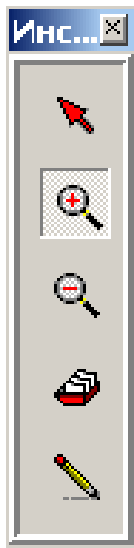
На информационной панели внизу главного окна можно увидеть:

Слой - показывает, какой слой является активным (выбранным в списке слоев в *окне управления слоями*),  
X =, Y = - координаты точки под мышью,  
Значение - числовое значение под мышью в ячейке активного слоя,

Карандаш - целочисленное значение, которое будет использоваться для «рисования» по активному слою (целочисленного типа). Щелчок левой кнопки мыши в этой области вызывает легенду активного слоя.

### Панель инструментов




Панель инструментов служит для быстрого переключения между режимами курсора мыши, а также для вызова окна управления слоями.



1. курсор в режиме информации о текущей ячейке в *окне информации*,
2. курсор в режиме увеличения масштаба,
3. курсор в режиме уменьшения масштаба,
4. вызов *окна управления слоями*,
5. курсор в режиме «рисования» по активному слою.

### Окно информации

Данное окно предоставляет информацию о ячейке под указателем мыши (при нажатии ее левой кнопки).

Информация: Координаты: X = 613550, Y = 145250			
Имя слоя	Имя	Значение	Цвет
водные об	суша	0	
леса	культуры сосны	9	
почвы	Черноземы типичные	11	
рельеф	Веществ.	279.151	

В заголовке окна выводятся X и Y координаты текущей точки.

В самом окне для каждого из слоев (помеченных в списке слоев «галочкой» во второй позиции) представлена следующая информация:

Имя слоя - имя слоя, определяемое в окне управления слоями.

Имя - для слоев номинального типа выводится символическое обозначение значения в данной ячейке (определяемое в легенде слоя); для слоев вещественного типа и LDD выводятся надписи: "Веществ." и "LDD", соответственно.

Значение - значение слоя в данной ячейке.

Цвет – цвет, соответствующий значению в ячейке (определяемый в легенде слоя). Для LDD слоев выводится стрелка, соответствующая направлению стока.

### **Режим «рисования»**

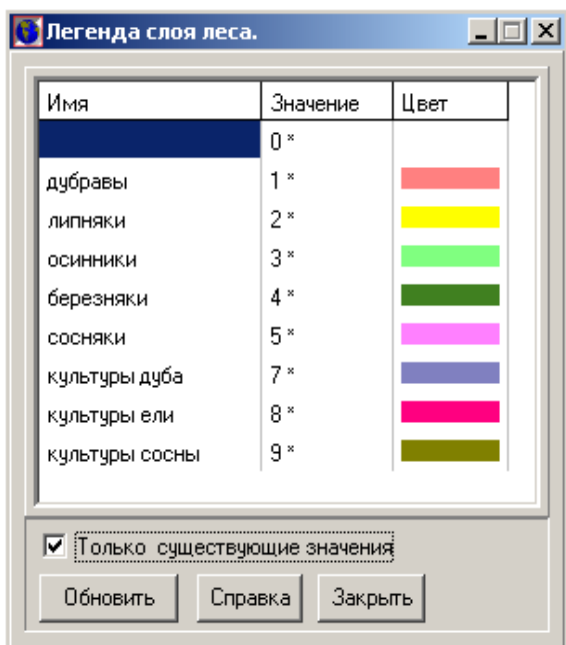
Этот режим предназначен для ручного задания новых значений в ячейках активного слоя номинального типа. Сначала в легенде активного слоя выбирается нужное значение. Далее на карте главного окна указываются ячейки, куда необходимо занести данное значение. Эти ячейки сразу отображаются цветом, соответствующим данному значению в легенде слоя.



## Окно легенды

Для картографического представления (визуализации) растровых слоев проекта создаются легенды, определяющие какие цвета будут использоваться для отображения значений ячеек того или иного слоя.

### Легенда номинального слоя



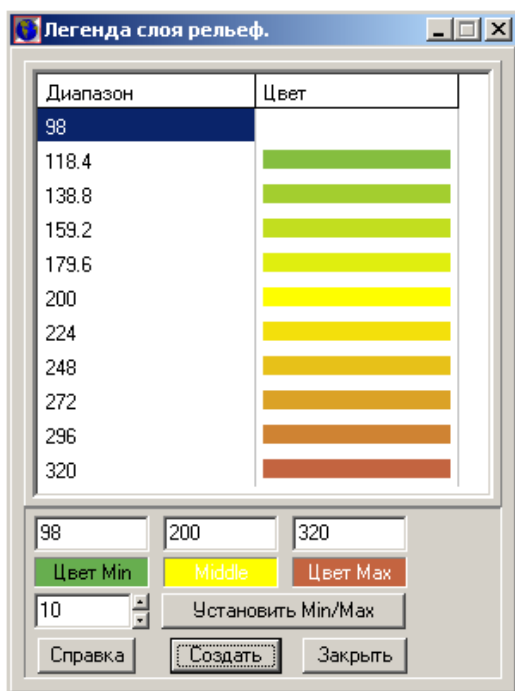
Первая колонка легенды номинального слоя – «Имя» - определяет символьные выражения для значений слоя. Вход в режим редактирования имен осуществляется двойным щелчком левой кнопки мыши в этой колонке или нажатием клавиши F2.

Вторая колонка – «Значение» - показывает целочисленные значения, причем если в слое есть хоть одна ячейка с данным значением, то оно помечается символом \*. Внизу окна

находится пометка «Показывать только существующие значения»: если в ней поставить «галочку», то в легенде будут выводиться только присутствующие в слое значения (с символом \*). Кнопка «Обновить» перепроверяет присутствие значений в слое.

Третья колонка – «Цвет» - определяет цвета для значений, которые будут использоваться при отображении слоя в главном окне программы. Чтобы изменить цвет нужно щелкнуть левой кнопкой мыши в этой колонке или нажать клавишу F3. Откроется стандартное окно выбора цвета Windows, в котором можно будет подобрать желаемый цвет.

### Легенда скалярного слоя



Колонки легенды скалярного слоя «Диапазон» и «Цвет» определяют диапазоны числовых значений ячеек текущего слоя, а также цвет для отображении этих диапазонов на карте в главном окне программы. Каждый диапазон имеет «верхнюю» и «нижнюю» границы. Спектр диапазонов непрерывен, то есть нижняя граница одного диапазона служит верхней границей следующего за ним диапазона. Верхняя граница в отличие от нижней является включительной (значение равное верхней границе будет включаться в диапазон). Индикатор цвета находится на одной строчке с нижней границей диапазона.

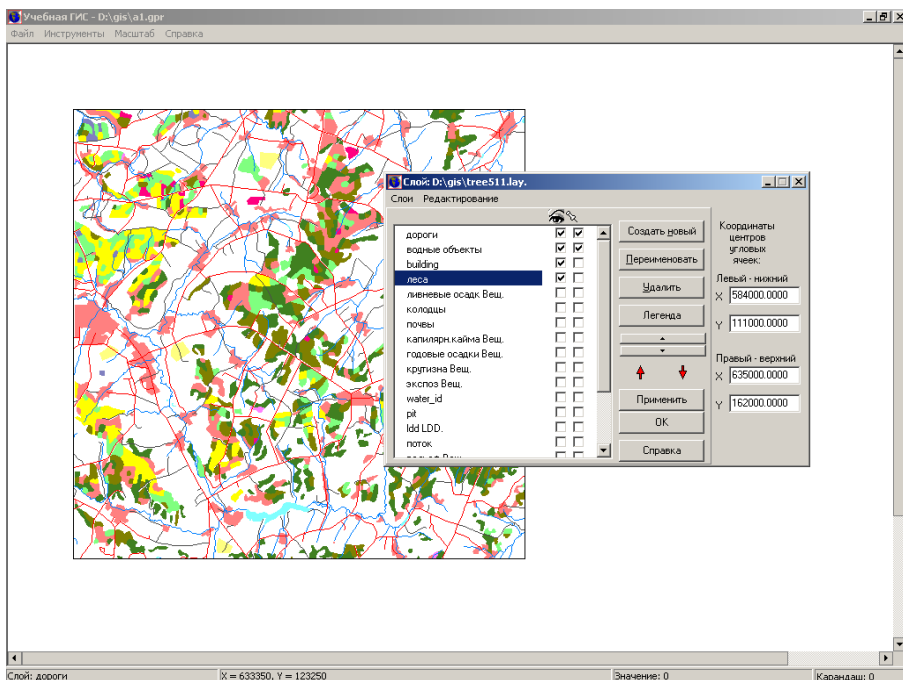
Границы и цвета диапазонов могут быть изменены. Для автоматического создания новой цветовой шкалы внизу окна находятся три поля ввода: минимального, среднего и максимального значений переменной слоя, и три, соответствующие им, цветовых поля. Щелчок левой кнопки мыши на этих полях вызовет стандартный диалог выбора цвета. Ниже расположено поле ввода количества диапазонов, на которые будет разбит весь интервал от минимума до максимума. Операция создания или изменения цветовой шкалы производится после нажатия кнопки «Создать».

Границы и цвет диапазонов могут быть также изменены вручную. Для редактирования границы на ней нужно дважды щелкнуть левой кнопкой мыши или нажать клавишу "F2". Чтобы изменить цвет диапазона, нужно нажать клавишу "F3" или щелкнуть левой клавишей мыши в поле индикатора цвета.

## **Окно управления слоями**

В этом окне выполняются все операции над слоями проекта и самим проектом. Окно содержит поля для задания

координат проекта, список слоев проекта, меню и управляющие кнопки. Слой, выбранный в списке слоев, считается активным.



**Координаты** проекта задаются указанием координат центров угловых ячеек раstra – левой-нижней и правой-верхней. Эта информация используется для всех операций над слоями, связанных с координатами – определение расстояний, площадей и пр. При создании нового проекта по умолчанию выставляются следующие координаты углов:  $X_1 = 0$ ,  $Y_1 = 0$ ;  $X_2 = 511$ ,  $Y_2 = 511$ .

### **Список слоев**

Растровые слои могут быть добавлены в проект либо открытием *файлов* формата \*.lay, либо путем созданием нового

слоя. Файлы слоев могут разделяться между несколькими проектами, т.е. один и тот же файл слоя может быть задействован в нескольких проектах. При этом изменение слоя в любом из проектов автоматически повлечет изменение в других, содержащих этот слой.

Отображаемый в окне список слоев проекта:

- Показывает, какие слои и соответствующие им файлы слоев задействованы в проекте. Полный путь к файлу активного (выбранного в списке) слоя отображается в заголовке окна.
- Определяет расположение слоев относительно друг друга, что влияет на конечный вид карты. Переместить слой можно путем перетаскивания его мышью, а также при помощи кнопок со стрелками (кнопки с красными стрелками перемещают слой в начало/конец списка, а с маленькими черными стрелками - на одну позицию вверх/вниз).
- Позволяет задать режим отображения информации для каждого слоя с помощью пометок напротив названия слоя. «Галочка» в первой позиции означает видимость слоя (слой будет отображаться на карте в главном окне программы). «Галочка» во второй позиции означает, что информация с данного слоя будет выводиться в *окне информации*.
- Служит для определения имени слоя. По умолчанию при создании нового слоя ему присваивается название «Нет имени». Для его изменения можно нажать кнопку «Переименовать», либо щелкнуть на нужном слое правой

кнопкой мыши, после чего активизируется поле имени, где можно ввести необходимое значение.

### **Меню -> Слои**

Пункт меню **Слои** предназначен для манипулирования слоями внутри проекта.

**Создать новый** – создает новый слой; при этом необходимо задать:

- имя соответствующего файла слоя,
- тип данных слоя (непрерывные или номинальные).

**Открыть** - открывает существующий файл слоя; если файл уже используется текущим проектом, то будет выдана ошибка.

**Удалить** – удаляет активный слой из проекта.

**Сохранить** – сохраняет активный слой проекта в соответствующем файле слоя.

**Сохранить как ...** - сохраняет активный слой проекта в новом файле, после чего данный слой текущего проекта будет связан уже с этим файлом.

**Сохранить все** – сохраняет все произведенные изменения как в файле самого проекта, так и в файлах всех его слоев.

### **Меню -> Редактирование - операции над слоями**

Пункт меню **Редактирование** предоставляет средства для выполнения *операций над растровыми слоями*.

**Очистить** – заполняет ячейки активного слоя номинального типа значениями равными 0.

**Импорт** – осуществляет импорт из различных источников в активный слой:

- импорт данных из файла \*.grd программы Surfer в активный слой вещественного типа; размер файла должен быть 512×512 точек;
- импорт из файла \*.bmp в активный слой номинального типа; размер файла должен быть 512×512 пикселей, 256 цветов;
- импорт данных из файла \*.mif программы MapInfo в активный слой номинального типа с учетом координат;
- перенос данных из файла слоя \*.lay программы GISPROG в активный слой проекта; импортируются тип слоя, значения ячеек и легенда.

Точечные операции – вызывает операции **алгебры карт**:

Подпункт «Мат.операции с вещественными слоями» - *арифметические* операции и операции *сравнения*,

Подпункт «Перекодировка слоев вещ. -> целочисл.» - операция *перекодировки recode3*,

Подпункт «Перекодировка слоев целочисл. -> вещ.» - операция *перекодировки recode1*,

Подпункт «Классификация целочисленных слоев» - операции *перекодировки recode1, recode2, условный оператор*,

а также, подпункт «Идентификация объектов» - операцию *выделения и идентификации связанных объектов slimp*.

Операции окружения - позволяет выполнять предусмотренные программой **операции с объектами**, а также **операции, учитывающие пространственный контекст**:

Подпункт «Площадные операции -> Подсчет площади» - операцию *objectArea*,

Подпункт «Площадные операции -> Вычисление значений» - операции вычисления статистик *objectAverage*, *objectMin*, *objectMax*,

Подпункт «Оконные функции» - операции *winave* и *windiv* в скользящем окне,

Подпункт «Карта расстояний» - *дистанционное преобразование spread*,

Подпункт «Область видимости» - операция *visible*,

Подпункт «Угол и наклон» - операции *aspect* и *slope*,

Подпункт «LDD» - операция *ldd определения направлений локальных потоков*,

Подпункт «Дренажный анализ и пути» - операция *path определения путей нисходящих потоков*.



## ЛИТЕРАТУРА

1. *Савельев А.А.* Моделирование пространственной структуры растительного покрова (геоинформационный подход) / Казань: Казанский гос. университет, 2004. 244 с.
2. *Савельев А.А., Мухарамова С.С., Пилюгин А.Г.* Пространственный анализ в растровых геоинформационных системах. Учебно-методическое пособие / Казань: «Казанский государственный университет им. В.И. Ульянова-Ленина», 2007. 30 с.
3. *Савельев А.А., Мухарамова С.С., Пилюгин А.Г.* Учебная программа GISPROG. Учебно-методическое пособие / Казань: «Казанский государственный университет им. В.И. Ульянова-Ленина», 2007. 14 с.
4. *Савельев А.А., Мухарамова С.С., Пилюгин А.Г., Чижикова Н.А.* Геостатистический анализ данных в экологии и природопользовании (с применением пакета R). Учебное пособие / Казань: Издательство Казанского университета, 2012. - 120 с.
5. *Мальцев К.А., Мухарамова С.С.* Построение моделей пространственных переменных (с применением пакета Surfer). Учебное пособие / Казань: Казанский университет, 2014. 103 с.
6. *Свидзинская Д.* Основные геоморфометрические параметры: теория. GIS-Lab.info (<http://gis-lab.info/qa/geomorphometric-parameters-theory.html>).
7. *DeMers M.N.* GIS Modeling in Raster / New York: John Wiley & Sons, 2001. 208 p.
8. *Karssenberг D., Burrough P.A., Raymond S., Kor de Jong.* The PCRaster Software and Course Materials for Teaching Numerical

- Modelling in the Environmental Sciences // Transactions in GIS. 2001. Vol. 5, Iss. 2, P. 99–110.
9. *Neteler M., Mitasova H.* Open Source GIS: A GRASS GIS Approach / New York: Springer, 2008. 420 p.
10. *Saveliev A.A., Mukharamova S.S., Chizhikova N.A., Budgey R., Zuur A.F.* Spatially continuous data analysis and modelling. Chapter 19. P. 341-372. // *Analysing ecological data.* / A.F. Zuur, E.N. Ieno, G.M. Smith / Springer-Verlag, 2007. 672 p.
11. Surfer Users Guide. Golden Software Inc. URL: [http://www.wi.zut.edu.pl/gis/Surfer\\_8\\_Guide.pdf](http://www.wi.zut.edu.pl/gis/Surfer_8_Guide.pdf), <http://downloads.goldensoftware.com/guides/Surfer10Guide.pdf>, [http://downloads.goldensoftware.com/guides/Surfer12\\_Users\\_Guide\\_Preview.pdf](http://downloads.goldensoftware.com/guides/Surfer12_Users_Guide_Preview.pdf)
12. *Tomlin C.D.* Geographic Information Systems and Cartographic Modelling / Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1990.

*Учебное издание*

# **Основы пространственного анализа в растровых ГИС**

Учебно-методическое пособие

Дизайн обложки

***М.А. Ахметов***

Подписано в печать 00.00.2015.

Бумага офсетная. Печать ризографическая.

Формат 60x84 1/16. Гарнитура «Times New Roman».

Усл. печ. л. 0,00. Уч.-изд. л. 0,0. Тираж 100 экз. Заказ 000.

Отпечатано с готового оригинал-макета  
в лаборатории оперативной полиграфии Издательства КФУ

420012, г. Казань, ул. Бутлерова, 4  
тел. (843) 291-13-88, 291-13-47