

# Наука о данных в R для программы Цифровых гуманитарных исследований

Г. А. Мороз, И. С. Поздняков



# Оглавление

<b>1</b>	<b>О курсе</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Введение в R</b>	<b>7</b>
2.1	Наука о данных . . . . .	7
2.2	Установка R и RStudio . . . . .	8
2.3	Полезные ссылки . . . . .	9
2.4	Rstudio . . . . .	9
2.5	Введение в R . . . . .	10
2.6	Типы данных . . . . .	18
2.7	Вектор . . . . .	21
2.8	Матрицы (matrix) . . . . .	34
2.9	Списки (list) . . . . .	38
2.10	Датафрейм . . . . .	40
2.11	Начинаем работу с реальными данными . . . . .	43
2.12	Препроцессинг данных в R . . . . .	46
<b>3</b>	<b>Задания</b>	<b>55</b>
3.1	Вектор . . . . .	55
3.2	Вектор. Операции с векторами . . . . .	56
3.3	Вектор. Индексирование . . . . .	57
3.4	Матрицы . . . . .	58
3.5	Списки . . . . .	59
3.6	Создание функций . . . . .	61
<b>4</b>	<b>Решения заданий</b>	<b>63</b>
4.1	Вектор . . . . .	63
4.2	Вектор. Операции с векторами . . . . .	65
4.3	Вектор. Индексирование . . . . .	66
4.4	Матрицы . . . . .	68
4.5	Списки . . . . .	70
4.6	Создание функций . . . . .	72
4.7	Семейство apply() . . . . .	74



## Глава 1

# О курсе

Материалы для курса Наука о данных для магистерской программы Цифровых гуманитарных исследования НИУ ВШЭ.



## Глава 2

# Введение в R

### 2.1 Наука о данных

Наука о данных — это новая область знаний, которая активно развивается в последнее время. Она находится на пересечении компьютерных наук, статистики и математики, и трудно сказать, действительно ли это наука. При этом это движение развивается в самых разных научных направлениях, иногда даже оформляясь в отдельную отрасль:

- биоинформатика
- вычислительная криминалистика
- цифровые гуманитарные исследования
- датажурналистика
- ...

Все больше книг “Data Science for ...”:

- psychologists (Hansjörg, 2019)
- immunologists (Thomas and Pallett, 2019)
- business (Provost and Fawcett, 2013)
- public policy (Brooks and Cooper, 2013)
- fraud detection (Baesens et al., 2015)
- ...

Среди умений датасаентистов можно перечислить следующие:

- сбор и обработка данных
- трансформация данных
- визуализация данных
- статистическое моделирование данных
- представление полученных результатов
- организация всей работы **воспроизводимым способом**

Большинство этих тем в той или иной мере будет представлено в нашем курсе.

## 2.2 Установка R и RStudio

В данной книге используется исключительно R (R Core Team, 2019), так что для занятий понадобятся:

- R
  - на Windows<sup>1</sup>
  - на Mac<sup>2</sup>
  - на Linux<sup>3</sup>, также можно добавить зеркало и установить из командной строки:

```
sudo apt-get install r-cran-base
```

- RStudio — IDE для R (можно скачать здесь<sup>4</sup>)
- и некоторые пакеты на R

Часто можно увидеть или услышать, что R — язык программирования для “статистической обработки данных”. Изначально это, конечно, было правдой, но уже давно R — это полноценный язык программирования, который при помощи своих пакетов позволяет решать огромный спектр задач. В данной книге используется следующая версия R:

```
## [1] "R version 4.0.2 (2020-06-22)"
```

Некоторые люди не любят устанавливать лишние программы себе на компьютер, несколько вариантов есть и для них:

- RStudio cloud<sup>5</sup> — полная функциональность RStudio, пока бесплатная, но скоро это исправят;
- RStudio on rollApp<sup>6</sup> — облачная среда, позволяющая разворачивать программы.

Первый и вполне закономерный вопрос: зачем мы ставили R и отдельно еще какой-то RStudio? Если опустить незначительные детали, то R — это сам язык программирования, а RStudio — это среда (IDE), которая позволяет в этом языке очень удобно работать.

---

<sup>1</sup><https://cran.r-project.org/bin/windows/base/>

<sup>2</sup><https://cran.r-project.org/bin/macosx/>

<sup>3</sup><https://cran.rstudio.com/bin/linux/>

<sup>4</sup><https://www.rstudio.com/products/rstudio/download/>

<sup>5</sup><https://rstudio.cloud/>

<sup>6</sup><https://www.rollapp.com/app/rstudio>



## 2.3 Полезные ссылки

В интернете легко найти документацию и tutorиалы по самым разным вопросам в R, так что главный залог успеха — грамотно пользоваться поисковиком, и лучше на английском языке.

- книга (Wickham and Grolemund, 2016)<sup>7</sup> является достаточно сильной альтернативой всему курсу
- [stackoverflow](https://stackoverflow.com)<sup>8</sup> — сервис, где достаточно быстро отвечают на любые вопросы (не обязательно по R)
- [RStudio community](https://community.rstudio.com/)<sup>9</sup> — быстро отвечают на вопросы, связанные с R
- [русский stackoverflow](https://ru.stackoverflow.com)<sup>10</sup>
- [R-bloggers](http://r-bloggers.com)<sup>11</sup> — сайт, где собираются новинки, связанные с R
- чат<sup>12</sup>, где можно спрашивать про R на русском (но почитайте правила чата<sup>13</sup>, перед тем как спрашивать)
- чат<sup>14</sup> по визуализации данных, чат<sup>15</sup> датажурналистов
- канал про визуализацию<sup>16</sup>, дата-блог “Новой газеты”<sup>17</sup>, ...

## 2.4 Rstudio

Когда вы откроете RStudio первый раз, вы увидите три панели: консоль, окружение и историю, а также панель для всего остального. Если ткнуть в консоли на значок уменьшения, то можно открыть дополнительную панель, где можно писать скрипт.

---

<sup>7</sup><https://r4ds.had.co.nz/>

<sup>8</sup><https://stackoverflow.com>

<sup>9</sup><https://community.rstudio.com/>

<sup>10</sup><https://ru.stackoverflow.com>

<sup>11</sup><https://www.r-bloggers.com/>

<sup>12</sup>[https://t.me/r\\_lang\\_ru](https://t.me/r_lang_ru)

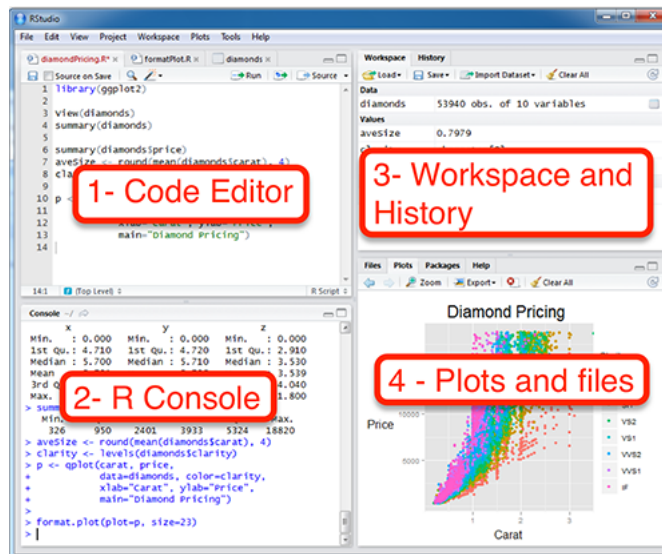
<sup>13</sup><https://github.com/r-lang-group-ru/group-rules/blob/master/README.md>

<sup>14</sup><https://t.me/joinchat/CxZg5goGc6rlWGjcv0YrpA>

<sup>15</sup><https://t.me/ddjrus>

<sup>16</sup><https://t.me/chartomojka>

<sup>17</sup>[https://t.me/novaya\\_data](https://t.me/novaya_data)



Существуют разные типы пользователей: одни любят работать в консоли (на картинке это 2 — R Console), другие предпочитают скрипты (1 — Code Editor). Консоль позволяет использовать интерактивный режим команда-ответ, а скрипт является по сути текстовым документом, фрагменты которого можно для отладки запускать в консоли.

3 — **Workspace and History**: Здесь можно увидеть переменные. Это поле будет автоматически обновляться по мере того, как Вы будете запускать строчки кода и создавать новые переменные. Еще там есть вкладка с историей последних команд, которые были запущены.

4 — **Plots and files**: Здесь есть очень много всего. Во-первых, небольшой файловый менеджер, во-вторых, там будут появляться графики, когда вы будете их рисовать. Там же есть вкладка с вашими пакетами (Packages) и Help по функциям. Но об этом потом.

## 2.5 Введение в R

### 2.5.1 R как калькулятор

Ой-ей, консоль, скрипт че-то все непонятно.

Давайте начнем с самого простого и попробуем использовать R как простой калькулятор. +, -, \*, /, ^ (степень), () и т.д.

Просто запускайте в консоли пока не надоест:

```
40 + 2
```

```
## [1] 42
```

```
3 - 2
```

```
## [1] 1
```

```
5 * 6
```

```
## [1] 30
```

```
99 / 9
```

```
## [1] 11
```

```
2 ^ 3
```

```
## [1] 8
```

```
(2 + 2) * 2
```

```
## [1] 8
```

Ничего сложного, верно? Вводим выражение и получаем результат. Порядок выполнения арифметических операций как в математике, так что не забывайте про скобочки.

Если Вы не уверены в том, какие операции имеют приоритет, то используйте скобочки, чтобы точно обозначить, в каком порядке нужно производить операции.

### 2.5.2 Функции

Давайте теперь извлечем корень из какого-нибудь числа. В принципе, тем, кто помнит школьный курс математики, возведения в степень вполне достаточно:

```
16 ^ 0.5
```

```
## [1] 4
```

*How to actually learn any new programming concept*



*Essential*

Changing Stuff and  
Seeing What Happens

O RLY?

@ThePracticalDev

Рис. 2.1

Ну а если нет, то можете воспользоваться специальной **функцией**: это обычно какие-то буквенные символы с круглыми скобками сразу после названия функции. Мы подаем на вход (внутри скобочек) какие-то данные, внутри этих функций происходят какие-то вычисления, которые выдают в ответ какие-то другие данные (или же функция записывает файл, рисует график и т.д.).

Данные на входе называются **аргументом** функции, а иногда — **параметром** функции. В обыденной речи часто говорят **инпут** (калька с английского *input*).

Вот, например, функция для корня:

```
sqrt(16)
```

```
## [1] 4
```

R — case-sensitive язык, т.е. регистр важен. `SQRT(16)` не будет работать.

А вот так выглядит функция логарифма:

```
log(8)
```

```
## [1] 2.079442
```

Так, вроде бы все нормально, но... Если Вы еще что-то помните из школьной математики, то должны понимать, что что-то здесь не так.

Здесь не хватает основания логарифма!

Логарифм — показатель степени, в которую надо возвести число, называемое основанием, чтобы получить данное число.

То есть у логарифма 8 по основанию 2 будет значение 3:

$$\log_2 8 = 3$$

То есть если возвести 2 в степень 3 у нас будет 8:

$$2^3 = 8$$

Только наша функция считает все как-то не так.

Чтобы понять, что происходит, нам нужно залезть в хэлп этой функции:

```
?log
```

Справа внизу в RStudio появится вот такое окно:

Действительно, у этой функции есть еще аргумент `base`. По умолчанию он равен числу Эйлера (2.7182818...), т.е. функция считает натуральный логарифм. В большинстве функций R есть какой-то основной инпут — данные в том или

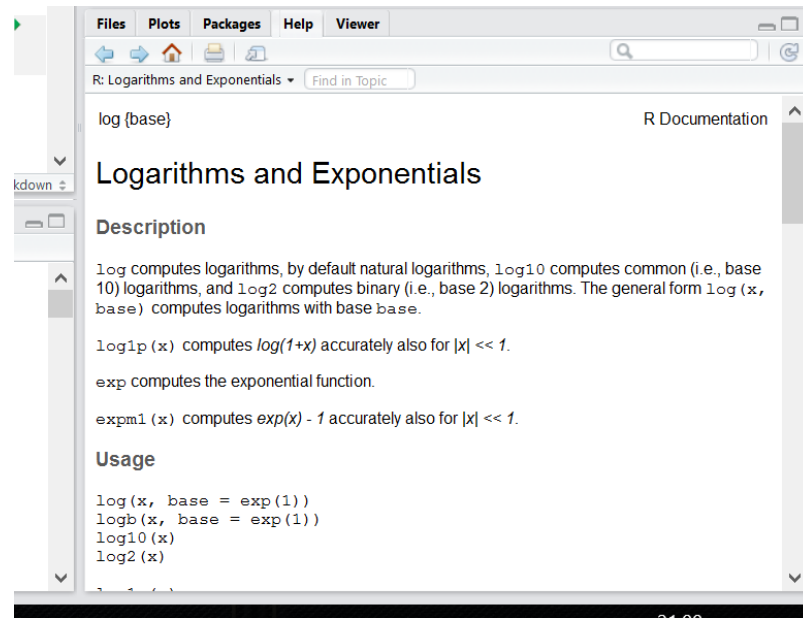


Рис. 2.2

ином формате, а есть и дополнительные параметры, которые можно прописывать вручную, если параметры по умолчанию вас не устраивают.

```
log(x = 8, base = 2)
```

```
## [1] 3
```

...или просто (если Вы уверены в порядке аргументов):

```
log(8, 2)
```

```
## [1] 3
```

Более того, Вы можете использовать результат выполнения одних функций в качестве аргумента для других:

```
log(8, sqrt(4))
```

```
## [1] 3
```

Если эксплицитно писать имена аргументов, то их порядок в функции не важен:

```
log(base = 2, x = 8)
```

```
## [1] 3
```

А еще можно недописывать имена аргументов, если они не совпадают с другими:

```
log(b = 2, x = 8)
```

```
## [1] 3
```

Мы еще много раз будем возвращаться к функциям. Вообще, функции — это одна из важнейших штук в R (примерно так же как и в Python). Мы будем создавать свои функции, использовать функции как инпут для функций и многое-многое другое. В R очень крутые возможности работы с функциями. Поэтому подружитесь с функциями, они клевые.

Арифметические знаки, которые мы использовали:  $+$ ,  $-$ ,  $/$ ,  $^$  и т.д. называются **операторами** и на самом деле тоже являются функциями:

```
'+'(3,4)
```

```
## [1] 7
```

### 2.5.3 Переменные

Важная штука в программировании на практически любом языке — возможность сохранять значения в **переменных**. В R это обычно делается с помощью вот этих символов: `<-` (но можно использовать и обычное `=`, хотя это не очень принято). Для этого есть удобное сочетание клавиш: нажмите одновременно `Alt` - (или `option` - на Mac).

```
a <- 2
a
```

```
## [1] 2
```

После присвоения переменная появляется во вкладке **Environment** в RStudio:

Можно использовать переменные в функциях и просто вычислениях:

```
b <- a ^ a + a * a
b
```

```
## [1] 8
```

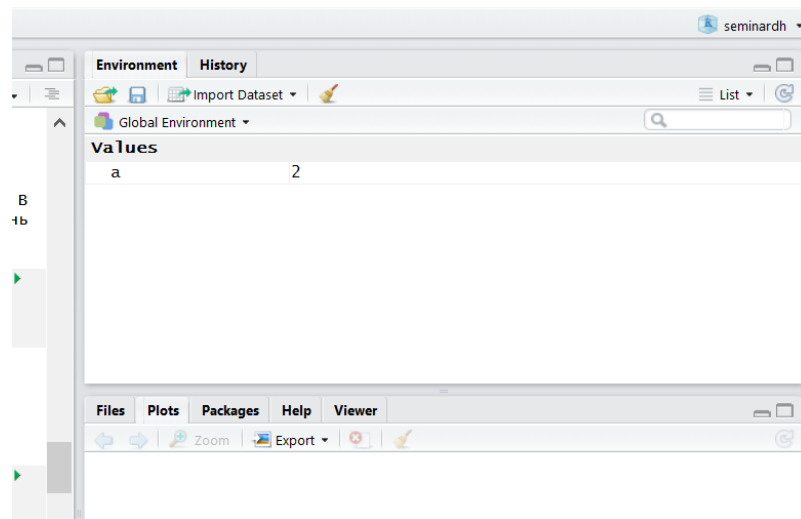


Рис. 2.3

```
log(b, a)
```

```
## [1] 3
```

Вы можете сравнивать разные переменные:

```
a == b
```

```
## [1] FALSE
```

Заметьте, что сравнивая две переменные мы используем два знака равно ==, а не один =. Иначе это будет означать присвоение.

```
a = b
a
```

```
## [1] 8
```

Теперь Вы сможете понять комикс про восстание роботов на следующей странице (пусть он и совсем про другой язык программирования)

Этот комикс объясняет, как важно не путать присваивание и сравнение (*хотя я иногда путаю до сих пор* = ( ).

Иногда нам нужно проверить на *неравенство*:



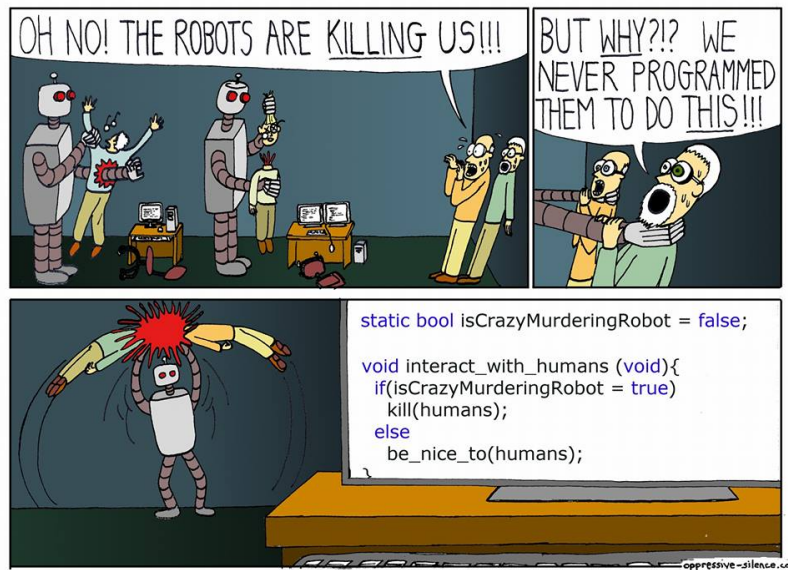


Рис. 2.4

```
a <- 2
```

```
b <- 3
```

```
a == b
```

```
## [1] FALSE
```

```
a != b
```

```
## [1] TRUE
```

Восклицательный язык в программировании вообще и в R в частности стандартно означает отрицание.

Еще мы можем сравнивать на больше/меньше:

```
a > b
```

```
## [1] FALSE
```

```
a < b
```

```
## [1] TRUE
```

```
a>=b
```

```
## [1] FALSE
```

```
a<=b
```

```
## [1] TRUE
```

## 2.6 Типы данных

До этого момента мы работали только с числами (numeric):

```
class(a)
```

```
## [1] "numeric"
```

Вообще, в R много типов numeric: integer (целые), double (с десятичной дробью), complex (комплексные числа). Последние пишутся так: `complexnumber <- 2+2i` Однако в R с этим обычно можно вообще не заморачиваться, R сам будет конвертировать между форматами при необходимости. Немного подробностей здесь:

Разница между numeric и integer<sup>18</sup>, Как работать с комплексными числами в R<sup>19</sup>

Теперь же нам нужно ознакомиться с двумя другими важными типами данных в R:

1. **character:** строки символов. Они должны выделяться кавычками. Можно использовать как `"`, так и `'` (что удобно, когда строчка внутри уже содержит какие-то кавычки).

```
s <- "      !"
s
```

```
## [1] "      !"
```

```
class(s)
```

```
## [1] "character"
```

2. **logical:** просто TRUE или FALSE.

<sup>18</sup><https://stackoverflow.com/questions/23660094/whats-the-difference-between-integer-class-and-numeric-class-in-r>

<sup>19</sup><http://www.r-tutor.com/r-introduction/basic-data-types/complex>

```
t1 <- TRUE
f1 <- FALSE

t1
```

```
## [1] TRUE
```

```
f1
```

```
## [1] FALSE
```

Вообще, можно еще писать Т и F (но не True и False!)

```
t2 <- T
f2 <- F
```

Это дурная практика, так как R защищает от перезаписи переменные TRUE и FALSE, но не защищает от этого Т и F

```
TRUE <- FALSE
```

```
## Error in TRUE <- FALSE:      (do_set)
```

```
TRUE
```

```
## [1] TRUE
```

```
T <- FALSE
T
```

```
## [1] FALSE
```

Теперь вы можете догадаться, что результаты сравнения, например, числовых или строковых переменных вы можете сохранять в переменные тоже!

```
comparison <- a == b
comparison
```

```
## [1] FALSE
```

Это нам очень понадобится, когда мы будем работать с реальными данными: нам нужно будет постоянно вытаскивать какие-то данные из датасета, а это как раз и построено на игре со сравнением переменных.

Чтобы этим хорошо уметь пользоваться, нам нужно еще освоить как работать с логическими операторами. Про один мы немного уже говорили — это не (!):

```
t1
```

```
## [1] TRUE
```

```
!t1
```

```
## [1] FALSE
```

```
!!t1 #      !
```

```
## [1] TRUE
```

Еще есть И (выдаст TRUE только в том случае если обе переменные TRUE):

```
t1 & t2
```

```
## [1] TRUE
```

```
t1 & f1
```

```
## [1] FALSE
```

А еще ИЛИ (выдаст TRUE в случае если хотя бы одна из переменных TRUE):

```
t1 | f1
```

```
## [1] TRUE
```

```
f1 | f2
```

```
## [1] FALSE
```

Если кому-то вдруг понадобится другое ИЛИ (строгое ЛИБО) — есть функция `xor()`, принимающая два аргумента.

Поздравляю, мы только что разобрались с самой занудной (хотя и важной) частью. Пора переходить к чему-то более интересному и специфическому для R. Вперед к ВЕКТОРАМ!

## 2.7 Вектор

Если у вас не было линейной алгебры (или у вас с ней было все плохо), то просто запомните, что **вектор** (или **atomic vector** или **atomic**) — это набор (столбик) чисел в определенном порядке.

Если вы привыкли из школьного курса физики считать вектора стрелочками, то не спешите возмущаться и паниковать. Представьте стрелочки как точки из нуля координат  $\{0,0\}$  до какой-то точки на координатной плоскости, например,  $\{2,3\}$ :

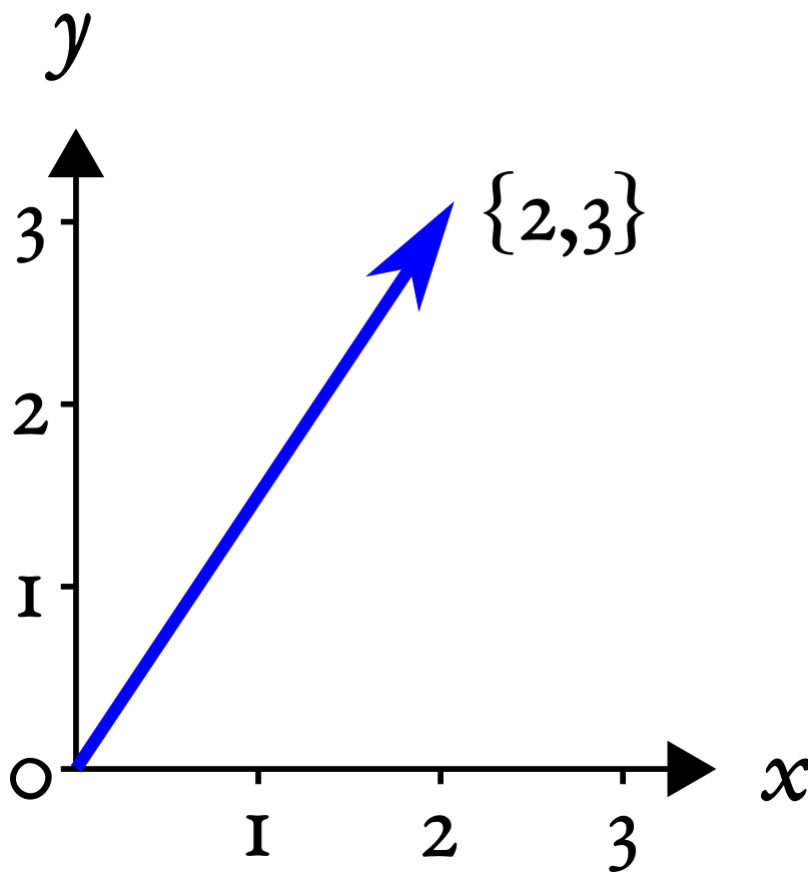


Рис. 2.5

Вот последние два числа и будем считать вектором. Попробуйте теперь мысленно стереть координатную плоскость и выбросить стрелочки из головы, оставив только последовательность чисел  $\{2,3\}$ :

На самом деле, мы уже работали с векторами в  $\mathbb{R}$ , но, возможно, Вы об этом даже не догадывались. Дело в том, что в  $\mathbb{R}$  нет как таковых “значений”, есть вектора длиной 1. Такие дела!

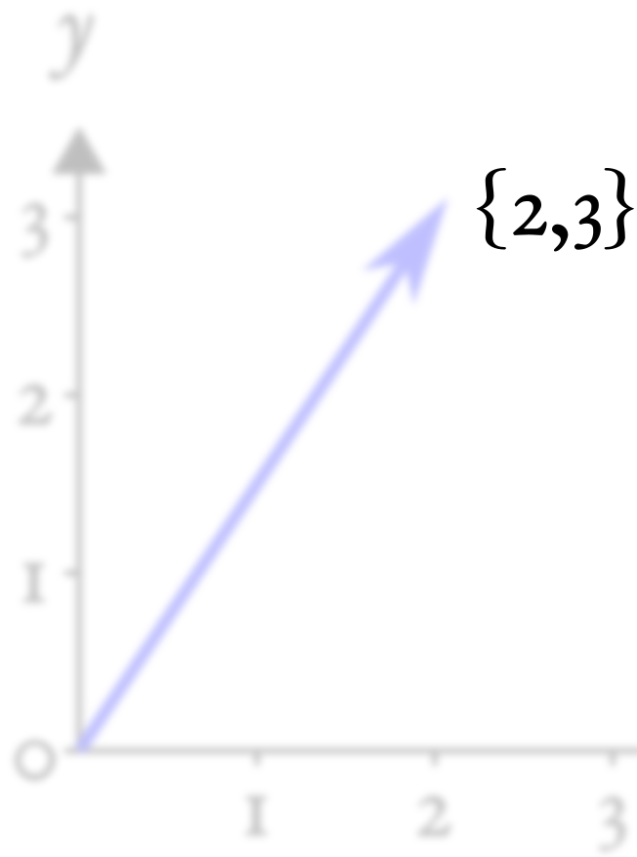


Рис. 2.6

Чтобы создать вектор из нескольких значений, нужно воспользоваться функцией `c()`:

```
c(4, 8, 15, 16, 23, 42)
```

```
## [1] 4 8 15 16 23 42
```

```
c(" ", " ", " ", " ", " ")
```

```
## [1] " " " " " " "
```

Одна из самых мерзких и раздражающих причин ошибок в коде — это использование из кириллицы вместо с из латиницы. Видите разницу? И я не вижу. А R видит. И об этом сообщает:

```
(3, 4, 5)
```

```
## Error in (3, 4, 5): " "
```

Для создания числовых векторов есть удобный оператор :

```
1:10
```

```
## [1] 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
```

```
5:-3
```

```
## [1] 5 4 3 2 1 0 -1 -2 -3
```

Этот оператор создает вектор от первого числа до второго с шагом 1. Вы не представляете, как часто эта штука нам пригодится... Если же нужно сделать вектор с другим шагом, то есть функция `seq()`:

```
seq(10,100, by = 10)
```

```
## [1] 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
```

Кроме того, можно задавать не шаг, а длину вектора. Тогда шаг функция `seq()` посчитает сама:

```
seq(1,13, length.out = 4)
```

```
## [1] 1 5 9 13
```

Другая функция — `rep()` — позволяет создавать вектора с повторяющимися значениями. Первый аргумент — значение, которое нужно повторять, а второй аргумент — сколько раз повторять.

```
rep(1, 5)
```

```
## [1] 1 1 1 1 1
```

И первый, и второй аргумент могут быть векторами!

```
rep(1:3, 3)
```

```
## [1] 1 2 3 1 2 3 1 2 3
```

```
rep(1:3, 1:3)
```

```
## [1] 1 2 2 3 3 3
```

Еще можно объединять вектора (что мы, по сути, и делали, просто с векторами длиной 1):

```
v1 <- c("Hey", "Ho")
v2 <- c("Let's", "Go!")
c(v1, v2)
```

```
## [1] "Hey"    "Ho"      "Let's"   "Go!"
```

### 2.7.1 Приведение типов

Что будет, если вы объедините два вектора с значениями разных типов? Ошибка?

Мы уже обсуждали, что в *atomic* может быть только один тип данных. В некоторых языках программирования при операции с данными разных типов мы бы получили ошибку. А вот в R при несовпадении типов произойдет попытка привести типы к “общему знаменателю”, то есть конвертировать данные в более “широкий” тип.

Например:

```
c(FALSE, 2)
```

```
## [1] 0 2
```

FALSE превратился в 0 (а TRUE превратился бы в 1), чтобы оба значения можно было объединить в вектор. То же самое произошло бы в случае операций с векторами:

```
2 + TRUE
```

```
## [1] 3
```

Это называется **неявным приведением типов (implicit coercion)**.

Вот более сложный пример:

```
c(TRUE, 3, " ")
```



```
## [1] "TRUE" "3" " " "
```

У R есть иерархия приведения типов:

```
NULL < raw < logical < integer < double < complex < character <
list < expression.
```

Мы из этого списка еще многого не знаем, сейчас важно запомнить, что логические данные — TRUE и FALSE — превращаются в 0 и 1 соответственно, а 0 и 1 в строки "0" и "1".

Если Вы боитесь полагаться на приведение типов, то можете воспользоваться функциями `as.` для явного приведения типов (**explicit coercion**):

```
as.numeric(c(T, F, F))
```

```
## [1] 0 0 0
```

```
as.character(as.numeric(c(T, F, F)))
```

```
## [1] "0" "0" "0"
```

Можно превращать и обратно, например, строковые значения в числовые. Если среди числа встретится буква или другой неподходящий знак, то мы получим предупреждение NA — пропущенное значение (мы очень скоро научимся с ними работать).

```
as.numeric(c("1", "2", " " ))
```

```
## Warning: NA
```

```
## [1] 1 2 NA
```

Один из распространенных примеров использования неявного приведения типов — использования функций `sum()` и `mean()` для подсчета в логическом векторе количества и доли TRUE соответственно. Мы будем много раз пользоваться этим приемом в дальнейшем!

### 2.7.2 Векторизация

Все те арифметические операторы, что мы использовали ранее, можно использовать с векторами одинаковой длины:

```
n <- 1:4
m <- 4:1
n + m
```

```
## [1] 5 5 5 5
```

```
n - m
```

```
## [1] -3 -1 1 3
```

```
n * m
```

```
## [1] 4 6 6 4
```

```
n / m
```

```
## [1] 0.2500000 0.6666667 1.5000000 4.0000000
```

```
n ^ m + m * (n - m)
```

```
## [1] -11 5 11 7
```

Если применить операторы на двух векторах одинаковой длины, то мы получим результат поэлементного применения оператора к двум векторам. Это называется **векторизацией (vectorization)**.

Если после какого-нибудь MATLAB Вы привыкли, что по умолчанию операторы работают по правилам линейной алгебры и  $m \times n$  будет давать скалярное произведение (*dot product*), то снова нет. Для скалярного произведения нужно использовать операторы с % по краям:

```
n %*% m
```

```
## [1]
```

```
## [1,] 20
```

Абсолютно так же и с операциями с матрицами в R, хотя про матрицы будет немного позже.

В принципе, большинство функций в R, которые работают с отдельными значениями, так же хорошо работают и с целыми векторами. Скажем, Вы хотите извлечь корень из нескольких чисел, для этого не нужны никакие циклы (как это обычно делается в других языках программирования). Можно просто “скормить” вектор функции и получить результат применения функции к каждому элементу вектора:

```
sqrt(1:10)
```

```
## [1] 1.000000 1.414214 1.732051 2.000000 2.236068 2.449490 2.645751 2.828427
## [9] 3.000000 3.162278
```

Таких векторизованных функций в R очень много. Многие из них написаны на более низкоуровневых языках программирования (C, C++, FORTRAN), за счет чего использование таких функций приводит не только к более элегантному, лаконичному, но и к более быстрому коду.

Векторизация в R — это очень важная фишка, которая отличает этот язык программирования от многих других. Если вы уже имеете опыт программирования на другом языке, то вам во многих задачах захочется использовать циклы типа `for` и `while` ?? Не спешите этого делать! В очень многих случаях циклы можно заменить векторизацией. Тем не менее, векторизация — это не единственный способ избавиться от циклов типа `for` и `while` ??.

### 2.7.3 Ресайклинг

Допустим мы хотим совершить какую-нибудь операцию с двумя векторами. Как мы убедились, с этим обычно нет никаких проблем, если они совпадают по длине. А что если вектора не совпадают по длине? Ничего страшного! Здесь будет работать правило **ресайклинга** (*правило переписывания, recycling rule*). Это означает, что если мы делаем операцию на двух векторах разной длины, то если короткий вектор кратен по длине длинному, короткий вектор будет повторяться необходимое количество раз:

```
n <- 1:4
m <- 1:2
n * m
```

```
## [1] 1 4 3 8
```

А что будет, если совершать операции с вектором и отдельным значением? Можно считать это частным случаем ресайклинга: короткий вектор длиной 1 будет повторяться столько раз, сколько нужно, чтобы он совпадал по длине с длинным:

```
n * 2
```

```
## [1] 2 4 6 8
```

Если же меньший вектор не кратен большему (например, один из них длиной 3, а другой длиной 4), то R посчитает результат, но выдаст предупреждение.

```
n + c(3,4,5)
```

```
## Warning in n + c(3, 4, 5):
##
## [1] 4 6 8 7
```

Проблема в том, что эти предупреждения могут в неожиданный момент стать причиной ошибок. Поэтому не стоит полагаться на ресайклинг некратных по длине векторов. См. здесь<sup>20</sup>. А вот ресайклинг кратных по длине векторов — это очень удобная штука, которая используется очень часто.

### 2.7.4 Индексирование векторов

Итак, мы подошли к одному из самых сложных моментов. И одному из основных. От того, как хорошо вы научитесь с этим работать, зависит весь Ваш дальнейший успех на R-поприще!

Речь пойдет об **индексировании** векторов. Задача, которую Вам придется решать каждые пять минут работы в R - как выбрать из вектора (или же списка, матрицы и датафрейма) какую-то его часть. Для этого используются квадратные скобочки `[]` (не круглые - они для функций!).

Самое простое - индексировать по номеру индекса, т.е. порядку значения в векторе.

```
n <- 1:10
n[1]
```

```
## [1] 1
```

```
n[10]
```

```
## [1] 10
```

Если вы знакомы с другими языками программирования (не MATLAB, там все так же) и уже научились думать, что индексация с `o` — это очень удобно и очень правильно (ну или просто свыклись с этим), то в R Вам придется переучиться обратно. Здесь первый индекс — это 1, а последний равен длине вектора — ее можно узнать с помощью функции `length()`. С обеих сторон индексы берутся включительно.

С помощью индексирования можно не только вытаскивать имеющиеся значения в векторе, но и присваивать им новые:

<sup>20</sup><https://stackoverflow.com/questions/6555651/under-what-circumstances-does-r-recycle>

```
n[3] <- 20
n
```

```
## [1] 1 2 20 4 5 6 7 8 9 10
```

Конечно, можно использовать целые векторы для индексирования:

```
n[4:7]
```

```
## [1] 4 5 6 7
```

```
n[10:1]
```

```
## [1] 10 9 8 7 6 5 4 20 2 1
```

Индексирование с минусом выдаст вам все значения вектора кроме выбранных:

```
n[-1]
```

```
## [1] 2 20 4 5 6 7 8 9 10
```

```
n[c(-4, -5)]
```

```
## [1] 1 2 20 6 7 8 9 10
```

Минус здесь “выключает” выбранные значения из вектора, а не означает отсчет с конца как в Python.

Более того, можно использовать логический вектор для индексирования. В этом случае нужен логический вектор такой же длины:

```
n[c(TRUE, FALSE, TRUE, FALSE, TRUE, FALSE, TRUE, FALSE, TRUE, FALSE)]
```

```
## [1] 1 20 5 7 9
```

Ну а если они не равны, то тут будет снова работать правило ресайклинга!

```
n[c(TRUE, FALSE)] # - recycling rule!
```

```
## [1] 1 20 5 7 9
```

Есть еще один способ индексирования векторов, но он несколько более редкий: индексирование по имени. Дело в том, что для значений векторов можно (но не обязательно) присваивать имена:

```
my_named_vector <- c(first = 1,
                      second = 2,
                      third = 3)
my_named_vector['first']
```

```
## first
##      1
```

А еще можно “вытаскивать” имена из вектора с помощью функции `names()` и присваивать таким образом новые имена.

```
d <- 1:4
names(d) <- letters[1:4]
d["a"]
```

```
## a
##  1
```

`letters` - это “зашитая” в R константа - вектор букв от а до z. Иногда это очень удобно! Кроме того, есть константа `LETTERS` - то же самое, но заглавными буквами. А еще в R есть названия месяцев на английском и числовая константа `pi`.

Теперь посчитаем среднее вектора `n`:

```
mean(n)
```

```
## [1] 7.2
```

А как вытащить все значения, которые больше среднего?

Сначала получим логический вектор — какие значения больше среднего:

```
larger <- n > mean(n)
larger
```

```
## [1] FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE TRUE TRUE
```

А теперь используем его для индексирования вектора `n`:

```
n[larger]
```

```
## [1] 20 8 9 10
```

Можно все это сделать в одну строчку:

```
n[n>mean(n)]
```

```
## [1] 20 8 9 10
```

Предыдущая строчка отражает то, что мы будем постоянно делать в R: вычленять (subset) из данных отдельные куски на основании разных условий.

### 2.7.5 NA — пропущенные значения

В реальных данных у нас часто чего-то не хватает. Например, из-за технической ошибки или невнимательности не получилось записать какое-то измерение. Для обозначения пропущенных значений в R есть специальное значение NA. NA — это не строка "NA", не 0, не пустая строка и не FALSE. NA — это NA. Большинство операций с векторами, содержащими NA будут выдавать NA:

```
missed <- NA
missed == "NA"
```

```
## [1] NA
```

```
missed == ""
```

```
## [1] NA
```

```
missed == NA
```

```
## [1] NA
```

Заметьте: даже сравнение NA с NA выдает NA!

Иногда NA в данных очень бесит:

```
n[5] <- NA
n
```

```
## [1] 1 2 20 4 NA 6 7 8 9 10
```

```
mean(n)
```

```
## [1] NA
```

Что же делать?

Наверное, надо сравнить вектор с NA и исключить этих пакостников. Давайте попробуем:

```
n == NA
```

```
## [1] NA NA NA NA NA NA NA NA NA NA
```

Ах да, мы ведь только что узнали, что даже сравнение NA с NA приводит к NA!

Чтобы выбраться из этой непростой ситуации, используйте функцию `is.na()`:

```
is.na(n)
```

```
## [1] FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
```

Результат выполнения `is.na(n)` выдает FALSE в тех местах, где у нас числа и TRUE там, где у нас NA. Чтобы вычленив из вектора `n` все значения кроме NA нам нужно, чтобы было наоборот: TRUE, если это не NA, FALSE, если это NA. Здесь нам понадобится логический оператор НЕ ! (мы его уже встречали), который инвертирует логические значения:

```
n[!is.na(n)]
```

```
## [1] 1 2 20 4 6 7 8 9 10
```

Ура, мы можем считать среднее!

```
mean(n[!is.na(n)])
```

```
## [1] 7.444444
```

Теперь Вы понимаете, зачем нужно отрицание (!)

Вообще, есть еще один из способов посчитать среднее, если есть NA. Для этого надо залезть в хэлп по функции `mean()`:

```
?mean()
```

В хэлпе мы найдем параметр `na.rm =`, который по умолчанию FALSE. Вы знаете, что нужно делать!

```
mean(n, na.rm = TRUE)
```

```
## [1] 7.444444
```

NA может появляться в векторах других типов тоже. На самом деле, NA - это специальное значение в логических векторах, тогда как в векторах других типов NA появляется как `NA_integer_`, `NA_real_`,



NA\_complex\_ или NA\_character\_, но R обычно сам все переводит в нужный формат и показывает как просто NA.

Кроме NA есть еще NaN — это разные вещи. NaN расшифровывается как Not a Number и получается в результате таких операций как 0/0.

### 2.7.6 В любой непонятной ситуации — ищите в поисковике

Если вдруг вы не знаете, что искать в хэлпе, или хэлпа попросту недостаточно, то ищите в поисковике!



Рис. 2.7

Нет ничего постыдного в том, чтобы искать в Интернете решения проблем. Это абсолютно нормально. Используйте силу интернета во благо и да помогут вам *Stackoverflow* и бесчисленные R-туториалы!

Computer Programming To Be Officially Renamed “Googling Stack Overflow” Source: <http://t.co/xu7acfXvFF> [pic.twitter.com/ij9k7aAVhd](http://pic.twitter.com/ij9k7aAVhd)

— Stack Exchange July 20, 2015

Главное, помните: загуглить работающий ответ всегда недостаточно. Надо понять, как и почему он работает. Иначе что-то обязательно пойдет не так.

Кроме того, правильно загуглить проблему — не так уж и просто.

Does anyone ever get good at R or do they just get good at googling how to do things in R

— [Lauren M. Seyler, Ph.D.](https://twitter.com/mousquemere/status/1125522375141883907?ref_src=twsrc%5Etfw) [https://twitter.com/mousquemere/status/1125522375141883907?ref\\_src=twsrc%5Etfw](https://twitter.com/mousquemere/status/1125522375141883907?ref_src=twsrc%5Etfw) May 6, 2019

**Doctors: Googling stuff online does not  
make you a doctor.  
Programmers:**



Рис. 2.8

Итак, с векторами мы более-менее разобрались. Помните, что вектора — это один из краеугольных камней Вашей работы в R. Если Вы хорошо с ними разобрались, то дальше все будет довольно несложно. Тем не менее, вектора — это не все. Есть еще два важных типа данных: списки (**list**) и матрицы (**matrix**). Их можно рассматривать как своеобразное “расширение” векторов, каждый в свою сторону. Ну а списки и матрицы нужны чтобы понять основной тип данных в R — **data.frame**.

## 2.8 Матрицы (**matrix**)

Если вдруг Вас пугает это слово, то совершенно зря. Матрица — это всего лишь “двумерный” вектор: вектор, у которого есть не только длина, но и ширина. Создать матрицу можно с помощью функции `matrix()` из вектора, указав при этом количество строк и столбцов.

```
A <- matrix(1:20, nrow=5, ncol=4)
A
```

```
##      [,1] [,2] [,3] [,4]
```

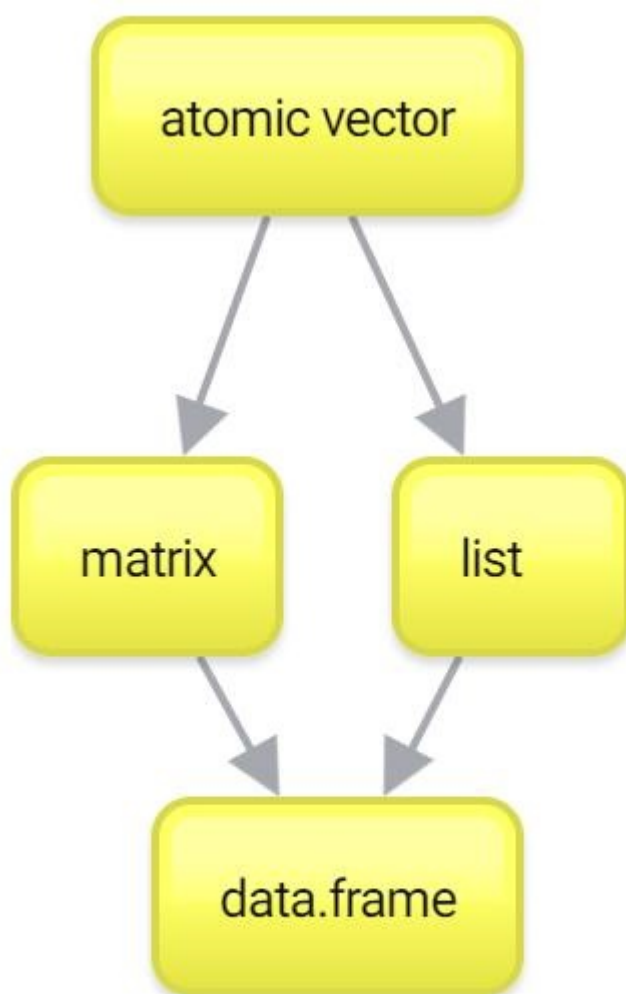


Рис. 2.9

```
## [1,]    1    6   11   16
## [2,]    2    7   12   17
## [3,]    3    8   13   18
## [4,]    4    9   14   19
## [5,]    5   10   15   20
```

Заметьте, значения вектора заполняются следующим образом: сначала заполняется первый столбик сверху вниз, потом второй сверху вниз и так до конца, т.е. заполнение значений матрицы идет в первую очередь по вертикали. Это довольно стандартный способ создания матриц, характерный не только для R.

Если мы знаем сколько значений в матрице и сколько мы хотим строк, то количество столбцов указывать необязательно:

```
A <- matrix(1:20, nrow=5)
A
```

```
##      [,1] [,2] [,3] [,4]
## [1,]    1    6   11   16
## [2,]    2    7   12   17
## [3,]    3    8   13   18
## [4,]    4    9   14   19
## [5,]    5   10   15   20
```

Все остальное так же как и с векторами: внутри находится данные только одного типа. Поскольку матрица — это уже двумерный массив, то у него имеется два индекса. Эти два индекса разделяются запятыми.

```
A[2,3]
```

```
## [1] 12
```

```
A[2:4, 1:3]
```

```
##      [,1] [,2] [,3]
## [1,]    2    7   12
## [2,]    3    8   13
## [3,]    4    9   14
```

Первый индекс — выбор строк, второй индекс — выбор колонок. Если же мы оставляем пустое поле вместо числа, то мы выбираем все строки/колонки в зависимости от того, оставили мы поле пустым до или после запятой:

```
A[,1:3]
```

```
##      [,1] [,2] [,3]
## [1,]    1    6   11
## [2,]    2    7   12
## [3,]    3    8   13
## [4,]    4    9   14
## [5,]    5   10   15
```

```
A[2:4,]
```

```
##      [,1] [,2] [,3] [,4]
## [1,]    2    7   12   17
## [2,]    3    8   13   18
## [3,]    4    9   14   19
```

```
A[,]
```

```
##      [,1] [,2] [,3] [,4]
## [1,]    1    6   11   16
## [2,]    2    7   12   17
## [3,]    3    8   13   18
## [4,]    4    9   14   19
## [5,]    5   10   15   20
```

В принципе, это все, что нам нужно знать о матрицах. Матрицы используются в R довольно редко, особенно по сравнению, например, с MATLAB. Но вот индексировать матрицы хорошо бы уметь: это понадобится в работе с датафреймами.

То, что матрица - это просто двумерный вектор, не является метафорой: в R матрица - это по сути свой вектор с дополнительными *атрибутами* `dim` и `dimnames`. Атрибуты — это неотъемлемые свойства объектов, для всех объектов есть обязательные атрибуты типа и длины и могут быть любые необязательные атрибуты. Можно задавать свои атрибуты или удалять уже присвоенные: удаление атрибута `dim` у матрицы превратит ее в обычный вектор. Про атрибуты подробнее можно почитать здесь<sup>21</sup> или на стр. 99–101 книги “R in a Nutshell” (Adler, 2010).

<sup>21</sup><https://perso.esiee.fr/~courivad/R/06-objects.html>

## 2.9 Списки (list)

Теперь представим себе вектор без ограничения на одинаковые данные внутри. И получим список!

```
simple_list <- list(42, "    ", TRUE)
simple_list
```

```
## [[1]]
## [1] 42
##
## [[2]]
## [1] "    "
##
## [[3]]
## [1] TRUE
```

А это значит, что там могут содержаться самые разные данные, в том числе и другие списки и векторы!

```
complex_list <- list(c("Wow", "this", "list", "is", "so", "big"), "16", simple_list)
complex_list
```

```
## [[1]]
## [1] "Wow" "this" "list" "is" "so" "big"
##
## [[2]]
## [1] "16"
##
## [[3]]
## [[3]][[1]]
## [1] 42
##
## [[3]][[2]]
## [1] "    "
##
## [[3]][[3]]
## [1] TRUE
```

Если у нас сложный список, то есть очень классная функция, чтобы посмотреть, как он устроен, под названием `str()`:

```
str(complex_list)
```

```
## List of 3
## $ : chr [1:6] "Wow" "this" "list" "is" ...
## $ : chr "16"
## $ :List of 3
## ..$ : num 42
## ..$ : chr "    "
## ..$ : logi TRUE
```

Как и в случае с векторами мы можем давать имена элементам списка:

```
named_list <- list(age = 24, phd_student = T, language = "Russian")
named_list
```

```
## $age
## [1] 24
##
## $phd_student
## [1] FALSE
##
## $language
## [1] "Russian"
```

К списку можно обращаться как с помощью индексов, так и по именам. Начнем с последнего:

```
named_list$age
```

```
## [1] 24
```

А вот с индексами сложнее, и в этом очень легко запутаться. Давайте попробуем сделать так, как мы делали это раньше:

```
named_list[1]
```

```
## $age
## [1] 24
```

Мы, по сути, получили элемент списка - просто как часть списка, т.е. как список длиной один:

```
class(named_list)
```

```
## [1] "list"
```

```
class(named_list[1])
```

```
## [1] "list"
```

А вот чтобы добраться до самого элемента списка (и сделать с ним что-то хорошее) нам нужна не одна, а две квадратных скобочки:

```
named_list[[1]]
```

```
## [1] 24
```

```
class(named_list[[1]])
```

```
## [1] "numeric"
```

Indexing lists in `rstats`. Inspired by the Residence Inn [pic.twitter.com/YQ6axb2w7t](https://twitter.com/YQ6axb2w7t)

— Hadley Wickham (@ [href="https://twitter.com/hadleywickham/status/643381054758363136?ref\\_src=twsrc%5Etfw"](https://twitter.com/hadleywickham/status/643381054758363136?ref_src=twsrc%5Etfw))>September 14, 2015

Как и в случае с вектором, к элементу списка можно обращаться по имени.

```
named_list[['age']]
```

```
## [1] 24
```

Хотя последнее — практически то же самое, что и использование знака `$`.

Списки довольно часто используются в R, но реже, чем в Python. Со многими объектами в R, такими как результаты статистических тестов, объекты `ggplot` и т.д. удобно работать именно как со списками — к ним все вышеописанное применимо. Кроме того, некоторые данные мы изначально получаем в виде древообразной структуры — хочешь не хочешь, а придется работать с этим как со списком. Особенно это характерно для данных, выкачанных из веб-страниц (HTML страницы, XML данные) или полученных с помощью API различных веб-сайтов (например, в формате JSON). Но обычно после этого стоит как можно скорее превратить список в датафрейм.

## 2.10 Датафрейм

Итак, мы перешли к самому главному. Самому-самому. Датафреймы (`data.frames`). Более того, сейчас станет понятно, зачем нам нужно было разбираться со всеми предыдущими темами.



Без векторов мы не смогли бы разобраться с матрицами и списками. А без последних мы не сможем понять, что такое датафрейм.

```
name <- c("Ivan", "Eugeny", "Lena", "Misha", "Sasha")
age <- c(26, 34, 23, 27, 26)
student <- c(FALSE, FALSE, TRUE, TRUE, TRUE)
df = data.frame(name, age, student)
df
```

```
##      name age student
## 1   Ivan  26   FALSE
## 2 Eugeny  34   FALSE
## 3   Lena  23    TRUE
## 4  Misha  27    TRUE
## 5  Sasha  26    TRUE
```

```
str(df)
```

```
## 'data.frame':   5 obs. of  3 variables:
## $ name      : chr  "Ivan" "Eugeny" "Lena" "Misha" ...
## $ age       : num  26 34 23 27 26
## $ student: logi  FALSE FALSE TRUE TRUE TRUE
```

Вообще, очень похоже на список, не правда ли? Так и есть, датафрейм — это что-то вроде проименованного списка, каждый элемент которого является atomic вектором фиксированной длины. Скорее всего, список Вы представляли “горизонтально”. Если это так, то теперь “переверните” его у себя в голове. Так, чтоб названия векторов оказались сверху, а колонки стали столбцами. Поскольку длина всех этих векторов равна (обязательное условие!), то данные представляют собой табличку, похожую на матрицу. Но в отличие от матрицы, разные столбцы могут иметь разные типы данных: первая колонка — character, вторая колонка — numeric, третья колонка — logical. Тем не менее, обращаться с датафреймом можно и как с проименованным списком, и как с матрицей:

```
df$age[2:3]
```

```
## [1] 34 23
```

Здесь мы сначала вытащили колонку age с помощью оператора \$. Результатом этой операции является числовой вектор, из которого мы вытащили кусок, выбрав индексы 2 и 3.

Используя оператор \$ и присваивание можно создавать новые колонки датафрейма:

```
df$lovesR <- TRUE # recycling - ?
df
```

```
##      name age student lovesR
## 1   Ivan  26    FALSE     TRUE
## 2 Eugeny  34    FALSE     TRUE
## 3   Lena  23     TRUE     TRUE
## 4  Misha  27     TRUE     TRUE
## 5  Sasha  26     TRUE     TRUE
```

Ну а можно просто обращаться с помощью двух индексов через запятую, как мы это делали с матрицей:

```
df[3:5, 2:3]
```

```
##      age student
## 3    23     TRUE
## 4    27     TRUE
## 5    26     TRUE
```

Как и с матрицами, первый индекс означает строчки, а второй — столбцы.

А еще можно использовать названия колонок внутри квадратных скобок:

```
df[1:2, "age"]
```

```
## [1] 26 34
```

И здесь перед нами открываются невообразимые возможности! Узнаем, любят ли R те, кто моложе среднего возраста в группе:

```
df[df$age < mean(df$age), 4]
```

```
## [1] TRUE TRUE TRUE TRUE
```

Эту же задачу можно выполнить другими способами:

```
df$lovesR[df$age < mean(df$age)]
```

```
## [1] TRUE TRUE TRUE TRUE
```

```
df[df$age < mean(df$age), 'lovesR']
```

```
## [1] TRUE TRUE TRUE TRUE
```

В большинстве случаев подходят сразу несколько способов — тем не менее, стоит овладеть ими всеми.

Датафреймы удобно просматривать в RStudio. Для это нужно написать команду `View(df)` или же просто нажать на названии нужной переменной из списка вверху справа (там где Environment). Тогда увидите табличку, очень похожую на Excel и тому подобные программы для работы с таблицами. Там же есть и всякие возможности для фильтрации, сортировки и поиска... Но, конечно, интереснее все эти вещи делать руками, т.е. с помощью написания кода.

На этом пора заканчивать с введением и приступать к реальным данным.

## 2.11 Начинаем работу с реальными данными

Итак, пришло время перейти к реальным данным. Мы начнем с использования датасета (так мы будем называть любой набор данных) по Игре Престолов, а точнее, по книгам цикла *“Песнь льда и пламени”* Дж. Мартина. Да, будут спойлеры, но сериал уже давно закончился и сильно разошелся с книгами...

### 2.11.1 Рабочая папка и проекты

Для начала скачайте файл по ссылке<sup>22</sup>

Он, скорее всего, появился у Вас в папке “Загрузки”. Если мы будем просто пытаться прочитать этот файл (например, с помощью `read.csv()` — мы к этой функцией очень скоро перейдем), указав его имя и разрешение, то наткнемся на такую ошибку:

```
Ошибка в file(file, "rt") : не могу открыть соединение Вдобавок: Предупреждение: В file(file, "rt") : не могу открыть файл 'character-deaths.csv':  
No such file or directory
```

Это означает, что R не может найти нужный файл. Вообще-то мы даже не сказали, где искать. Нам нужно как-то совместить место, где R ищет загружаемые файлы и сами файлы. Для этого есть несколько способов.

- Магомет идет к горе: перемещение файлов в рабочую папку.

Для этого нужно узнать, какая папка является рабочей с помощью функции `getwd()` (без аргументов), найти эту папку в проводнике и переместить туда файл. После этого можно использовать просто название файла с разрешением:

```
got <- read.csv("character-deaths.csv")
```

<sup>22</sup><https://raw.githubusercontent.com/Pozdniakov/stats/master/data/character-deaths.csv>

- Гора идет к Магомету: изменение рабочей папки.

Можно просто сменить рабочую папку с помощью `setwd()` на ту, где сейчас лежит файл, прописав путь до этой папки. Теперь файл находится в рабочей папке:

```
got <- read.csv("character-deaths.csv")
```

Этот вариант использовать не рекомендуется. Как минимум, это сразу делает невозможным запустить скрипт на другом компьютере.

- Гора находит Магомета по месту прописки: указание полного пути файла.

```
got <- read.csv("/Users/Username/Some_Folder/character-deaths.csv")
```

Этот вариант страдает теми же проблемами, что и предыдущий, поэтому тоже не рекомендуется.

Для пользователей Windows есть дополнительная сложность: знак `/` является особым знаком для R, поэтому вместо него нужно использовать двойной `\\`.

- Магомет использует кнопочный интерфейс: Import Dataset.

Во вкладке Environment справа в окне RStudio есть кнопка “Import Dataset”. Возможно, у Вас возникло непреодолимое желание отдохнуть от написания кода и понажимать кнопки — сопротивляйтесь этому всеми силами, но не вините себя, если не сдержитесь.

- Гора находит Магомета в интернете.

Многие функции в R, предназначенные для чтения файлов, могут прочитать файл не только на Вашем компьютере, но и сразу из интернета. Для этого просто используйте ссылку вместо пути:

```
got <- read.csv("https://raw.githubusercontent.com/Pozdniakov/stats/master/data/character-deaths.csv")
```

- Каждый Магомет получает по своей горе: использование проектов в RStudio.

На первый взгляд это кажется чем-то очень сложным, но это не так. Это очень просто и **ОЧЕНЬ** удобно. При создании проекта создается отдельная папочка, где у Вас лежат данные, хранятся скрипты, вспомогательные файлы и отчеты. Если нужно вернуться к другому проекту — просто открываете другой проект, с другими файлами и скриптами. Это еще помогает не пересекаться переменным из разных проектов — а то, знаете, использование двух переменных `data` в разных скриптах чревато ошибками. Поэтому очень удобным решением будет выделение отдельного проекта под этот курс.

### 2.11.2 Импорт данных

Как Вы уже поняли, импортирование данных - одна из самых муторных и неприятных вещей в R. Если у Вас получится с этим справиться, то все остальное - ерунда. Мы уже разобрались с первой частью этого процесса - нахождением файла с данными, осталось научиться их читать.

Здесь стоит сделать небольшую ремарку. Довольно часто данные представляют собой табличку. Или же их можно свести к табличке. Такая табличка, как мы уже выяснили, удобно репрезентируется в виде датафрейма. Но как эти данные хранятся на компьютере? Есть два варианта: в *бинарном* и в *текстовом* файле.

Текстовый файл означает, что такой файл можно открыть в программе “Блокнот” или ее аналоге и увидеть напечатанный текст: скрипт, роман или упорядоченный набор цифр и букв. Нас сейчас интересует именно последний случай. Таблица может быть представлена как текст: отдельные строки в файле будут разделять разные строки таблицы, а какой-нибудь знак-разделитель отделит колонки друг от друга.

Для чтения данных из текстового файла есть довольно удобная функция `read.table()`. Почитайте хэлп по ней и ужаснитесь: столько разных параметров на входе! Но там же вы увидите функции `read.csv()`, `read.csv2()` и некоторые другие — по сути, это тот же `read.table()`, но с другими дефолтными параметрами, соответствующие формату файла, который мы загружаем. В данном случае используется формат `.csv`, что означает Comma Separated Values (Значения, Разделенные Запятыми). Это просто текстовый файл, в котором “закодирована” таблица: разные строки разделяют разные строки таблицы, а столбцы отделяются запятыми. С этим связана одна проблема: в некоторых странах (в т.ч. и России) принято использовать запятую для разделения дробной части числа, а не точку, как это делается в большинстве стран мира. Поэтому есть “другой” формат `.csv`, где значения разделены точкой с запятой (;), а дробные значения - запятой (,). В этом и различие функций `read.csv()` и `read.csv2()` — первая функция предназначена для “международного” формата, вторая - для (условно) “Российского”.

В первой строке обычно содержатся названия столбцов - и это чертовски удобно, функции `read.csv()` и `read.csv2()` по дефолту считают первую строку именно как название для колонок.

Итак, прочитаем наш файл. Для этого используем только параметр `file =`, который идет первым, и для параметра `stringsAsFactors` поставим значение `FALSE`:

```
got <- read.csv("data/character-deaths.csv", stringsAsFactors = FALSE)
```

По сути, факторы - это примерно то же самое, что и `character`, но закодированные числами. Когда-то это было придумано для эконо-

мии используемых времени и памяти, сейчас же обычно становится просто лишней морокой. Но некоторые функции требуют именно `character`, некоторые `factor`, в большинстве случаев это без разницы. Но иногда непонимание может привести к дурацким ошибкам. В данном случае мы просто пока обойдемся без факторов.

Можете проверить с помощью `View(got)`: все работает! Если же вылезает какая-то странная ерунда или же просто ошибка - попробуйте другие функции и покопаться с параметрами. Для этого читайте `Help`.

Кроме `.csv` формата есть и другие варианты хранения таблиц в виде текста. Например, `.tsv` - тоже самое, что и `.csv`, но разделитель - знак табуляции. Для чтения таких файлов есть функция `read.delim()` и `read.delim2()`. Впрочем, даже если бы ее и не было, можно было бы просто подобрать нужные параметры для функции `read.table()`. Есть даже функции, которые пытаются сами “угадать” нужные параметры для чтения — часто они справляются с этим довольно удачно. Но не всегда. Поэтому стоит научиться справляться с любого рода данными на входе.

Тем не менее, далеко не всегда таблицы представлены в виде текстового файла. Самый распространенный пример таблицы в бинарном виде — родные форматы Microsoft Excel. Если Вы попытаете открыть `.xlsx` файл в Блокноте, то увидите кракозябры. Это делает работу с этими файлами гораздо менее удобной, поэтому стоит избегать экселевских форматов и стараться все сохранять в `.csv`.

Для работы с экселевскими файлами есть много пакетов: `readxl`, `xlsx`, `openxlsx`. Для чтения файлов SPSS, Stata, SAS есть пакет `foreign`. Что такое пакеты и как их устанавливать мы изучим позже.

## 2.12 Препроцессинг данных в R

Вчера мы узнали про основы языка R, про то, как работать с векторами, списками, матрицами и, наконец, датафреймами. Мы закончили день на загрузке данных, с чего мы и начнем сегодня:

```
got <- read.csv("data/character-deaths.csv", stringsAsFactors = F)
```

После загрузки данных стоит немного “осмотреть” получившийся датафрейм `got`.

### 2.12.1 Исследование данных

Ок, давайте немного поизучаем датасет. Обычно мы привыкли глазами пробегать по данным, листая строки и столбцы — и это вполне правильно и логично,

от этого не нужно отучаться. Но мы можем дополнить наш базовый зрительно-поисковой инструментарий несколькими полезными командами.

Во-первых, вспомним другую полезную функцию `str()`:

```
str(got)
```

```
## 'data.frame':   917 obs. of  13 variables:
## $ Name          : chr  "Addam Marbrand" "Aegon Frey (Jinglebell)" "Aegon Targaryen" "Adra
## $ Allegiances    : chr  "Lannister" "None" "House Targaryen" "House Greyjoy" ...
## $ Death.Year     : int   NA 299 NA 300 NA NA 300 300 NA NA ...
## $ Book.of.Death   : int   NA 3 NA 5 NA NA 4 5 NA NA ...
## $ Death.Chapter  : int   NA 51 NA 20 NA NA 35 NA NA NA ...
## $ Book.Intro.Chapter: int  56 49 5 20 NA NA 21 59 11 0 ...
## $ Gender         : int   1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 ...
## $ Nobility       : int   1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 ...
## $ GoT            : int   1 0 0 0 0 0 1 1 0 0 ...
## $ CoK            : int   1 0 0 0 0 1 0 1 1 0 ...
## $ SoS            : int   1 1 0 0 1 1 1 1 0 1 ...
## $ FfC            : int   1 0 0 0 0 0 1 0 1 0 ...
## $ DwD            : int   0 0 1 1 0 0 0 1 0 0 ...
```

Давайте разберемся с переменными в датафрейме:

Колонка `Name` — здесь все понятно. Важно, что эти имена записаны абсолютно по-разному: где-то с фамилией, где-то без, где-то в скобках есть пояснения. Колонка `Allegiances` — к какому дому принадлежит персонаж. С этим сложно, иногда они меняют дома, здесь путаются сами семьи и персонажи, лояльные им. Особой разницы между `Stark` и `House Stark` нет. Следующие колонки — `Death.Year`, `Book.of.Death`, `Death.Chapter`, `Book.Intro.Chapter` — означают номер главы, в которой персонаж впервые появляется, а так же номер книги, глава и год (от завоевания Вестероса Эйгоном Таргариеном), в которой персонаж умирает. `Gender` — 1 для мужчин, 0 для женщин. `Nobility` — дворянское происхождение персонажа. Последние 5 столбцов содержат информацию, появлялся ли персонаж в книге (всего книг пока что 5).

Другая полезная функция для больших таблиц — функция `head()`: она выведет первые несколько (по дефолту 6) строчек датафрейма.

```
head(got)
```

```
##           Name      Allegiances Death.Year Book.of.Death
## 1   Addam Marbrand      Lannister         NA           NA
## 2 Aegon Frey (Jinglebell)        None        299           3
## 3   Aegon Targaryen House Targaryen         NA           NA
## 4   Adrack Humble   House Greyjoy        300           5
```

```
## 5      Aemon Costayne      Lannister      NA      NA
## 6      Aemon Estermont    Baratheon      NA      NA
## Death.Chapter Book.Intro.Chapter Gender Nobility GoT CoK SoS FfC DwD
## 1      NA      56      1      1 1 1 1 1 0
## 2      51      49      1      1 0 0 1 0 0
## 3      NA      5      1      1 0 0 0 0 1
## 4      20      20      1      1 0 0 0 0 1
## 5      NA      NA      1      1 0 0 1 0 0
## 6      NA      NA      1      1 0 1 1 0 0
```

Есть еще функция `tail()`. Догадайтесь сами, что она делает.

Для некоторых переменных полезно посмотреть таблицы частотности с помощью функции `table()`:

```
table(got$Allegiances)
```

```
##
##      Arryn      Baratheon      Greyjoy      House Arryn House Baratheon
##      23      56      51      7      8
## House Greyjoy House Lannister House Martell House Stark House Targaryen
##      24      21      12      35      19
## House Tully      House Tyrell      Lannister      Martell      Night's Watch
##      8      11      81      25      116
##      None      Stark      Targaryen      Tully      Tyrell
##      253      73      17      22      15
##      Wildling
##      40
```

Уау! Очень просто и удобно, не так ли? Функция `table()` может принимать сразу несколько столбцов. Это удобно для получения *таблиц сопряженности*:

```
table(got$Allegiances, got$Gender)
```

```
##
##      0 1
## Arryn 3 20
## Baratheon 6 50
## Greyjoy 4 47
## House Arryn 3 4
## House Baratheon 0 8
## House Greyjoy 1 23
## House Lannister 2 19
## House Martell 7 5
## House Stark 6 29
## House Targaryen 5 14
```



```
## House Tully      0  8
## House Tyrell     4  7
## Lannister        12 69
## Martell          7 18
## Night's Watch    0 116
## None            51 202
## Stark           21 52
## Targaryen        1 16
## Tully            2 20
## Tyrell           6  9
## Wildling         16 24
```

### 2.12.2 Subsetting

Как мы обсуждали на прошлом занятии, мы можем сабсеттить (выделять часть датафрейма) датафрейм, обращаясь к нему и как к матрице: *датафрейм[вектор\_с\_номерами\_строк, вектор\_с\_номерами\_колонок]*

```
got[100:115, 1:2]
```

```
##           Name Allegiances
## 100   Blue Bard House Tyrell
## 101 Bonifer Hasty  Lannister
## 102   Borcas      Night's Watch
## 103 Boremund Harlaw Greyjoy
## 104   Boros Blount Baratheon
## 105   Borroq      Wildling
## 106   Bowen Marsh Night's Watch
## 107   Bran Stark  House Stark
## 108 Brandon Norrey Stark
## 109   Brenett     None
## 110 Brienne of Tarth Stark
## 111   Bronn       Lannister
## 112 Brown Bernarr Night's Watch
## 113   Brusco      None
## 114 Bryan Fossoway Baratheon
## 115   Bryce Caron  Baratheon
```

и используя имена колонок:

```
got[508:515, "Name"]
```

```
## [1] "Mance Rayder" "Mandon Moore" "Maric Seaworth" "Marei"
## [5] "Margaery Tyrell" "Marillion" "Maris" "Marissa Frey"
```

и даже используя вектора названий колонок!

```
got[508:515, c("Name", "Allegiances", "Gender")]
```

```
##           Name      Allegiances Gender
## 508   Mance Rayder      Wildling      1
## 509   Mandon Moore      Baratheon      1
## 510   Maric Seaworth House Baratheon      1
## 511           Marei           None      0
## 512 Margaery Tyrell   House Tyrell      0
## 513     Marillion           Arryn      1
## 514         Maris      Wildling      0
## 515   Marissa Frey           None      0
```

Мы можем вытаскивать отдельные колонки как векторы:

```
houses <- got$Allegiances
unique(houses) #
```

---

*table()*

```
## [1] "Lannister"      "None"           "House Targaryen" "House Greyjoy"
## [5] "Baratheon"      "Night's Watch"  "Arryn"           "House Stark"
## [9] "House Tyrell"   "Tyrell"         "Stark"           "Greyjoy"
## [13] "House Lannister" "Martell"        "House Martell"   "Wildling"
## [17] "Targaryen"      "House Arryn"    "House Tully"     "Tully"
## [21] "House Baratheon"
```

Итак, давайте решим нашу первую задачу — вытащим в отдельный датасет всех представителей Ночного Дозора. Для этого нам нужно создать вектор логических значений — результат сравнений колонки `Allegiances` со значением `"Night's Watch"` и использовать его как вектор индексов для датафрейма.

```
vectornight <- got$Allegiances == "Night's Watch"
head(vectornight)
```

```
## [1] FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
```

Теперь этот вектор с `TRUE` и `FALSE` нам надо использовать для индексирования строк. Но что со столбцами? Если мы хотим сохранить все столбцы, то после запятой внутри квадратных скобок нам не нужно ничего указывать:

```
nightswatch <- got[vectornight,]
head(nightswatch)
```

```
##           Name      Allegiances Death.Year Book.of.Death
## 7   Aemon Targaryen (son of Maekar I) Night's Watch      300      4
```

```
## 10          Aethan Night's Watch          NA          NA
## 13          Alan of Rosby Night's Watch      300          5
## 16          Albett Night's Watch            NA          NA
## 24          Alliser Thorne Night's Watch      NA          NA
## 49          Arron Night's Watch             NA          NA
##      Death.Chapter Book.Intro.Chapter Gender Nobility GoT CoK SoS FfC DwD
## 7          35          21      1          1  1  0  1  1  0
## 10          NA          0      1          0  0  0  1  0  0
## 13          4          18      1          1  0  1  1  0  1
## 16          NA          26      1          0  1  0  0  0  0
## 24          NA          19      1          0  1  1  1  0  1
## 49          NA          75      1          0  0  0  1  0  1
```

Вуаля! Все это можно сделать проще и в одну строку:

```
nightswatch <- got[got$Allegiances == "Night's Watch",]
```

И не забывайте про запятую!

Теперь попробуем вытащить одновременно всех Одичалых (Wildling) и всех представителей Ночного Дозора. Это можно сделать, используя оператор | (ИЛИ) при выборе колонок:

```
nightwatch_wildling <- got[got$Allegiances == "Night's Watch" | got$Allegiances == "Wildling",]
head(nightwatch_wildling)
```

```
##      Name      Allegiances Death.Year Book.of.Death
## 7  Aemon Targaryen (son of Maekar I) Night's Watch      300          4
## 10          Aethan Night's Watch          NA          NA
## 13          Alan of Rosby Night's Watch      300          5
## 16          Albett Night's Watch            NA          NA
## 24          Alliser Thorne Night's Watch      NA          NA
## 49          Arron Night's Watch             NA          NA
##      Death.Chapter Book.Intro.Chapter Gender Nobility GoT CoK SoS FfC DwD
## 7          35          21      1          1  1  0  1  1  0
## 10          NA          0      1          0  0  0  1  0  0
## 13          4          18      1          1  0  1  1  0  1
## 16          NA          26      1          0  1  0  0  0  0
## 24          NA          19      1          0  1  1  1  0  1
## 49          NA          75      1          0  0  0  1  0  1
```

Кажется очевидным следующий вариант: `got[got$Allegiances == c("Night's Watch", "Wildling"),]`. Однако это выдаст не совсем то, что нужно, хотя результат может показаться верным на первый взгляд. Попробуйте самостоятельно ответить на вопрос, что происходит в данном случае и чем результат отличается от предполагаемого.

Подсказка: вспомните правило recycling.

Для таких случаев есть удобный оператор `%in%`, который позволяет сравнить каждое значение вектора с целым набором значений. Если значение вектора хотя бы один раз встречается в векторе справа от `%in%`, то результат — `TRUE`:

```
1:6 %in% c(1,4,5)
```

```
## [1] TRUE FALSE FALSE TRUE TRUE FALSE
```

```
nightwatch_wildling <- got[got$Allegiances %in% c("Night's Watch", "Wildling"),]
head(nightwatch_wildling)
```

```
##              Name Allegiances Death.Year Book.of.Death
## 7 Aemon Targaryen (son of Maekar I) Night's Watch      300      4
## 10              Aethan Night's Watch      NA      NA
## 13              Alan of Rosby Night's Watch      300      5
## 16              Albett Night's Watch      NA      NA
## 24              Alliser Thorne Night's Watch      NA      NA
## 49              Arron Night's Watch      NA      NA
## Death.Chapter Book.Intro.Chapter Gender Nobility GoT CoK SoS FfC DwD
## 7              35              21      1      1 1 0 1 1 0
## 10             NA              0      1      0 0 0 1 0 0
## 13              4              18      1      1 0 1 1 0 1
## 16             NA              26      1      0 1 0 0 0 0
## 24             NA              19      1      0 1 1 1 0 1
## 49             NA              75      1      0 0 0 1 0 1
```

### 2.12.3 Создание новых колонок

Давайте создадим новую колонку, которая будет означать, жив ли еще персонаж (по книгам). Заметьте, что в этом датасете, хоть он и посвящен смертям персонажей, нет нужной колонки. Мы можем попытаться “вытащить” эту информацию. В колонках `Death.Year`, `Death.Chapter` и `Book.of.Death` стоит `NA` у многих персонажей. Например, у `Arya Stark`, которая и по книгам, и по сериалу живет всех живых и мертвых:

```
got[got$Name == "Arya Stark",]
```

```
##              Name Allegiances Death.Year Book.of.Death Death.Chapter
## 56 Arya Stark      Stark      NA      NA      NA
## Book.Intro.Chapter Gender Nobility GoT CoK SoS FfC DwD
## 56              2      0      1 1 1 1 1 1
```

Следовательно, если в `Book.of.Death` стоит `NA`, мы можем предположить, что Джордж Мартин еще не занес своей карающей руки над этим героем.

Мы можем создать новую колонку `Is.Alive`:

```
got$Is.Alive <- is.na(got$Book.of.Death)
```

#### 2.12.4 `data.table` vs. `tidyverse`

В принципе, с помощью базового R можно сделать все, что угодно. Однако базовые инструменты R — не всегда самые удобные. Идея сделать работу с датафреймами в R еще быстрее и удобнее сподвигла разработчиков на создание новых инструментов — `data.table` и `tidyverse` (`dplyr`). Это два конкурирующих подхода, которые сильно перерабатывают язык, хотя это по-прежнему все тот же R — поэтому их еще называют “диалектами” R.

Оба подхода обладают своими преимуществами и недостатками, но на сегодняшний день `tidyverse` считается более популярным. Основное преимущество этого подхода — в относительной легкости освоения. Обычно код, написанный в `tidyverse` можно примерно понять, даже не владея им.

Преимущество `data.table` — в суровом лаконичном синтаксисе и наиболее эффективных алгоритмах. Последние обеспечивают очень серьезный прирост в скорости в работе с данными. Чтение файлов и манипуляция данными может быть на порядки быстрее, поэтому если Ваш датасет с трудом пролезает в оперативную память компьютера, а исполнение скрипта занимает длительное время — стоит задуматься о переходе на `data.table`.

Что из этого учить — решать Вам, но знать оба совсем не обязательно: они решают те же самые задачи, просто совсем разными способами. За `data.table` — скорость, за `tidyverse` — понятность синтаксиса. Очень советую почитать обсуждение на эту тему здесь<sup>23</sup>.

---

<sup>23</sup><https://stackoverflow.com/questions/21435339/data-table-vs-dplyr-can-one-do-something-well-the-other-cant-or-does-poorly>

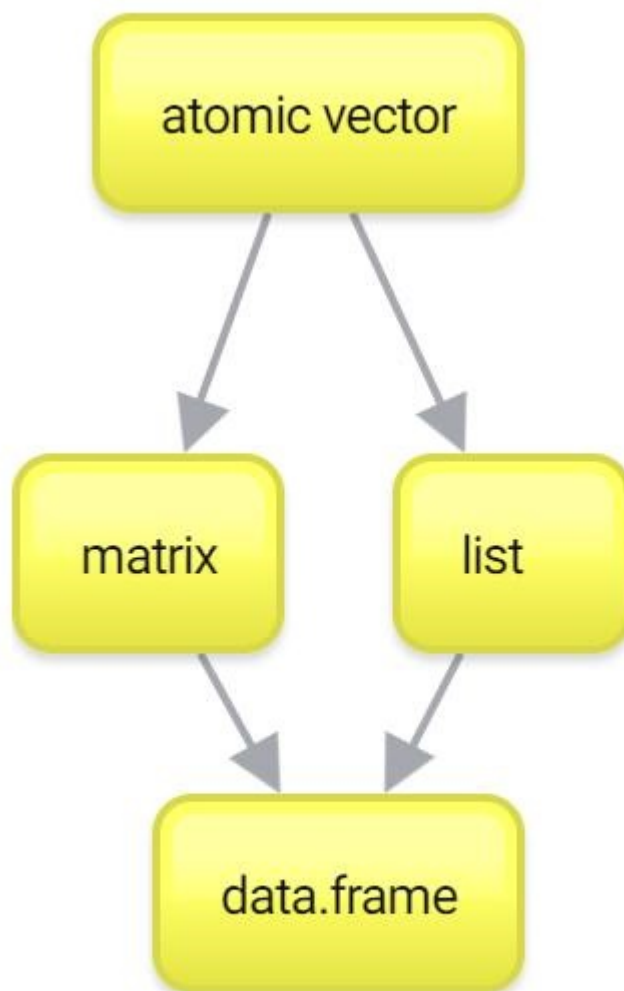


Рис. 2.10

## Глава 3

# Задания

### 3.1 Вектор

- Посчитайте логарифм от 8912162342 по основанию 6

```
## [1] 12.7867
```

- Теперь натуральный логарифм 10 и умножьте его на 5

```
## [1] 11.51293
```

- Создайте вектор от 1 до 20

```
## [1] 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
```

- Создайте вектор от 20 до 1

```
## [1] 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1
```

- Создайте вектор от 1 до 20 и снова до 1. Число 20 должно присутствовать только один раз!

```
## [1] 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 19 18 17 16 15
```

```
## [26] 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1
```

- Создайте вектор 2, 4, 6, ..., 18, 20

```
## [1] 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20
```

- Создайте вектор из одной единицы, двух двоек, трех троек, ..., девяти девяток

```
## [1] 1 2 2 3 3 3 4 4 4 4 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 9 9
```

```
## [39] 9 9 9 9 9 9 9
```

- Сделайте вектор `vec`, в котором соедините 3, а также значения " " и " ".

```
## [1] "3"      " "      " "      "
```

- Вычестъ TRUE из 10

```
## [1] 9
```

- Соедините значение 10 и TRUE в вектор `vec`

```
## [1] 10 1
```

- Соедините вектор `vec` и значение "r":

```
## [1] "10" "1"  "r"
```

- Соедините значения 10, TRUE, "r" в вектор.

```
## [1] "10"      "TRUE"     "r"
```

### 3.2 Вектор. Операции с векторами

Создайте вектор `p`, состоящий из значений 4, 5, 6, 7, и вектор `q`, состоящий из 0, 1, 2, 3.

```
## [1] 4 5 6 7
```

```
## [1] 0 1 2 3
```

Посчитайте поэлементную сумму векторов `p` и `q`:

```
## [1] 4 6 8 10
```

Посчитайте поэлементную разницу `p` и `q`:

```
## [1] 4 4 4 4
```

Поделите каждый элемент вектора `p` на соответствующий ему элемент вектора `q`:

О, да, Вам нужно делить на 0!

```
## [1]      Inf 5.000000 3.000000 2.333333
```

Возведите каждый элемент вектора `p` в степень соответствующего ему элемента вектора `q`:

```
## [1] 1 5 36 343
```

Создайте вектор квадратов чисел от 1 до 10:

```
## [1] 1 4 9 16 25 36 49 64 81 100
```

Создайте вектор 0, 2, 0, 4, ..., 18, 0, 20



```
## [1] 0 2 0 4 0 6 0 8 0 10 0 12 0 14 0 16 0 18 0 20
```

### 3.3 Вектор. Индексирование

Создайте вектор `vec1`:

```
vec1 <- c(3, 5, 2, 1, 8, 4, 9, 10, 3, 15, 1, 11)
```

- Найдите второй элемент вектора `vec1`:

```
## [1] 5
```

- Найдите последний элемент вектора `vec1`

```
## [1] 11
```

- Найдите все значения вектора `vec1`, которые больше 4

```
## [1] 5 8 9 10 15 11
```

- Найдите все значения вектора `vec1`, которые больше 4, но меньше 10

```
## [1] 5 8 9
```

- Возведите в квадрат каждое значение вектора `vec1`

```
## [1] 9 25 4 1 64 16 81 100 9 225 1 121
```

- Возведите в квадрат каждое значение вектора на нечетной позиции и извлеките корень из каждого значения на четной позиции вектора `vec1`

```
## [1] 9.000000 2.236068 4.000000 1.000000 64.000000 2.000000 81.000000
```

```
## [8] 3.162278 9.000000 3.872983 1.000000 3.316625
```

- Создайте вектор `vec2`, в котором будут значения все значения `vec1`, которые меньше 10 будут заменены на `NA`.

```
## [1] NA NA NA NA NA NA NA 10 NA 15 NA 11
```

- Посчитайте сумму `vec2` с помощью функции `sum()`. Ответ `NA` не считается!

```
## [1] 36
```

- Создайте вектор 2, 4, 6, ..., 18, 20 как минимум 2 новыми способами

Знаю, это задание может показаться бессмысленным, но это очень базовая операция, с помощью которой можно, например, разделить данные на две части. Чем больше способов Вы знаете, тем лучше!

```
## integer(0)
```

### 3.4 Матрицы

- Создайте матрицу 4x4, состоящую из единиц. Назовите ее M

```
##      [,1] [,2] [,3] [,4]
## [1,]    1    1    1    1
## [2,]    1    1    1    1
## [3,]    1    1    1    1
## [4,]    1    1    1    1
```

- Поменяйте все некрайние значения матрицы M (то есть значения на позициях [2,2], [2,3], [3,2] и [3,3]) на число 2.

```
##      [,1] [,2] [,3] [,4]
## [1,]    1    1    1    1
## [2,]    1    2    2    1
## [3,]    1    2    2    1
## [4,]    1    1    1    1
```

- Выделите второй и третий столбик из матрицы M

```
##      [,1] [,2]
## [1,]    1    1
## [2,]    2    2
## [3,]    2    2
## [4,]    1    1
```

- Сравните (==) вторую колонку и вторую строчку матрицы M

```
## [1] TRUE TRUE TRUE TRUE
```

- Создайте таблицу умножения (9x9) в виде матрицы. Сохраните ее в переменную tab:

```
##      [,1] [,2] [,3] [,4] [,5] [,6] [,7] [,8] [,9]
## [1,]    1    2    3    4    5    6    7    8    9
## [2,]    2    4    6    8   10   12   14   16   18
## [3,]    3    6    9   12   15   18   21   24   27
## [4,]    4    8   12   16   20   24   28   32   36
## [5,]    5   10   15   20   25   30   35   40   45
## [6,]    6   12   18   24   30   36   42   48   54
## [7,]    7   14   21   28   35   42   49   56   63
## [8,]    8   16   24   32   40   48   56   64   72
## [9,]    9   18   27   36   45   54   63   72   81
```

- Из матрицы tab выделите подматрицу, включающую в себя только строки с 6 по 8 и столбцы с 3 по 7.

```
##      [,1] [,2] [,3] [,4] [,5]
## [1,]   18   24   30   36   42
## [2,]   21   28   35   42   49
```

```
## [3,] 24 32 40 48 56
```

- Создайте матрицу с логическими значениями, где TRUE, если в этом месте в таблице умножения (tab) двузначное число и FALSE, если однозначное.

Матрица - это почти вектор. К нему можно обращаться с единственным индексом.

```
##      [,1] [,2] [,3] [,4] [,5] [,6] [,7] [,8] [,9]
## [1,] FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
## [2,] FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE
## [3,] FALSE FALSE FALSE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE
## [4,] FALSE FALSE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE
## [5,] FALSE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE
## [6,] FALSE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE
## [7,] FALSE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE
## [8,] FALSE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE
## [9,] FALSE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE
```

- Создайте матрицу tab2, в которой все значения tab меньше 10 заменены на 0.

```
##      [,1] [,2] [,3] [,4] [,5] [,6] [,7] [,8] [,9]
## [1,]  0  0  0  0  0  0  0  0  0
## [2,]  0  0  0  0 10 12 14 16 18
## [3,]  0  0  0 12 15 18 21 24 27
## [4,]  0  0 12 16 20 24 28 32 36
## [5,]  0 10 15 20 25 30 35 40 45
## [6,]  0 12 18 24 30 36 42 48 54
## [7,]  0 14 21 28 35 42 49 56 63
## [8,]  0 16 24 32 40 48 56 64 72
## [9,]  0 18 27 36 45 54 63 72 81
```

## 3.5 Списки

Дан список list\_1:

```
## $numbers
## [1] 1 2 3 4 5
##
## $letters
## [1] "a" "b" "c" "d" "e" "f" "g" "h" "i" "j" "k" "l" "m" "n" "o" "p" "q" "r" "s"
## [20] "t" "u" "v" "w" "x" "y" "z"
##
## $logic
## [1] FALSE
```

- Найдите первый элемент списка. Ответ должен быть списком.

```
## $numbers
## [1] 1 2 3 4 5
```

- Теперь найдите содержание первого элемента списка двумя разными способами. Ответ должен быть вектором.

```
## [1] 1 2 3 4 5
```

```
## [1] 1 2 3 4 5
```

Теперь возьмите первый элемент содержания первого элемента списка. Ответ должен быть вектором.

```
## [1] 1
```

Создайте список `list_2`, содержащий в себе два списка `list_1` с именами `pupa` и `lupa`.

```
## $pupa
## $pupa$numbers
## [1] 1 2 3 4 5
##
## $pupa$letters
## [1] "a" "b" "c" "d" "e" "f" "g" "h" "i" "j" "k" "l" "m" "n" "o" "p" "q" "r" "s"
## [20] "t" "u" "v" "w" "x" "y" "z"
##
## $pupa$logic
## [1] FALSE
##
##
## $lupa
## $lupa$numbers
## [1] 1 2 3 4 5
##
## $lupa$letters
## [1] "a" "b" "c" "d" "e" "f" "g" "h" "i" "j" "k" "l" "m" "n" "o" "p" "q" "r" "s"
## [20] "t" "u" "v" "w" "x" "y" "z"
##
## $lupa$logic
## [1] FALSE
```

Извлеките первый элемент списка, из него - второй полэлемент, а из него - третье значение

```
## [1] "c"
```

## 3.6 Создание функций

- Создайте функцию `plus_one()`, которая принимает число и возвращает это же число + 1

```
## [1] 42
```

- Создайте функцию `kvadrat()` возвращающее число в квадрате

```
## [1] 36
```

- Создайте функцию `century()`, которая превращает год в век. Возможно, понадобится вспомнить, как года переводятся в века<sup>1</sup>.

Здесь нужно немного погуглить.

```
century(1999:2002)
```

```
## [1] 20 20 21 21
```

- \*А теперь сделайте функцию `century_roman()`, которая переводит год в век, записанный римскими цифрами!

Здесь нужно просто немного погуглить - возможно, для создания римских цифр есть уже готовая функция? Прежде созданные функции можно использовать для создания новых функций!

```
century_roman(1999:2002)
```

```
## [1] XX XX XXI XXI
```

- \*Напишите функцию `is_prime()`, которая проверяет, является ли число простым.

Здесь может понадобится оператор для получения остатка от деления: `%%`. Еще может пригодиться функция `any()` - она возвращает `TRUE`, если в векторе есть хотя бы один `TRUE`

```
is_prime(2017)
```

```
## [1] TRUE
```

```
is_prime(2019)
```

```
## [1] FALSE
```

---

<sup>1</sup><https://ru.wikipedia.org/wiki/>

```
2019/3 #2019 3
```

```
## [1] 673
```

```
is_prime(2020)
```

```
## [1] FALSE
```

- \*Создайте функцию `monotonic()`, которая принимает и возвращает `TRUE`, если значения в векторе не убывают (то есть каждое следующее - больше или равно предыдущему) или не возрастают.

```
monotonic(1:7)
```

```
## [1] TRUE
```

```
monotonic(c(1:5, 5:1))
```

```
## [1] FALSE
```

```
monotonic(6:-1)
```

```
## [1] TRUE
```

```
monotonic(c(1:5, rep(5, 10), 5:10))
```

```
## [1] TRUE
```

## Глава 4

# Решения\_заданий

### 4.1 Вектор

- Посчитайте логарифм от 8912162342 по основанию 6

```
log(8912162342, 6)
```

```
## [1] 12.7867
```

- Теперь натуральный логарифм 10 и умножьте его на 5

```
log(10)*5
```

```
## [1] 11.51293
```

- Создайте вектор от 1 до 20

```
1:20
```

```
## [1] 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
```

- Создайте вектор от 20 до 1

```
20:1
```

```
## [1] 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1
```

- Создайте вектор от 1 до 20 и снова до 1. Число 20 должно присутствовать только один раз!

```
c(1:20, 19:1)
```

```
## [1] 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 19 18 17 16 15
## [26] 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1
```

- Создайте вектор 2, 4, 6, ..., 18, 20

```
seq(2, 20, 2)
```

```
## [1] 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20
```

- Создайте вектор из одной единицы, двух двоек, трех троек, ..., девяти девяток

```
rep(1:9, 1:9)
```

```
## [1] 1 2 2 3 3 3 4 4 4 4 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 9 9
## [39] 9 9 9 9 9 9 9
```

- Сделайте вектор `vec`, в котором соедините 3, а также значения " " и " ".

```
vec <- c(3, " ", " ")
vec
```

```
## [1] "3" " " " "
```

- Вычистить TRUE из 10

```
10 - TRUE
```

```
## [1] 9
```

- Соедините значение 10 и TRUE в вектор `vec`

```
vec <- c(10, TRUE)
vec
```

```
## [1] 10 1
```

- Соедините вектор `vec` и значение "r":

```
c(vec, "r")
```



```
## [1] "10" "1" "r"
```

· Соедините значения 10, TRUE, "r" в вектор.

```
c(10, TRUE, "r")
```

```
## [1] "10" "TRUE" "r"
```

## 4.2 Вектор. Операции с векторами

Создайте вектор p, состоящий из значений 4, 5, 6, 7, и вектор q, состоящий из 0, 1, 2, 3.

```
p <- 4:7
p
```

```
## [1] 4 5 6 7
```

```
q <- 0:3
q
```

```
## [1] 0 1 2 3
```

Посчитайте поэлементную сумму векторов p и q:

```
p + q
```

```
## [1] 4 6 8 10
```

Посчитайте поэлементную разницу p и q:

```
p - q
```

```
## [1] 4 4 4 4
```

Поделите каждый элемент вектора p на соответствующий ему элемент вектора q:

О, да, Вам нужно делить на 0!

```
p/q
```

```
## [1] Inf 5.000000 3.000000 2.333333
```

Возведите каждый элемент вектора  $p$  в степень соответствующего ему элемента вектора  $q$ :

```
p^q
```

```
## [1] 1 5 36 343
```

Создайте вектор квадратов чисел от 1 до 10:

```
(1:10)^2
```

```
## [1] 1 4 9 16 25 36 49 64 81 100
```

Создайте вектор 0, 2, 0, 4, ..., 18, 0, 20

```
1:20 * 0:1
```

```
## [1] 0 2 0 4 0 6 0 8 0 10 0 12 0 14 0 16 0 18 0 20
```

### 4.3 Вектор. Индексирование

Создайте вектор `vec1`:

```
vec1 <- c(3, 5, 2, 1, 8, 4, 9, 10, 3, 15, 1, 11)
```

- Найдите второй элемент вектора `vec1`:

```
vec1[2]
```

```
## [1] 5
```

- Найдите последний элемент вектора `vec1`

```
vec1[length(vec1)]
```

```
## [1] 11
```

- Найдите все значения вектора `vec1`, которые больше 4

```
vec1[vec1>4]
```

```
## [1] 5 8 9 10 15 11
```

- Найдите все значения вектора `vec1`, которые больше 4, но меньше 10

```
vec1[vec1>4 & vec1<10]
```

```
## [1] 5 8 9
```

- Возведите в квадрат каждое значение вектора `vec1`

```
vec1^2
```

```
## [1] 9 25 4 1 64 16 81 100 9 225 1 121
```

- Возведите в квадрат каждое значение вектора на нечетной позиции и извлеките корень из каждого значения на четной позиции вектора `vec1`

```
vec1 ^ c(2, 0.5)
```

```
## [1] 9.000000 2.236068 4.000000 1.000000 64.000000 2.000000 81.000000
## [8] 3.162278 9.000000 3.872983 1.000000 3.316625
```

- Создайте вектор `vec2`, в котором будут значения все значения `vec1`, которые меньше 10 будут заменены на `NA`.

```
vec2 <- vec1
vec2[vec2<10] <- NA
vec2
```

```
## [1] NA NA NA NA NA NA NA 10 NA 15 NA 11
```

- Посчитайте сумму `vec2` с помощью функции `sum()`. Ответ `NA` не считается!

```
sum(vec2, na.rm = TRUE)
```

```
## [1] 36
```

- Создайте вектор 2, 4, 6, ..., 18, 20 как минимум 2 новыми способами

Знаю, это задание может показаться бессмысленным, но это очень базовая операция, с помощью которой можно, например, разделить данные на две части. Чем больше способов Вы знаете, тем лучше!

```
(1:20)[c(F,T)]
```

```
## integer(0)
```

```
#(1:10)*2
```

## 4.4 Матрицы

- Создайте матрицу 4x4, состоящую из единиц. Назовите ее M

```
M <- matrix(rep(1, 16), ncol = 4)
M
```

```
##      [,1] [,2] [,3] [,4]
## [1,]    1    1    1    1
## [2,]    1    1    1    1
## [3,]    1    1    1    1
## [4,]    1    1    1    1
```

- Поменяйте все некрайние значения матрицы M (то есть значения на позициях [2,2], [2,3], [3,2] и [3,3]) на число 2.

```
M[2:3, 2:3] <- 2
M
```

```
##      [,1] [,2] [,3] [,4]
## [1,]    1    1    1    1
## [2,]    1    2    2    1
## [3,]    1    2    2    1
## [4,]    1    1    1    1
```

- Выделите второй и третий столбик из матрицы M

```
M[,2:3]
```

```
##      [,1] [,2]
## [1,]    1    1
## [2,]    2    2
## [3,]    2    2
## [4,]    1    1
```

- Сравните (==) вторую колонку и вторую строчку матрицы M

```
M[,2] == M[2,]
```

```
## [1] TRUE TRUE TRUE TRUE
```

- Создайте таблицу умножения (9x9) в виде матрицы. Сохраните ее в переменную `tab`:

```
tab <- matrix(rep(1:9, rep(9,9))* (1:9), nrow = 9)
tab
```

```
##      [,1] [,2] [,3] [,4] [,5] [,6] [,7] [,8] [,9]
## [1,]    1    2    3    4    5    6    7    8    9
## [2,]    2    4    6    8   10   12   14   16   18
## [3,]    3    6    9   12   15   18   21   24   27
## [4,]    4    8   12   16   20   24   28   32   36
## [5,]    5   10   15   20   25   30   35   40   45
## [6,]    6   12   18   24   30   36   42   48   54
## [7,]    7   14   21   28   35   42   49   56   63
## [8,]    8   16   24   32   40   48   56   64   72
## [9,]    9   18   27   36   45   54   63   72   81
```

```
#
#outer(1:9, 1:9, "*")
#1:9 %o% 1:9
```

- Из матрицы `tab` выделите подматрицу, включающую в себя только строки с 6 по 8 и столбцы с 3 по 7.

```
tab[6:8, 3:7]
```

```
##      [,1] [,2] [,3] [,4] [,5]
## [1,]   18   24   30   36   42
## [2,]   21   28   35   42   49
## [3,]   24   32   40   48   56
```

- Создайте матрицу с логическими значениями, где TRUE, если в этом месте в таблице умножения (`tab`) двузначное число и FALSE, если однозначное.

Матрица - это почти вектор. К нему можно обращаться с единственным индексом.

```
tab>=10
```

```
##      [,1] [,2] [,3] [,4] [,5] [,6] [,7] [,8] [,9]
## [1,] FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE FALSE
## [2,] FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE
## [3,] FALSE FALSE FALSE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE
## [4,] FALSE FALSE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE
## [5,] FALSE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE
```

```
## [6,] FALSE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE
## [7,] FALSE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE
## [8,] FALSE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE
## [9,] FALSE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE TRUE
```

- Создайте матрицу `tab2`, в которой все значения `tab` меньше 10 заменены на 0.

```
tab2 <- tab
tab2[tab<10] <- 0
tab2
```

```
##      [,1] [,2] [,3] [,4] [,5] [,6] [,7] [,8] [,9]
## [1,]    0    0    0    0    0    0    0    0    0
## [2,]    0    0    0    0   10   12   14   16   18
## [3,]    0    0    0   12   15   18   21   24   27
## [4,]    0    0   12   16   20   24   28   32   36
## [5,]    0   10   15   20   25   30   35   40   45
## [6,]    0   12   18   24   30   36   42   48   54
## [7,]    0   14   21   28   35   42   49   56   63
## [8,]    0   16   24   32   40   48   56   64   72
## [9,]    0   18   27   36   45   54   63   72   81
```

## 4.5 Списки

Дан список `list_1`:

```
## $numbers
## [1] 1 2 3 4 5
##
## $letters
## [1] "a" "b" "c" "d" "e" "f" "g" "h" "i" "j" "k" "l" "m" "n" "o" "p" "q" "r" "s"
## [20] "t" "u" "v" "w" "x" "y" "z"
##
## $logic
## [1] FALSE
```

- Найдите первый элемент списка. Ответ должен быть списком.

```
list_1[1]
```

```
## $numbers
## [1] 1 2 3 4 5
```

- Теперь найдите содержание первого элемента списка двумя разными способами. Ответ должен быть вектором.

```
list_1[[1]]
```

```
## [1] 1 2 3 4 5
```

```
list_1$numbers
```

```
## [1] 1 2 3 4 5
```

Теперь возьмите первый элемент содержания первого элемента списка. Ответ должен быть вектором.

```
list_1[[1]][1]
```

```
## [1] 1
```

Создайте список `list_2`, содержащий в себе два списка `list_1` с именами `pupa` и `lupa`.

```
list_2 = list(pupa = list_1, lupa = list_1)
list_2
```

```
## $pupa
## $pupa$numbers
## [1] 1 2 3 4 5
##
## $pupa$letters
## [1] "a" "b" "c" "d" "e" "f" "g" "h" "i" "j" "k" "l" "m" "n" "o" "p" "q" "r" "s"
## [20] "t" "u" "v" "w" "x" "y" "z"
##
## $pupa$logic
## [1] FALSE
##
##
## $lupa
## $lupa$numbers
## [1] 1 2 3 4 5
##
## $lupa$letters
## [1] "a" "b" "c" "d" "e" "f" "g" "h" "i" "j" "k" "l" "m" "n" "o" "p" "q" "r" "s"
## [20] "t" "u" "v" "w" "x" "y" "z"
##
```

```
## $lupa$logic
## [1] FALSE
```

Извлеките первый элемент списка, из него - второй полэлемент, а из него - третье значение

```
list_2[[1]][[2]][3]
```

```
## [1] "c"
```

## 4.6 Создание функций

- Создайте функцию `plus_one()`, которая принимает число и возвращает это же число + 1

```
plus_one <- function(x) x+1
```

```
## [1] 42
```

- Создайте функцию `kvadrat()` возвращающее число в квадрате

```
kvadrat <- function(x) x*x
```

```
## [1] 36
```

- Создайте функцию `century()`, которая превращает год в век. Возможно, понадобится вспомнить, как года переводятся в века<sup>1</sup>.

Здесь нужно немного погуглить.

```
century <- function(x) floor((x-1)/100)+1
```

```
century(1999:2002)
```

```
## [1] 20 20 21 21
```

- \*А теперь сделайте функцию `century_roman()`, которая переводит год в век, записанный римскими цифрами!

Здесь нужно просто немного погуглить - возможно, для создания римских цифр есть уже готовая функция? Прежде созданные функции можно использовать для создания новых функций!

<sup>1</sup><https://ru.wikipedia.org/wiki/>



```
century_roman <- function(x) as.roman(century(x))
```

```
century_roman(1999:2002)
```

```
## [1] XX XX XXI XXI
```

- \*Напишите функцию `is_prime()`, которая проверяет, является ли число простым.

Здесь может понадобиться оператор для получения остатка от деления: `%%`. Еще может пригодиться функция `any()` - она возвращает `TRUE`, если в векторе есть хотя бы один `TRUE`

```
is_prime <- function(x) !any(x%(2:(x-1)) == 0)
```

```
is_prime(2017)
```

```
## [1] TRUE
```

```
is_prime(2019)
```

```
## [1] FALSE
```

```
2019/3 #2019 3
```

```
## [1] 673
```

```
is_prime(2020)
```

```
## [1] FALSE
```

- \*Создайте функцию `monotonic()`, которая принимает и возвращает `TRUE`, если значения в векторе не убывают (то есть каждое следующее - больше или равно предыдущему) или не возрастают.

```
monotonic <- function(x) all(diff(x)>=0) | all(diff(x)<=0)
```

```
monotonic(1:7)
```

```
## [1] TRUE
```

```
monotonic(c(1:5,5:1))
```

```
## [1] FALSE
```

```
monotonic(6:-1)
```

```
## [1] TRUE
```

```
monotonic(c(1:5, rep(5, 10), 5:10))
```

```
## [1] TRUE
```

## 4.7 Семейство apply()

- Посчитайте, в какой из 5 книг больше всего персонажей.

```
apply(got[, 9:13], 2, sum)
```

```
## GoT CoK SoS FfC DwD
## 250 324 389 250 261
```

```
# apply():
# colSums(got[, 9:13])
# :
# sapply(got[,9:13], sum)
```

- Сделайте датафрейм heroes с персонажами, которые присутствовали во всех книгах.

```
heroes <- got[apply(got[, 9:13], 1, sum) == 5, ]
```

```
heroes
```

##	Name	Allegiances	Death.Year	Book.of.Death	Death.Chapter
## 56	Arya Stark	Stark	NA	NA	NA
## 63	Balon Swann	Lannister	NA	NA	NA
## 104	Boros Blount	Baratheon	NA	NA	NA

```
## 131 Cersei Lannister House Lannister      NA      NA      NA
## 302      Grenn   Night's Watch      NA      NA      NA
## 345      Harys Swyft      Lannister      NA      NA      NA
## 383 Jaime Lannister      Lannister      NA      NA      NA
## 410      Jon Snow   Night's Watch      NA      NA      NA
## 436 Kevan Lannister House Lannister    300      5      NA
## 452 Lancel Lannister      Lannister      NA      NA      NA
## 548      Meryn Trant      Lannister      NA      NA      NA
## 652      Pycelle House Lannister    300      5      NA
## 741 Samwell Tarly   Night's Watch      NA      NA      NA
##      Book.Intro.Chapter Gender Nobility GoT CoK SoS FfC DwD Is.Alive
## 56      2      0      1      1      1      1      1      1      TRUE
## 63     29      1      1      1      1      1      1      1      TRUE
## 104     8      1      1      1      1      1      1      1      TRUE
## 131     4      0      1      1      1      1      1      1      TRUE
## 302    19      1      0      1      1      1      1      1      TRUE
## 345    69      1      1      1      1      1      1      1      TRUE
## 383     5      1      1      1      1      1      1      1      TRUE
## 410     1      1      1      1      1      1      1      1      TRUE
## 436    56      1      1      1      1      1      1      1     FALSE
## 452    47      1      1      1      1      1      1      1      TRUE
## 548     8      1      1      1      1      1      1      1      TRUE
## 652    20      1      0      1      1      1      1      1     FALSE
## 741    70      1      1      1      1      1      1      1      TRUE
```

```
#
#heroes <- got[rowSums(got[, 9:13]) == 5, ]
```

- Создайте функцию `na_n()`, которая будет возвращать количество NA в векторе.

```
na_n <- function(x) sum(is.na(x))
```

```
na_n(c(NA, 3:5, NA, 2, NA))
```

```
## [1] 3
```

- Посчитайте количество NA в каждом столбце `got`.

```
apply(got, 2, na_n)
```

```
##      Name      Allegiances      Death.Year      Book.of.Death
```

```
##           0           0           612           610
##      Death.Chapter Book.Intro.Chapter      Gender      Nobility
##           618           12           0           0
##           GoT           CoK           SoS           FfC
##           0           0           0           0
##           DwD           Is.Alive
##           0           0
```

- Есть список `spisok`:

```
spisok <- list(1:5, 0:20, 4:24, 6:3, 6:25)
```

- Посчитайте сумму каждого вектора.

```
sapply(spisok, sum)
```

```
## [1] 15 210 294 18 310
```

- А теперь длину.

```
sapply(spisok, length)
```

```
## [1] 5 21 21 4 20
```

- Напишите функцию `max_item()`, которая будет принимать на входе список, а возвращать - (первый) самый длинный его элемент.

```
max_item <- function (x) spisok[[which.max(sapply(x, length))]]
```

- Теперь мы сделаем сложный список:
  - Посчитайте длину каждого вектора в списке, в т.ч. для списка внутри
- Для этого может понадобиться функция `rapply()`: recursive `lapply`

```
rapply(large_spisok, length, how = "list")
```

```
## [[1]]
## [1] 3
##
## [[2]]
## [1] 38
##
## [[3]]
## [[3]][[1]]
```

```
## [1] 5
##
## [[3]][[2]]
## [1] 21
##
## [[3]][[3]]
## [1] 21
##
## [[3]][[4]]
## [1] 4
##
## [[3]][[5]]
## [1] 20
```



# Литература

- Adler, J. (2010). *R in a nutshell: A desktop quick reference*. "O'Reilly Media, Inc."
- Baesens, B., Van Vlasselaer, V., and Verbeke, W. (2015). *Fraud analytics using descriptive, predictive, and social network techniques: a guide to data science for fraud detection*. John Wiley & Sons.
- Brooks, H. and Cooper, C. L. (2013). *Science for public policy*. Elsevier.
- Hansjörg, N. (2019). *Data Science for Psychologists*. self published.
- Provost, F. and Fawcett, T. (2013). *Data Science for Business: What you need to know about data mining and data-analytic thinking*. O'Reilly Media, Inc.
- R Core Team (2019). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Thomas, N. and Pallett, L. (2019). *Data Science for Immunologists*. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Wickham, H. and Grolemund, G. (2016). *R for data science: import, tidy, transform, visualize, and model data*. O'Reilly Media, Inc.