

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ,  
НАУКИ И КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
ОРДЕНОВ ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ  
И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

И. Г. Пугачёва, О. С. Антипова

# **КОМПЬЮТЕРНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ**

*Рекомендовано учебно-методическим объединением  
по экологическому образованию в качестве учебно-методического  
пособия для обучающихся учреждений высшего образования  
II ступени по специальности 1-33 80 01 Экология*

Горки  
БГСХА  
2021

УДК 004.9:574(075.8)

ББК 20.1я73

П88

*Одобрено методической комиссией агроэкологического факультета*

*23.11.2021 (протокол № 3)*

*и Научно-методическим советом БГСХА*

*24.11.2021 (протокол № 3)*

Авторы:

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *И. Г. Пугачёва*  
(разделы 2 (2.4–2.6), 3 (3.5–3.6), 4 (4.3));

кандидат географических наук, доцент *О. С. Антипова*  
(разделы 1, 2 (2.1–2.3), 3 (3.1–3.4), 4)

Рецензенты:

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *Г. В. Седукова*;

кандидат географических наук, доцент *С. В. Андрушко*

**Пугачёва, И. Г.**

П88

Компьютерная визуализация экологической информации :  
учебно-методическое пособие / И. Г. Пугачёва, О. С. Антипова. –  
Горки : БГСХА, 2021. – 151 с. : ил.

ISBN 978-985-882-180-7.

Представлены теоретические основы, принципы и особенности визуализации экологической информации. Показаны значение классических и современных методов, возможности использования программных средств для компьютерной визуализации информации в научной и практической деятельности специалистов в области охраны окружающей среды.

Для обучающихся учреждений высшего образования II ступени по специальности 1-33 80 01 Экология.

УДК 004.9:574(075.8)

ББК 20.1я73

ISBN 978-985-882-180-7

© УО «Белорусская государственная  
сельскохозяйственная академия», 2021

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность изучения дисциплины обусловлена возрастанием роли и объёмов информации в жизни постиндустриального общества. Компьютерная визуализация является мощным средством решения проблемы обработки и анализа огромных массивов различной информации, в том числе в области экологии. Владение современными методами и инструментами компьютерной визуализации позволяет представить информацию в формах, усиливающих восприятие, значительно упрощающих и ускоряющих её анализ, синтез, оценку и прогноз, что делает данные навыки неотъемлемым инструментом современных научных исследований и практической деятельности специалистов в области рационального природопользования и охраны окружающей среды.

Цель учебной дисциплины – формирование теоретических знаний, умений и практических навыков визуализации экологической информации средствами компьютерной графики и анимации для использования в научно-исследовательской и практической деятельности.

Задачи учебной дисциплины состоят в изучении теоретических основ и специфики современных компьютерных технологий для графической и анимационной визуализации экологической информации; формировании умений и навыков работы в различных редакторах растровой и векторной графики, программах компьютерной анимации и ГИС-программах; изучении возможностей и выработке практических навыков использования ресурсов интернета для визуализации информации в области экологии.

В результате освоения учебной дисциплины магистрант научится анализировать характеристики исходных фактических экологических материалов, используемых для создания изображений, систематизировать и классифицировать изображения, применять методы получения и обработки пространственных данных, моделирования, пространственного анализа, визуализации.

В учебном пособии представлены теоретические основы визуализации экологической информации, а также примеры визуальной интерпретации экспериментальных данных об основных компонентах экосистем – животных, растениях, микроорганизмах, человеке, абиотических факторах, предложенные специалистами в различных областях знаний. Знакомство с такими примерами не только позволит понять преимущества удачной наглядной демонстрации результатов, но и значительно расширит кругозор читателей.

# 1. ОСНОВЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

## 1.1. Понятие и классификация компьютерной графики

Понятие **компьютерной графики** является многозначным. Так, ей называют специальную область информатики, занимающуюся методами и средствами создания изображений с помощью программно-аппаратных вычислительных комплексов.

Компьютерная графика – использование вычислительной техники для создания графических изображений, их отображения различными средствами и манипулирования ими.

Компьютерная графика – это множество графических изображений, выводимых на экран компьютера или другого устройства.

В первом случае компьютерная графика выступает как *область науки*, во втором – как *деятельность, процесс*, в третьем – как *совокупность объектов*.

Для лучшего понимания теоретических и практических аспектов визуализации экологической информации необходимо определить объекты и связи в предметной области компьютерной графики (рис. 1.1).

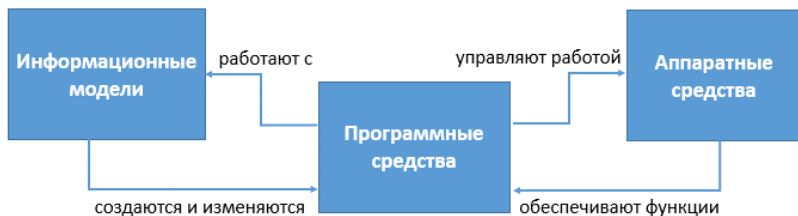


Рис. 1.1. Объекты и связи в предметной области компьютерной графики (по Миронову Д. Ф.)

*Информационная модель* объекта или явления – совокупность структурированных данных, достаточно полно описывающая существенные для задач моделирования (релевантные) аспекты этого объекта или явления, и операций, с помощью которых пользователь может изучать модель и вносить в нее изменения. Применение информа-

ционной модели взамен реального явления или объекта дает возможность работать с ними с помощью автоматизированных информационных технологий.

*Программным средством* называется совокупность программных модулей, обеспечивающих автоматизацию выполнения операций с данными, представленными в формате той или иной информационной модели. Программные средства выполняют две основные функции:

- автоматизируют выполнение рутинных операций и их последовательностей за счет алгоритмов, реализованных в программных модулях;
- обеспечивают возможность воздействия пользователя на состав и значения параметров информационной модели через средства интерфейса пользователя (как правило, графического).

В компьютерной графике чаще других встречаются следующие категории программных средств: графические редакторы, подключаемые модули (плагины), драйверы графических устройств, средства просмотра изображений, архиваторы изображений, средства тестирования и настройки аппаратных устройств.

К *аппаратным средствам*, применяющимся в компьютерной графике, относятся:

- компьютеры, в состав которых входят: процессор, оперативная память, накопители, видеокарта с графическим ускорителем;
- устройства графического вывода: мониторы, видеoprojectоры, печатающие устройства (лазерные, струйные и термосублимационные принтеры и др.);
- устройства графического ввода: манипуляторы (клавиатура, мышь, тачпад, трекбол и др.), графические планшеты, сканеры, цифровые камеры;
- специальные устройства (например, устройства для вывода голограмм и стереопар).

Компьютерная графика является активно развивающимся сегментом современных технологий, поэтому её разнообразие велико. Рассмотрим вопрос **классификации компьютерной графики**: по способу формирования изображения, размерности, динамике изображения.

*Классификация компьютерной графики по способу формирования изображения.* Способ формирования изображения является основополагающим классификационным признаком графики, так как он не только лежит в основе качества изображения, выводимого на экран, но и определяет возможности редактирования и ёмкость занимаемой при

хранении изображения памяти, а также поведение графического объекта при различных технических характеристиках монитора.

Растровая графика – способ построения изображений, в котором изображение представляется массивом простейших элементов – пикселей, где каждый пиксель имеет четко заданное положение.

Векторная графика предназначена для создания изображений в виде совокупности линий (векторов). Такие иллюстрации широко используются в редакционной, оформительской, чертежной, проектно-конструкторской работе, в картографии.

Фрактальная графика – вычисляемая графика, основанная на программировании изображения, поэтому она обычно используется для построения графиков и диаграмм. Фрактал – геометрическая фигура, обладающая свойством самоподобия, то есть составленная из нескольких частей, каждая из которых подобна всей фигуре целиком. Небольшая часть фрактала содержит информацию обо всем фрактале.

*По размерности* получаемого изображения компьютерную графику можно разделить на следующие группы:

- двумерная компьютерная графика – 2D-графика – плоские 2-мерные изображения. Используется в полиграфических комплексах, в дизайнских, презентационных, анимационных программах;
- трёхмерная компьютерная графика – 3D-графика – графика с объёмным изображением.

*По динамике изображения* графика может быть:

- статической (компьютерная графика с неизменяющимися изображениями);
- компьютерной анимацией (графика с изменяющимися 2- и 3-мерными изображениями).

Кроме вышеперечисленных классификаций, по назначению графику можно разделить на группы: для полиграфии; для компьютерной живописи; для презентаций; для кино, рекламы, клипов; деловая графика – для отображения данных экономических расчетов в виде графиков и диаграмм различных типов; научная графика – для представления научных объектов различной природы, например, для виртуальной визуализации каких-либо процессов и явлений; конструкторская графика – для 2- и 3-мерного моделирования различных объектов (дизайн, проектирование, инженерные разработки, и пр.).

## 1.2. Компьютерная растровая и векторная графика: специфика и область применения

По способу формирования изображения наиболее распространены растровая и векторная компьютерная графика.

**Растровая графика.** Растровые изображения получают с помощью цифровых камер и сканеров.

Пиксель (англ. pixel) является основным элементом растровых изображений, мельчайшим из воспроизводимых компьютером. Слово пиксель произошло от сокращения picture element (элемент изображения) и замены буквы p на x. Отличительными особенностями пикселя являются его однородность (все пиксели по размеру одинаковы) и неделимость (внутри пикселя не может быть никаких более мелких элементов).

Растр (растровый массив) – представление изображения в виде двумерного массива точек, упорядоченных в ряды и столбцы. Для каждой точки растра указывается цвет и яркость. Цвет любого пиксела растрового изображения запоминается в компьютере с помощью комбинации битов (бит – единица измерения информации в двоичной системе исчисления). Чем больше битов для этого используется, тем больше оттенков цветов можно получить.

*Особенности растровых изображений.* Растровое изображение характеризуется двумя основными параметрами – разрешением (resolution) и глубиной цвета.

Разрешение устанавливается в пикселях на дюйм (ppi), для устройств ввода используется аналогичный показатель – точки на дюйм (dpi). Существуют следующие виды: разрешение экрана, разрешение принтера, разрешение изображения. Для качественного воспроизведения изображений, просматриваемых на экране монитора, в том числе размещаемых в Интернет, достаточно 72 ppi, для распечатки на принтерах – 100–150 ppi, для высококачественной полиграфии – не менее 300 ppi. Фото размером 10×12 см будет содержать примерно 1000×1200 пикселей.

Глубина цвета – количество бит (объем памяти), используемое для хранения и представления цвета при кодировании, или одного пикселя растровой графики (выражается ед. бит на пиксель (англ. bits per pixel, bpp)), либо для каждого цвета составляющего один пиксель (определяется как бит на компонент, бит на канал, бит на цвет (англ. bits per component, bits per channel, bits per color все три сокращенно bpc)).

С увеличением количества бит в представлении цвета количество отображаемых цветов стало непрактично большим для цветowych палитр. При большой глубине цвета на практике кодируют яркости красной, зелёной и синей составляющих – такое кодирование называют RGB-моделью (подробнее о них в подразделе 1.3).

Человеческий глаз воспринимает  $2^{24}$  цветов одновременно. В компьютерной графике одним из наиболее популярных методов представления и хранения изображения, позволяющих отобразить большое количество цветов, полутонов и оттенков является TrueColor.

TrueColor (от англ. true color – «истинный/настоящий цвет») приближен к цветам «реального мира», предоставляя 16,7 млн различных цветов. Такой цвет наиболее приятен для восприятия человеческим глазом различных фотографий, для обработки изображений. 24-битный TrueColor-цвет использует по 8 бит для представления красной, синей и зелёной составляющих (кодируется  $2^8 = 256$  различных вариантов представления цвета для каждого канала, то есть всего  $16\,777\,216$  цветов ( $256 \times 256 \times 256$ )).

Преимущества растровых изображений:

- растровая графика позволяет создать (воспроизвести) практически любой рисунок, вне зависимости от сложности, в отличие, например, от векторной, где невозможно точно передать эффект перехода от одного цвета к другому (в теории возможно, но файл размером 1 МБ в формате BMP будет иметь размер 200 МБ в векторном формате);
- редактирование фотореалистичных изображений (сцены природы, фотографии людей), возможность цветокоррекции, ретуши и создания спецэффектов на базе цифровых изображений;
- создание текстовых и фоновых эффектов в мультимедиа-продуктах;
- распространённость (используется практически повсеместно);
- высокая скорость обработки сложных изображений, если не нужно масштабирование.

Недостатки растровых изображений:

- большой размер файлов с простыми изображениями: зависимость размера файла и качества изображения от пространственного и цветового разрешения (объем файла точечной графики равен площади изображения, умноженной на разрешение и на глубину цвета);
- зависимость качества изображения от качества устройств вывода;
- невозможность идеального масштабирования (возникновение искажений, так называемых ступенек).

Из-за этих недостатков для хранения простых рисунков рекомендуют вместо даже сжатой растровой графики использовать векторную графику.

Основные группы *программных продуктов*, предназначенных для работы с файлами растровой графики:

- многофункциональные графические редакторы (Adobe Photoshop, Corel PhotoPaint, бесплатные GIMP, Pixa, Krita, Paint.NET и др.);
- просмотрщики и каталогизаторы графических файлов (ACDSee, FastStone Image Viewer, XnView и др.);
- программы захвата статических графических изображений (ABBY Screenshot Reader, Monosnap, Snagit, Movavi Screen Capture и др.).

Использование многофункциональных редакторов растровой графики в первую очередь предполагает создание и редактирование фотореалистичных изображений, а также возможность использования множества фоновых и текстовых эффектов. Стандартными процедурами оптимизации фотоизображений являются изменение размеров, кадрирование, контрастирование, цветовая коррекция, ретуширование и др.

**Векторная графика** – вид компьютерной графики, в котором изображение представляется в виде совокупности отдельных объектов, описанных математически. Векторные изображения требуют ручного ввода (построения и рисования). Могут быть получены из растровых с помощью программ трассировки.

Основой векторной графики являются элементарные геометрические объекты (примитивы), такие как: точки (опорные, управляющие, точки перегиба), линии (прямые и ломаные), кривые Безье, окружности, многоугольники.

В качестве примера способа хранения информации в векторной графике рассмотрим окружность. Для неё достаточно задать 3 характеристики: координаты центра, радиус и цвет. Для масштабирования фигуры достаточно присвоить соответствующим параметрам новые значения. Таким образом, каждый элементарный объект задается вектором (линией) и некоторыми параметрами. Поэтому основным элементом изображения является линия.

Точки (узлы) также имеют свойства, параметры которых влияют на форму конца линии и характер сопряжения с другими объектами.

В компьютерной графике и анимации для построения часто используются кривые Безье. Это математически описанные кривые, ме-

тод построения которых основан на использовании пары касательных, проведенных к линии в точках её окончания (рис. 1.2).

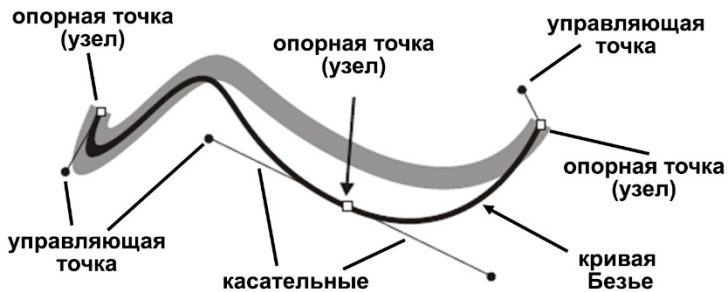


Рис. 1.2. Перемещение опорной точки (узла) в кривой Безье

#### *Особенности создания и редактирование векторных изображений.*

Множество операций по созданию или редактированию различных по своей сложности векторных изображений строятся по одинаковым принципам и зависят от класса графических объектов, с которыми работает пользователь.

Классом графических объектов называется совокупность объектов, обладающих свойством структурной идентичности, одинаковым списком атрибутов и набором методов работы с ними, а также её формальное описание, состоящее из описания всех атрибутов и методов класса.

В качестве примера рассмотрим такой класс графических объектов как прямоугольники. Структурная идентичность – у каждого прямоугольника имеются по четыре стороны и по четыре угла; одинаковый список атрибутов – прямоугольники могут быть разной высоты и ширины, но у каждого из них есть высота и ширина; одинаковый набор методов работы – прямоугольник можно создать, удалить, развернуть, растянуть, сжать, перекосить, можно закруглить ему углы.

В пакетах векторной графики во всех классах графических объектов к атрибутам относятся: координаты точки привязки, угол разворота вокруг точки привязки, коэффициенты масштабного преобразования.

Точкой привязки называется точка начала локальных координат графического объекта.

Углом разворота называется угол, образованный одноименными осями координат локальной системы графического объекта и системы координат страницы.

Масштабным преобразованием называется изменение габаритных размеров графического объекта, записанных в его дескрипторе, в процессе рендеринга (процедуры построения изображения).

При построении изображений часто приходится иметь дело с ситуациями, когда общее изображение включает в себя целый ряд компонент (фрагментов), отличающихся друг от друга только местоположением, ориентацией, масштабом. Например, пунсоны городов или другие условные обозначения на географических картах (места произрастания редких и исчезающих видов растений, диаграммы объемов сбора различных сельскохозяйственных культур, направление миграций диких животных и т. д.). В этом случае целесообразно описать один фрагмент в качестве базового, а затем получать остальные требуемые фрагменты путем использования операций преобразования.

С помощью операций преобразования можно выполнять следующие действия:

- 1) перемещать рисунки из одного места экрана в другое;
- 2) создавать рисунок из более мелких элементов;
- 3) добавлять к существующему рисунку новые элементы;
- 4) увеличивать размер рисунка для улучшения его наглядности или отображения более мелких деталей;
- 5) уменьшать размер рисунка для внесения, например, поясняющих надписей или отображения на экране новых рисунков;
- 6) создавать движущиеся изображения.

Все изменения рисунков можно выполнить с помощью трех базовых операций:

- смещения (переноса, перемещения) изображения;
- масштабирования (увеличения или уменьшения размеров) изображения;
- поворота изображения (употребляют также термины «вращение», «изменение ориентации»).

Эти операции называются аффинными преобразованиями. Различают двумерные и трехмерные аффинные преобразования.

Более изощренные преобразования включают булевы операции на замкнутых фигурах: объединение, дополнение, исключение, пересечение и т. д.

Преимущества векторных изображений:

- изменение масштаба без потери качества и практически без увеличения размеров исходного файла;
- высокая точность (до сотой доли микрона);
- небольшой размер файла по сравнению с растровыми изображениями (экономия дискового пространства, меньший объем файлов, так как хранится не само изображение, а математическая формула объекта);
- высокое качество изображения при печати;
- отсутствие проблем с экспортом векторного изображения в растровое;
- возможность редактирования каждого элемента изображения в отдельности.

Недостатки векторной графики:

- отсутствие у векторных рисунков реалистичности, которая достигается путем применения различных сложных цветовых схем;
- при экспорте изображения из растрового формата в векторный возможна потеря качества;
- в векторной графике невозможно применить обширную библиотеку эффектов (фильтров);
- процесс стандартизации слабо коснулся векторных форматов.

Разработчики программ векторной графики предпочитают иметь дело только с собственными форматами.

*Векторные программы.* К наиболее распространённым многофункциональным редакторам векторной графики относятся Adobe Illustrator, Corel DRAW, Graviti Designer, бесплатные Inkscape, Libre Office Draw, Vectr, а также онлайн-редакторы SVG-Edit, VoxySVG и др.

Использование векторных программ позволяет: создавать логотипы, визуалы, чертежи (четкие, резко очерченные линии); работать со сложными многостраничными документами с элементами логической разметки; использовать элементы анимации, мультимедиа и интерактивности.

*Различные виды векторизации растровых изображений.* Как отмечалось ранее, процедура трансформации растрового изображения в векторное и наоборот являются стандартными, однако первая более трудоёмкая.

Векторизация – преобразование изображения из растрового представления в векторное; процесс, обратный растеризации. Проводится в случае: если результат векторизации подлежит дальнейшей обработке исключительно в программах векторной графики; с целью повышения

качества изображения (например, логотипа); для создания изображения, пригодного для масштабирования без потери качества; если дальнейшая обработка изображения будет осуществляться на специфическом оборудовании (плоттеры, станки с ЧПУ).

Существует два вида векторизации растровых изображений: автоматическая и ручная. В большинстве современных программ векторной графики имеется встроенная возможность автоматической трассировки векторного изображения, но зачастую предпочтительнее ручная отрисовка с подбором шрифтов.

На первом этапе ручной векторизации пиксельное изображение приводят к размеру, необходимому для последующей работы. После этого целесообразно защитить импортированное пиксельное изображение от изменений во избежание случайного смещения из исходного положения. На втором этапе ручной векторизации над изображением строят замкнутые линии любым способом, удобным пользователю. В заключение этого этапа строят незамкнутые кривые. Одновременно с построением кривых целесообразно упорядочивать вновь построенные объекты в папки (совокупности слоев), именовать их, группировать или соединять объекты, которым впоследствии будет назначаться одинаковая заливка. На третьем этапе ручной векторизации ранее построенным объектам назначают параметры заливки и обводки. Большинство объектов получают однородную заливку. Там, где требуется плавный переход цвета, возможно применение одного из приемов: 1) назначение градиентной заливки; 2) построение в границах объекта пошагового перехода или ореола с желаемым сочетанием начальных и конечных параметров заливки, имитирующих плавный переход цвета; 3) к отдельным объектам и частям изображения могут применяться сетчатые заливки.

**Использование цифровых файловых форматов.** Способ организации информации в файле называется *форматом*. Для успешной работы в современных программных средствах компьютерной графики необходимо знание характерных особенностей их организации и возможностей. Всё множество форматов можно условно разделить на три категории:

- хранящие изображение в растровом виде;
- хранящие изображение в векторном виде;
- универсальные, совмещающие векторное и растровое представления.

Рассмотрим некоторые актуальные и наиболее распространённые форматы и начнём с первой категории.

*Растровые форматы.* Растровый файл представляет собой таблицу (матрицу), в каждой ячейке которой установлен пиксель. Считывание информации основано на выполнении следующих процедур: 1) определение размера изображения (количество пикселей по горизонтали X количество пикселей по вертикали Y); 2) определение размера пикселя (пространственная разрешающая способность изображения); 3) определение битовой глубины (цветовая разрешающая способность изображения).

Растровые изображения обычно хранятся в сжатом виде. В зависимости от типа сжатия может быть возможно или невозможно восстановить изображение в точности таким, каким оно было до сжатия (сжатие без потерь или сжатие с потерями соответственно).

Сжатие данных без потерь (англ. lossless data compression) – класс алгоритмов сжатия данных, при использовании которых закодированные данные однозначно могут быть восстановлены с точностью до бита, пикселя и т.д. При этом оригинальные данные полностью восстанавливаются из сжатого состояния. Данный алгоритм эффективен для изображений с большими областями однородной заливки или повторяющимися узорами.

Сжатие без потерь используется в следующих форматах:

- BMP (от англ. Bitmap Picture) – применяется для хранения растровых изображений для использования в Windows, глубина цвета составляет от 1 до 32 бит (модель RGB + альфа канал); при обработке файлов формата BMP расходуется мало системных ресурсов, что обеспечивает быстрый вывод изображений; недостатком является большой объем файла;

- PSD (от англ. Photoshop Document) – формат, созданный специально для программы Adobe Photoshop; сохраняет слои и папки слоёв, прозрачность и полупрозрачность, векторные графические элементы; изображение подвергается «легкому» сжатию по методу RLE (run length encoding); недостатком формата является большой объем файла;

- GIF (англ. Graphics Interchange Format) – был разработан в 1987 г. для передачи растровых изображений по сетям; работает только с индексированной палитрой из 256 цветов; формат GIF поддерживает анимационные изображения (фрагменты представляют собой последовательности нескольких статичных кадров, а также информацию о том, сколько времени каждый кадр будет показан на экране);

- PNG (англ. Portable Network Graphics) – спроектирован для замены устаревшего и более простого формата GIF, а также, в некоторой степени, для замены значительно более сложного формата TIFF; позиционируется прежде всего для использования в Интернете и редактирования графики; поддерживает полутоновое, цветное индексированное и полноцветное изображения (с глубиной цвета 48 бит), а также полноценные возможности альфа-канала (эффекта прозрачности);

- TIFF (Tagged Image File Format) – один из самых распространенных форматов для изображений с цветовыми каналами; популярен для хранения изображений с большой глубиной цвета, используется при сканировании, отправке факсов, распознавании текста, в полиграфии; импортируется во все программы настольных издательских систем; может работать в любой программе векторной и точечной графики; позволяет сохранять альфа-каналы.

Сжатие данных с потерями (англ. lossy compression) – метод сжатия данных, при использовании которого распакованные данные отличаются от исходных, но степень отличия не существенна с точки зрения их дальнейшего использования. Принцип компрессии заключается в том, что множество слегка отличающихся оттенков заполняются пикселями одного цвета; ключевым является определение «приемлемого уровня» потерь. Данный метод эффективен для изображений фотографического качества и применяется в таком формате как:

- JPEG (англ. Joint Photographic Experts Group) – один из популярных растровых графических форматов, позволяющий значительно уменьшить объем файла при сохранении визуальной составляющей; поддерживает сжатие полноцветных изображений; имеет относительно невысокую вычислительную сложность; недостатками формата являются блочность структуры на высоких степенях компрессии (8 на 8 пикселей), закругление острых углов и размывание тонких элементов, поддержка только цветовой модели RGB.

*Векторные и универсальные форматы* используют для кодирования графической информации различные алгоритмы и разный математический аппарат.

Для переноса файлов между приложениями в векторной графике используются:

- форматы двух векторных пакетов: Adobe Illustrator и CorelDRAW;
- конвертация родных форматов приложений в универсальные форматы EPS и PDF.

AI (англ. Adobe Illustrator Artwork) – формат графического редактора Adobe Illustrator, назначение которого – работа со сложными векторными изображениями. Формат используется для обмена объектами между программами и представляет собой набор точек и линий, может содержать текст и цвета, в создании которых на программном уровне широко применяется язык PostScript. Первоначально предназначенный только для работы с векторной графикой, в современных версиях этот формат допускает хранение пиксельных изображений как импортированных объектов. Может считываться Adobe Photoshop, практически всеми векторными редакторами (CorelDRAW, Inkscape и др.) и адекватно импортируется в систему трехмерного моделирования 3D Studio Max. Дает хорошее качество изображения при изменении масштаба. В качестве цветовых моделей приняты RGB, CMYK, HSB и др. Недостатками формата является то, что: у программных комплексов, которые повторяют спецификацию формата, получаются громоздкие, медленно обрабатываемые файлы; файлы AI новых версии Adobe Illustrator не открываются в старых программных комплексах; при конвертации изображения из AI в другой формат, могут не передаваться эффекты.

CDR – формат графического редактора CorelDRAW. Основное назначение интегрированного пакета программ CorelDRAW – работа с векторными графическими документами, хотя в их составе могут присутствовать и пиксельные изображения (в виде импортированных объектов). Изображение строится как совокупность графических примитивов (прямоугольников, кривых, текстов, эллипсов и дуг), а также созданных на их основе составных объектов. Изображение сильно структурировано, графический документ может включать несколько страниц, каждая из которых – произвольное число слоев. Формат файлов с расширением cdr достаточно компактен, многие редакционно-издательские программы и графические редакторы позволяют импортировать изображения, представленные в этом формате. В качестве цветовых моделей приняты RGB, CMYK, HSB и др. Лучше, чем AI сохраняет в себе параметры и спецэффекты объектов. Недостатки: изображения, созданные в новых версиях, не открываются (или некорректно открываются) в программах предыдущих версий; практически несовместим с другими программными комплексами.

EPS (англ. Encapsulated PostScript) – универсальный межплатформенный формат файлов, базирующийся на подмножестве языка PostScript и предназначенный для обмена графическими данными

между различными приложениями. Формат EPS был создан компанией Adobe и послужил базой для создания ранних версий формата AI. Используется в профессиональной полиграфии и может содержать растровые и векторные изображения, а также их комбинации. Изображение, записанное в формате EPS, может быть сохранено в разных цветовых пространствах: Grayscale, RGB, CMYK и др. Достоинства: быстро справляется с большими объемами данных для печати на PostScript-устройствах; удобен для дизайнеров тем, что при изменении ширины или высоты изображения не меняется его качество. Недостатки: отсутствие возможности работать с многостраничными документами; формат не поддерживает прозрачность; большой объем файла.

PDF (англ. Portable Document Format) – кроссплатформенный формат электронных документов, созданный фирмой Adobe Systems с использованием ряда возможностей языка PostScript. Чаще всего PDF-файл является комбинацией текста с растровой и векторной графикой, реже с мультимедийными и интерактивными элементами. В первую очередь предназначен для представления в электронном виде полиграфической продукции (журналы, электронные книги и разнообразная документация). Поддерживает RGB, CMYK, Grayscale и др. цветовые модели. Включает механизм электронных подписей для защиты и проверки подлинности документов.

### **1.3. Основы графического дизайна.**

#### **Базовые принципы графического дизайна и их применение в компьютерной визуализации экологической информации**

Для современного периода развития общества характерны две тенденции: рост качества жизни и ужесточение конкуренции во всех областях производства и сферы услуг. Повышаются требования к удобству и эстетическому совершенству всего, что окружает человека, а конкуренция приводит к тому, что преуспевают те, кто уделяет этому фактору значительное внимание. Данные тенденции, естественно, затронули и четвертичный сектор экономики, к которому относятся информационные технологии, образование и научные исследования. Поэтому значение дизайна в жизни современного общества сложно переоценить. Возрастание роли дизайна и спроса на продукцию специалистов в этой области привели к необходимости интенсификации и повышения эффективности этого вида труда. Компьютеризация, в свою

очередь, определила графический дизайн как основное направление развития в решении данной задачи.

**Графический дизайн** (от англ. *design* – замысел, проект, чертеж, рисунок) представляет собой специфическую область художественно-проектной деятельности, которая направлена на создание визуальных сообщений, распространяемых преимущественно с помощью средств массовой коммуникации.

Термин «графический дизайн» впервые появился в печати в 1922 г. в эссе «Новый вид печати призывает к новому дизайну» Уильяма Аддисона Двиггинса, американского дизайнера книг в начале XX века. Официальной же датой рождения графического дизайна принято считать 1964 г., когда состоялся Первый конгресс Международного общества организаций графического дизайна ICOGRADA (International Council of Graphic Designers Associations).

В это же время французский картограф и теоретик Жак Бертен опубликовал свою книгу «Семиология графики» (1967), в которой применительно к статичным бумажным картам разработал представление о графических переменных.

**Визуальные (графические) переменные** – основные параметры зрительного восприятия информации, значения которых характеризуют любой графический элемент в изображении.

Это форма, размер, ориентировка, цвет, насыщенность цвета (светлота), текстура (рис. 1.3).

Определение Жака Бертена 6 визуальных переменных может смело применяться в любой графической визуализации. Джон Крюгер и Денис Вуд включили эти переменные в свою книгу «Создание карт: наглядное руководство по дизайну карт для ГИС» (2005 г.). В ней они расширили теорию Жака Бертена и продемонстрировали, какие из переменных эффективней отражают количественные показатели, а какие качественные в географических данных (рис. 1.4).

Основными путями создания графического дизайна являются: компоновка (форма, размер, взаимное расположение объектов), выбор образов, выбор шрифта, цветовое и фактурное решение. Рассмотрим влияние разных графических переменных на процесс визуализации экологической информации и особенности её восприятия человеком.

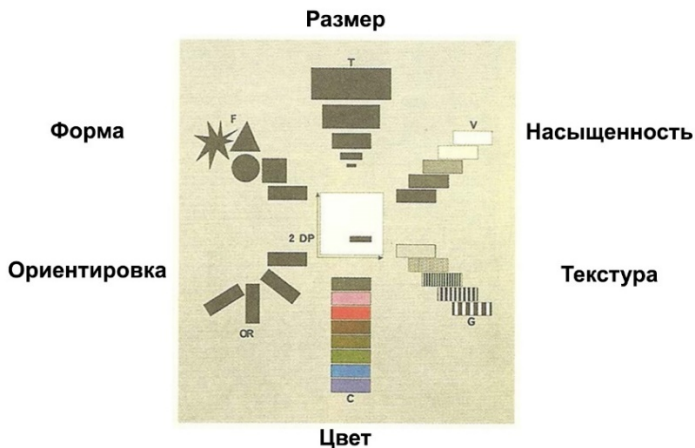


Рис. 1.3. Графические переменные Жака Бертена, 1967 г.

	Точки	Линии	Области	Лучше показывает
Форма (Shape)		возможно, но непонятно	картограмма	качественные различия
Размер (Size)			картограмма	количественные различия
Цветовой тон (Color Hue)				качественные различия
Насыщенность цвета (светлота) (Color Value)				количественные различия
Интенсивность цвета (Color Intensity)				качественные различия
Текстура (Texture)				качественные и количественные различия

Рис. 1.4. Графические переменные по Джону Крюгеру и Денису Вуду, 2005 г.

*Кодирование информации формой.* Форма (лат. forma – «внешний вид») предмета – взаимное

столбцов в гистограмме (столбчатой диаграмме) или сегмента в круговой диаграмме может отражать как абсолютные (тыс. чел., тонны, часы, мг/м<sup>3</sup> и т. д.), так и относительные единицы (% , баллы). Важно значение данной графической переменной и при визуализации любой пространственной информации. На картографических изображениях с помощью размера можно отразить количественные характеристики объектов и процессов (мощность электростанций, численность сельского населения, повторяемость ветров и др.), а также реальное положение или прогнозируемое распространение природных компонентов (структура почвенного и растительного покрова, площади развития ветровой и водной эрозии, границы агроклиматических областей, ландшафтное разнообразие территории и др.).

*Представление информации в виде образов.* Наиболее эффективным и несущим наибольший объем информации является представление данных в виде образов или картин.

Восприятие человека устроено так, что его мозг, взаимодействуя с внешним миром, воспринимая и осмысливая поступающую информацию, настраивается на определенные образы или эталоны, которые легко, без необходимого приспособления и тренировки, воспринимаются им и требуют дополнительного кодирования.

Основными преимуществами метода образного кодирования являются:

- возможность согласования большого потока информации с пропускной способностью сенсорных анализаторов человека;
- значительное сокращение объема ненужной информации;
- существенное снижение необходимости в априорных сведениях об изучаемом объекте;
- компактность в отношении занимаемой площади;
- широкие возможности перестройки для обслуживания объектов различного назначения.

Например, вспомните знак вторичной переработки сырья – треугольник из трех стрелок, образующий петлю Мебиуса. Для того, чтобы объяснить человеку, что какой-либо продукт безопасен и может быть подвергнут переработке, а также рассказать о порядке утилизации использованного продукта необходимо как минимум десяток слов, на поиск и чтение которых уйдет определённое время. Однако с помощью образов и некоторой информации в виде цифр, эта задача существенно упрощается.

Поскольку человек – существо социальное, то наибольшее значение для него приобретают контакты с другими людьми.

По выражению лица, мимике люди мгновенно определяют эмоциональное состояние человека, но наряду с основными эмоциональными состояниями различают десятки их оттенков. Эта информативность лица передается в фотографиях, рисунках, карикатурах и т.д. При подготовке информационных и презентационных материалов по экологии, ориентированных на широкое население (брошюры, плакаты, ролики, социальная реклама и др.), такой способ визуализации также является эффективным.

**Основы типографики, категории шрифтов и области их применения.** Несмотря на то, что в последнее время в области визуализации информации преобладает тенденция сокращения текстовой части, совсем обойтись без неё практически невозможно. В особенности это касается сложной информации, например, научной. Текст выполняет важнейшие функции экспликации (пояснения, расшифровки) и утверждения единого смысла передаваемой информации. Если в восприятии и дальнейшей интерпретации визуальной составляющей у разных людей иногда могут сформироваться разные (субъективные) представления, то при сопровождении изображения текстом вероятность этого резко снижается. Важность текста и его оформления при визуализации информации обуславливает необходимость изучения основ типографики. Приведём наиболее распространённые определения этого термина.

*Типографика* (от греч. τύπος – отпечаток + γράφω – пишу) – искусство оформления печатного текста, базирующееся на определённых, присущих конкретному языку правилах, посредством набора и вёрстки.

*Типографика* – искусство расположения, создания композиции из наборного материала (шрифты, наборные украшения и др.) на плоскости листа.

Типографика является одной из отраслей графического дизайна и представляет собой свод строгих правил, определяющих использование шрифтов в целях создания наиболее понятного для восприятия читателя текста. Типографический процесс включает выбор регистра алфавита, гарнитуры, комплекта и кегля шрифта, выключки и длины строк, межбуквенных, межсловных и междустрочных пробелов, а также взаимного расположения текста и иллюстраций. Рассмотрим подробнее основные термины и понятия в области типографики.

Шрифт (нем. *Schrift* от *schreiben* «писать») – графический рисунок начертаний букв и знаков, составляющих единую стилистическую и композиционную систему, набор символов определённого размера и рисунка.

Группа шрифтов разных видов и кеглей, имеющих одинаковое начертание, единый стиль и оформление, называется гарнитурой. Например, Times New Roman – это гарнитура. Times New Roman Regular, Times New Roman Italic, Times New Roman Bold – семейство шрифтов из гарнитур Times New Roman. Times New Roman Regular – конкретный шрифт из гарнитур Times New Roman.

Основные характеристики шрифтов:

- размер (кегель) в пунктах (1 пункт равен 1/72 дюйма) – размер строчной буквы или знака по вертикали, включающий её нижние и верхние выносные элементы, пробельное расстояние снизу неё;

- начертание – модификация рисунка символов гарнитур за счет изменения толщины штрихов и их наклона. Каждому начертанию соответствует отдельный рисунок символов, поэтому число начертаний в различных гарнитурах различно. Стандартными начертаниями считают обычное (Normal), курсивное (Italic), полужирное (Bold) и полужирное курсивное (Bold-Italic);

- насыщенность – отношение толщины штриха к ширине внутрибуквенного просвета: светлый, полужирный, жирный;

- ширина: нормальный, узкий, широкий, шрифт фиксированной ширины;

- чёткость: чёткий, размытый.

Выравнивание – атрибут форматирования текста, определяющий, каким образом слова будут размещаться вдоль строк. Для этой операции форматирования важна величина ширины полосы набора. Полосой набора называется предназначенная для размещения текста область, ограниченная параллельными линиями, между которыми по перпендикулярным им базовым линиям размещаются строки текста. Виды выравнивания текста: по левому краю, по центру, по правому краю, по ширине.

Интерлиньяж – атрибут форматирования текста, управляющий расстоянием между базовыми линиями смежных строк. Измеряется либо в абсолютных значениях (расстояние задается в пунктах), либо – в относительных (расстояние задается в процентах от кегля, которым набран текст). По умолчанию интерлиньяж устанавливается равным 100 % кегля. Это обусловлено тем, что рисунок гарнитур предусмат-

ривает свободное пространство над символами, которое обеспечивает оптимальное с точки зрения разработчика гарнитуры межстрочное расстояние. Но в практике работы с текстами для малых кеглей это расстояние часто увеличивают (обычно до 120 %), а для больших – иногда уменьшают.

Трекинг называется регулирование размера межсловных и межсимвольных расстояний для текста в целом. В группу атрибутов трекинга входят два относительных значения: межсимвольное и межсловное расстояния. Эти значения указывают в процентах от стандартных величин, заданных при разработке гарнитуры. По умолчанию значение межсимвольного расстояния равно нулю, поскольку рисунок символов предусматривает межсимвольные интервалы.

По умолчанию значение межсловного расстояния равно 100 %. Это означает, что межсловное расстояние равно предусмотренной гарнитурой ширине пробела. Увеличение этого расстояния называется разрядкой и применяется для визуального выделения части текста.

Классификация шрифтов по назначению:

- текстовые шрифты – шрифты, предназначенные для набора сплошных текстов, наиболее консервативные в отношении формы. Они должны быть максимально привычными и незаметными, чтобы не отвлекать читателя от содержания текста;

- заголовочные и выделительные начертания – обычно часть текстовой гарнитуры; встречаются в сплошном тексте и служат для привлечения внимания к его фрагментам или заголовку. По рисунку заголовочные начертания немногим отличаются от текстовых, но предназначены для более крупных кеглей (начиная с 14 пт). К заголовочным относятся начертания более жирные, более светлые или более контрастные, чем это необходимо для набора сплошного текста;

- акцидентные («декоративные») шрифты – используются для привлечения внимания читателя, обычно в крупных кеглях (поэтому частично совпадают с понятием афишно-плакатных шрифтов).

При выборе шрифтов дизайнеры руководствуются 2 основными правилами:

- 1) не использовать слишком много шрифтов: в большинстве случаев достаточно 1–2 (контраст между заголовком и основным текстом);

- 2) помнить о читабельности: чёткость текста во многом зависит от цвета, размера, интервалов и стиля шрифта.

На правильное направление дизайна в плане типографики оказывает существенное влияние целевая аудитория, для которой осуществля-

ется визуализация информации. Так, в научной и образовательной сфере это будет более строгий стиль и простота оформления. Обилие акцидентных шрифтов в данном случае будет неуместным. Напротив, в целях популяризации экологических идей среди населения или экологического образования детей дошкольного и младшего школьного возраста, необычные и яркие заголовки будут привлекать внимание и пробуждать определенные эмоции (формирование представления об экологии как о чём-то «нескучном»), положительное отношение к вопросам охраны природы, осуждение нерационального природопользования и др.).

**Цвет в визуализации информации.** Как составная часть изображения, цвет играет две важные роли. Во-первых, в информационной модели изображения цвет, представленный с помощью цветовых моделей, несет информацию об изображенных предметах. Во-вторых, в процессе визуального восприятия изображения цвет воздействует на ассоциативную память зрителя и вызывает у него определенные эмоции, слабо связанные с самим изображением, но сильно влияющие на процесс его восприятия.

Цветовые характеристики включают такие показатели, как:

- цветовой тон (hue) – H;
- насыщенность цвета (saturation) – S;
- светлота или яркость (brightness) – B.

Число яркостных ступеней, различаемых внутри одного цвета, зависит от его тона: например, для желтого их только три, в то время как для красного или синего можно выделить 6–7 ступеней.

Цветовой тон – это главная характеристика цвета, то, чем, собственно, и отличается один цвет от другого в первую очередь. Цветовой тон определяется местом цвета в цветовом спектре – красный, оранжевый, жёлтый и так далее. В физическом смысле цветовой тон зависит от длины световой волны. Длинные волны относятся к красно-оранжевой части спектра, короткие – к сине-фиолетовой части. Средняя длина волны – это жёлтые и зелёные цвета; они наиболее благоприятны для зрения. Все цвета, которые обладают цветовым тоном, называются хроматическими (от древнегреческого «хромос» – «цвет»).

Не все цвета обладают цветовым тоном. Существуют ахроматические цвета. Это чёрный, белый и вся шкала серых между ними. Они не имеют цветового тона. Чёрный – это отсутствие цвета, белый – это смешение всех цветов. Ахроматические цвета могут отличаться только по светлоте.

Вторая составляющая – насыщенность – доля отраженного света данной длины волны; может быть уменьшена добавлением белого, черного или иных цветов. Насыщенность определяется удалённостью цвета от серого той же светлоты. В качестве примера представьте, как свежая весенняя придорожная трава (насыщенный зелёный) с наступлением сухого лета слой за слоем покрывается пылью. Её первоначальный цвет теряет свою свежесть. В результате цвет приобретает минимальную насыщенность. Цвета с максимальной насыщенностью – это спектральные цвета; минимальная насыщенность дает полную ахроматику (отсутствие цветового тона).

Светлота (яркость, освещенность или величина яркости) – это степень отличия какого-либо цвета от белого. Белый цвет – самый светлый. Как только появляется примесь какого-то другого цвета, светлота уменьшается. Цвет в своём спектральном состоянии обладает средним значением светлоты. Примесь чёрного уменьшает светлоту цвета ещё больше, пока цвет не превратится в абсолютно-чёрный. У чёрного – минимальная светлота.

В компьютерной графике важным вопросом является применение различных цветовых моделей.

*Цветовая модель* – способ представления большого количества цветов посредством разложения их на простые составляющие.

Аддитивными моделями цвета (от англ. *add* – складывать) называются цветовые модели, в которых световой поток со спектральным распределением, визуально воспринимающимся как нужный цвет, создается на основе операции пропорционального смешивания света, излучаемого тремя источниками.

*Модель RGB.* Название этой модели происходит от аббревиатуры, состоящей из первых букв английских названий её основных цветов. Красный (Red), зелёный (Green) и синий (Blue) цвета были выбраны в качестве базовых потому, что эти волновые диапазоны видимой части спектра максимально удалены друг от друга. Кроме того, они близки к диапазонам, на которые избирательно реагируют колбочки сетчатки человеческого глаза.

Цветовое пространство модели RGB непрерывно, но принято разбивать диапазоны интенсивности свечения источников на 256 интервалов. Нулевое значение соответствует отсутствию свечения, 255 – максимальной интенсивности, которую обеспечивает источник света (рис. 1.5).

Модель является аддитивной, то есть для получения нового оттенка нужно смешать основные цвета в определенных пропорциях. Таким образом, всего в данной модели  $256 \times 256 \times 256 = 16,7$  млн. цветов.

Местоположение любой точки (а значит, и любого цвета) в цветовом пространстве задается тремя числами, соответствующими значениям цветовых координат. Запись этих чисел в виде  $RxGyBz$  (где  $x$ ,  $y$  и  $z$  – целые числа от 0 до 255) называется формулой цвета RGB.

В цветовом пространстве RGB имеются характерные точки и линии. Формуле цвета R0G0B0 соответствует точка в начале цветовых координат и черный цвет (интенсивность излучения всех трех источников света равна нулю). Формуле цвета R255G255B255 соответствует «белая» точка, в ней интенсивность свечения всех источников максимальна. В координатах R127G127B127 расположена точка, определяющая цвет, который в компьютерной графике называют «нейтральным серым».

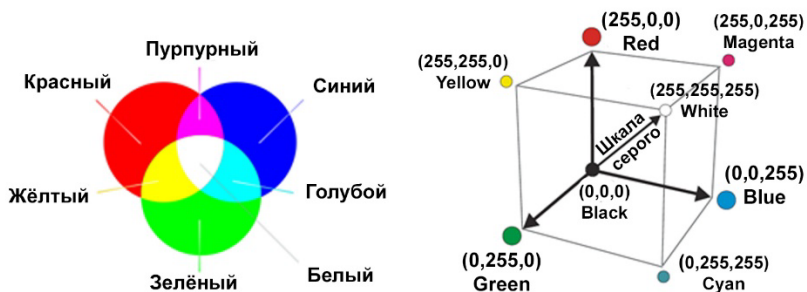


Рис. 1.5. Цветовая модель RGB

*Достоинства и недостатки модели цвета RGB.* Главные достоинства модели цвета RGB состоят в её простоте, наглядности и в том, что любой точке её цветового пространства соответствует визуально воспринимаемый цвет. Благодаря простоте этой модели она легко реализуется аппаратно и положена в основу конструкции экрана монитора компьютера, графических планшетов, смартфонов, телевизора и т. д. Модель соответствует восприятию цветов человеческим глазом (рецепторы трех видов, реагируют на соответствующую длину волны). В связи с этим, модель RGB является самой популярной и распространенной.

Но у модели цвета RGB есть два принципиальных недостатка. Первый – недостаточность цветового охвата. Независимо от размера цве-

тового пространства модели цвета RGB, в ней невозможно воспроизвести много воспринимаемых глазом цветов (например, спектрально чистые голубой и оранжевый). У таких цветов в формуле цвета RGB имеются отрицательные значения интенсивностей базового цвета, а реализовать не сложение, а вычитание базовых цветов при технической реализации аддитивной модели очень сложно.

Второй недостаток модели цвета RGB состоит в невозможности единообразного воспроизведения цвета на различных устройствах из-за того, что базовые цвета этой модели зависят от технических параметров устройств вывода изображений (в особенности вывода на печать). Поэтому, строго говоря, единого цветового пространства RGB не существует, области воспроизводимых цветов различны для каждого устройства вывода. Более того, даже сравнивать эти пространства численно можно только с помощью других моделей цвета.

Субтрактивными моделями цвета (от англ. *subtract* – вычитать) называются цветовые модели, в которых световой поток со спектральным распределением, визуально воспринимающимся как нужный цвет, создается за счет пропорционального вычитания основных цветов из исходного белого.

*Модель СМУК.* Так же, как при построении цветового пространства аддитивной модели цвета, базовые цвета субтрактивной модели можно выбрать множеством способов. Однако на практике пользуются почти исключительно триадными цветами: голубым, пурпурным и жёлтым. В компьютерной графике и полиграфии принято обозначать эти цвета по первым буквам их английских названий: Cyan, Magenta, Yellow. Отметим, что в цветовом круге (рис. 1.8) голубой и красный, пурпурный и зелёный, жёлтый и синий расположены на концах соединяющих их диаметров. В теории цвета такие пары цветов называются дополнительными или комплементарными (подробнее о закономерностях цветовых гармоний на с. 32).

На любой участок поверхности бумаги можно нанести от 0 до 100 % краски, поэтому цветовые координаты субтрактивной модели принято разделять на 100 интервалов. Поэтому формула цвета для такой модели выглядит следующим образом:  $C_a\%M_b\%Y_c\%$ . Например,  $C50\%M100\%Y100\%$  – формула, соответствующая 50%-му оттенку красного цвета.

В теории при смешивании максимально допустимых цветовой моделью количеств трёх базовых красок должен получаться чёрный цвет, а при их полном отсутствии – белый. К сожалению, на практике даже

удовлетворительное воспроизведение чёрного с помощью красок хроматических базовых цветов невозможно. В красках имеются примеси, степень размола пигмента в них может меняться, и в результате при нанесении на бумагу трёх базовых красок по 100 % получается не сочный чёрный цвет, а темный оттенок коричневого.

Для компенсации описанного недостатка субтрактивной цветовой модели в её состав ввели дополнительный базовый цвет – чёрный. Чёрная краска применяется в цветной офсетной печати для улучшения качества теней, оттенков чёрного и воспроизведения ахроматических фрагментов изображения. Таким образом, в модифицированной версии субтрактивной цветовой модели (СМУК) имеется четыре базовых цвета (рис. 1.6): голубой (Cyan), пурпурный (Magenta), жёлтый (Yellow) и чёрный (Key color). Цвета модели СМУК известны как цвета многослойной печати («полиграфическая триада»). Именно с использованием чернил из этого набора базовых цветов сделана большая часть печатной продукции, с которой мы сталкиваемся каждый день, от афиш до журнальных иллюстраций.

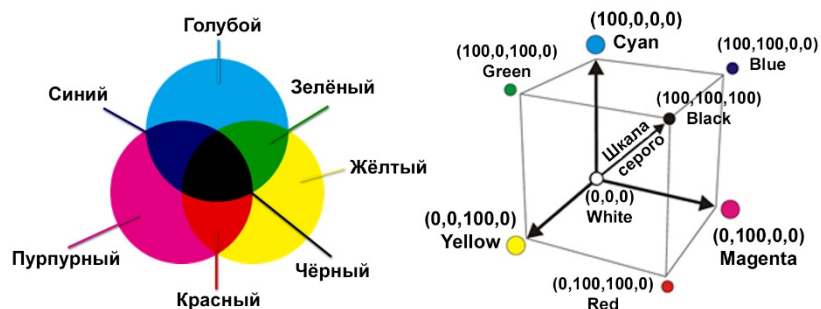


Рис. 1.6. Цветовая модель СМУК

Каждый из четырех параметров модели СМУК представляет собой целое число, которое может изменяться в пределах от 0 до 100. Для хранения четырех таких чисел в двоичной форме достаточно  $4 \cdot 8 = 32$  бита, поэтому считается, что глубина цвета в модели СМУК равна 32 битам на элемент изображения.

Недостатки субтрактивной модели такие же, как у модели RGB: аппаратная зависимость, причем в большей степени, чем у аддитивной модели, и ограниченный цветовой охват.

*Модель HSB.* Как известно, цвет описывается тремя компонентами: оттенок (Hue), насыщенность (Saturation) и яркость (Brigfiness). На основе них построена цветовая модель HSB.

Значение цвета выбирается как вектор, исходящий из центра окружности цилиндра (рис. 1.7). Точка в центре соответствует белому цвету, а точки по периметру окружности цилиндра – чистым спектральным цветам. Направление вектора задается в градусах и определяет цветовой оттенок. Длина вектора определяет насыщенность цвета.

Главным достоинством модели HSB является то, что её цветовой охват перекрывает все известные значения реальных цветов. Поэтому модель HSB используется при создании изображений на компьютере с имитацией приемов работы и инструментария художников.

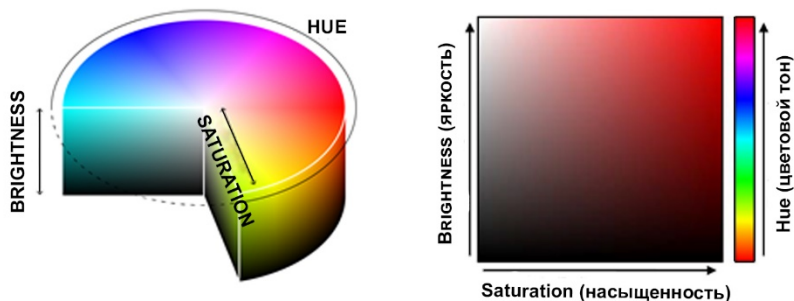


Рис. 1.7. Цветовая модель HSB

Модель HSB относительно проста и хороша для восприятия, а также удобна в работе, но перед выводом на экран представленные в соответствии с ней цвета приходится преобразовывать в цветовое пространство RGB, а перед выводом на печать – в цветовое пространство CMYK.

*Цветовой круг.* Цветовая гармония – это созвучие цветов, их сочетаемость, красивое соотношение. Часто дизайнеры и художники достигают гармонии в своих работах, опираясь на интуицию и внутреннее чувство цвета, которое равивается со временем. Однако, гармония в цвете основывается на определённых правилах. Для того, чтобы понять эти закономерности нужно уметь пользоваться спектральным или цветовым кругом.

Цветовой круг представляет собой шкалу из цветов видимого диапазона, расположенных по окружности. Эти цвета располагаются в определённой последовательности – также как и в радуге. Цветовая

гамма состоит из 12 базовых цветов: трёх основных (первичных), трёх составных и шести третьего порядка (третичных). В цветовом круге Иттена (рис. 1.8) эти группы расположены на равном расстоянии друг от друга.

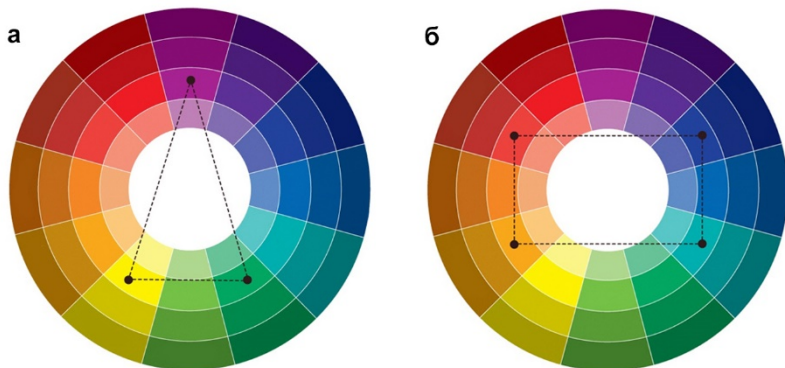


Рис. 1.8. Цветовой круг Иттена (пунктирной линией обозначены: *а* – раздельно-комплементарное сочетание цветов, *б* – тетрада)

Основными цветами являются красный, синий и желтый, потому что их нельзя получить смешением других цветов.

Составные цвета (зелёный, оранжевый, фиолетовый) получают путем смешения двух основных цветов: синий и жёлтый цвета дают зелёный цвет; красный и жёлтый – оранжевый; синий и красный – фиолетовый.

Третичные (цвета третьего порядка) получаются при смешении основного и составного цветов: красно-фиолетовый, жёлто-оранжевый, сине-зелёный, сине-фиолетовый, жёлто-зелёный и красно-оранжевый.

Дополнительные цвета в цветовом круге расположены строго напротив друг друга и при смешении дают нейтральные цвета.

Чистые и яркие цвета расположены в центральном кольце цветового круга, во внутренних кольцах находятся ненасыщенные тона (цветовой тон с добавлением разного количества белого), а во внешних – оттенки (цветовой тон с добавлением чёрного).

Тёплые и холодные цвета. Цвета бывают тёплыми (в них присутствует красный или жёлтый цвет) либо холодными (в них присутствует синий цвет). Таким образом, можно «разогреть» определенные цвета, например серый или желтовато-коричневый,

добавив больше красного или жёлтого. И наоборот, можно «охладить», добавив различные оттенки синего.

Отметим, что холодные цвета отступают на задний план, а тёплые цвета выходят на передний (красный и жёлтый сразу бросаются в глаза). Поэтому при комбинировании тёплых цветов с холодными следует использовать меньше тёплого цвета. Для более сильного контраста также можно использовать больше холодного цвета.

*Закономерности цветовых гармоний и их виды.* Подбор цветовой гаммы – достаточно ответственное занятие. Сочетание цветов в дизайне всегда было основной из главных задач. Цветовая гамма не должна напрягать или нервировать, а, наоборот, вызывать у зрителя или читателя положительные эмоции и чувство гармонии. Рассмотрим основные правила подбора и классические сочетания цветов и их оттенков в цветовом круге.

1. Комплементарное сочетание. Комплементарными, или дополнительными, контрастными, являются цвета, расположенные на противоположных сторонах цветового круга Иттена. Их используют в основном для того, чтобы что-то выделить. Выглядит такое сочетание очень живо и энергично, особенно при максимальной насыщенности цвета. Одним из самых ярких таких сочетаний является красный – зеленый. Использовать комплементарную гамму для больших композиций трудно, но если надо что-то выделить, подчеркнуть, это то, что нужно. Однако, ни в коем случае не стоит использовать комплементарные цвета для текстовых композиций.

2. Классическая триада. Классическую триаду образуют три равноудаленных по цветовому кругу Иттена цвета. Сочетание обеспечивает высокую контрастность при сохранении гармонии. Такая композиция выглядит достаточно живой даже при использовании бледных и ненасыщенных цветов. Чтобы добиться гармоничности в триаде, лучше всего взять один цвет за главный, а два других использовать для акцентов.

3. Аналогичное сочетание (аналоговая триада). Сочетание от 2 до 5 цветов, расположенных рядом друг с другом на цветовом круге (в идеале – 2–3 цвета). Производит спокойное, располагающее впечатление. Пример сочетания аналогичных приглушенных цветов: жёлто-оранжевый, жёлтый, желто-зелёный, зеленый, сине-зелёный.

4. Раздельно-комплементарное сочетание. Вариант комплементарно-го сочетания цветов, только вместо противоположного цвета используются соседние для него цвета (рис. 1.8, а). Сочетание основного цвета и двух дополнительных. Выглядит эта схема почти настолько же

контрастно, но не настолько напряженно. Если у дизайнера нет уверенности в правильности использования комплементарных сочетаний, то можно использовать раздельно-комплементарные.

5. Тетрада – сочетание 4 цветов. Цветовая схема, где один цвет – основной, два – дополняющие, а ещё один выделяет акценты. Пример: сине-зелёный, сине-фиолетовый, красно-оранжевый, жёлто-оранжевый (рис. 1.8, б).

6. Квадрат. Сочетание 4 цветов, равноудаленных друг от друга. Цвета здесь несхожи по тону, но комплементарны. За счет этого образ будет динамичным, игривым и ярким. Пример: фиолетовый, красно-оранжевый, жёлтый, сине-зелёный.

Помимо описанных выше сочетаний, всегда стильно смотрится оформление с использованием монохромных цветов. Монохромная комбинация состоит из одного цветового тона и любого количества его ненасыщенных тонов и оттенков.

**Базовые принципы графического дизайна.** Профессиональная деятельность эколога предполагает не только выполнение практических работ в области охраны окружающей среды, но и умение презентовать результаты своей деятельности (проектов, планов, научных исследований и др.) с учётом современной оформительской стилистики. Применение базовых принципов графического дизайна обеспечит наиболее эффективное, логически обоснованное и эстетически привлекательное представление информации в визуальной форме.

К базовым принципам графического дизайна, согласно Робин Уильямс (2016 г.), относятся: контраст, повторение, выравнивание и приближённость. Рассмотрим их более подробно.

1. *Принцип приближённости* гласит: связанные друг с другом элементы должны быть плотно сгруппированы.

Когда несколько элементов находятся рядом, они превращаются в один визуальный элемент. Как и в жизни, приближённость или близость подразумевает взаимосвязь. Элементы или их группы, которые не связаны друг с другом, не должны располагаться в непосредственной близости; благодаря этому читатель мгновенно получит визуальный ориентир в плане организации и содержимого страницы.

При группировке схожих элементов в один происходит несколько вещей: страница становится более организованной, читатель понимает, с чего начинать чтение сообщения, и знает, когда закончить его. Свободное пространство (область вокруг текста) тоже автоматически становится более организованным. Обычно данная операция сопровождается

ется внесением каких-либо изменений (размер шрифта, выделение жирным, размещение текста или графики).

Идея приближенности не означает, что все элементы должны располагаться близко друг к другу; она подразумевает, что интеллектуально связанные элементы, между которыми имеется коммуникационная взаимосвязь, должны быть визуально связанными.

Основная цель использования принципа приближенности – организация информации. Остальные принципы (контраст, повторение, выравнивание) тоже важны, однако более плотная группировка связанных элементов автоматически обеспечивает организацию. Если информация правильно организована, то вероятность того, что её прочтут и запомнят, более высока. Таким образом, при работе над проектом начинать необходимо именно с принципа приближенности. Побочным продуктом коммуникационной организации является более привлекательное свободное пространство (излюбленный элемент дизайнеров).

Чтобы достичь реализации данного принципа на практике, необходимо немного прищуриться и сосчитать, сколько визуальных элементов имеется на странице (количество раз, когда остановится ваш взгляд). Если на странице окажется более трех-пяти элементов (конечно, это будет зависеть от рассматриваемой вами работы), то необходимо подумать, какие из отдельных элементов можно сгруппировать более плотно, чтобы они превратились в один визуальный элемент.

При реализации принципа приближенности нужно избегать:

- размещения на странице слишком большого количества элементов;
- равного пространства между элементами, если только каждая группа не будет являться частью связанного подмножества;
- создания даже мимолетной путаницы насчет того, относится ли заголовок, подзаголовок, подрисовочная подпись, графика или что-то в этом роде к связанному с ними материалу;
- создания взаимосвязей между элементами, которые не подходят друг другу;
- размещения элементов в углах или в середине только потому, что там пусто.

2. *Принцип выравнивания* гласит: ничто не должно располагаться на странице произвольно.

Целостность является важной концепцией в дизайне. Чтобы все элементы на странице выглядели цельными, ассоциированными и вза-

имозависимыми, между отдельными элементами (каждым из них) должна быть визуальная связь. Принцип выравнивания придаёт странице аккуратный внешний вид, вынуждая разработчика действовать осознанно, а не просто разбросать элементы в пространстве листа.

Если элементы на странице выровнены, в результате получается более убедительно выглядящий единый элемент. Даже когда выровненные элементы отделены друг от друга, есть невидимая линия, которая их связывает как зрительно, так и мысленно. Принцип выравнивания даст читателю понять, что, хотя элементы и не располагаются близко друг к другу, они связаны.

Таким образом, основная цель использования принципа выравнивания заключается в придании странице целостности и организованности. Именно строгое выравнивание (разумеется, в сочетании с соответствующей гарнитурой текста) зачастую обеспечивает утонченный, официальный, забавный или серьёзный внешний вид.

Для реализации принципа выравнивания на практике необходимо осознанно подходить к расположению элементов, искать на странице что-то ещё, относительно чего можно выровнять элементы, даже если два объекта будут находиться далеко друг от друга.

При реализации принципа выравнивания нужно избегать:

- использования более чем одного типа выравнивания текста на странице (например, одна часть текста – по центру, а другая – по правому краю);
- частого использования выравнивания по центру, за исключением случаев, когда необходимо создать сдержанную презентацию.

3. *Принцип повторения* гласит: следует повторять некоторые аспекты дизайна на протяжении всей работы.

Повторяющимся элементом может быть определённый шрифт заголовков, жирная линия, определённый маркер, цвет, формат, пространственные отношения и т.д. Это может быть всё, что читатель способен визуально идентифицировать.

Вероятнее всего, будучи студентом, а затем и магистрантом, каждый из читателей данного учебного пособия использовал повторение в своих работах. Назначая заголовкам шрифт одинакового кегля и начертания либо добавляя линейку в полудюйме от нижнего края каждой страницы, либо используя один и тот же маркер в каждом списке на протяжении проекта, создаётся повторение. Дизайнерам-новичкам зачастую необходимо развивать эту идею – превратить не бросающее-

ся в глаза повторение в визуальный ключ, который будет связывать воедино всю картину.

Повторение можно рассматривать как последовательность. Когда читатель просматривает шестнадцатистраничную брошюру, именно повторение способствует тому, что эти шестнадцать страниц выглядят относящимися к одной и той же брошюре. Если на странице 11 не окажется повторяющихся элементов, перенесённых со страницы 7, то брошюра потеряет единство внешнего облика.

Из вышесказанного следует, что повторение визуальных элементов на всем протяжении дизайна придает работе целостность и силу, связывая воедино отдельные части. Повторение полезно в одностраничных работах и имеет критически важное значение в многостраничных документах.

Основная цель принципа повторения – обеспечить целостность и повысить визуальный интерес. Не стоит недооценивать силу визуального интереса: если работа выглядит интересно, то вероятность того, что её прочтут, высока.

Для реализации принципа повторения найдите имеющиеся последовательные элементы и превратите некоторые из них в часть графического дизайна (т.е. сделайте их более бросающимися в глаза). Далее рассмотрите возможность добавления (создания) элементов, назначение которых заключается в повторении. Избегайте чрезмерного повторения элементов (это вызывает раздражение). Осознавайте значимость контраста.

4. *Принцип контраста* гласит: разные элементы работы должны контрастировать, чтобы привлечь внимание читателя. Если два элемента не полностью одинаковы, то сделайте их совсем разными.

Контраст – один из самых эффективных способов сделать страницу визуально более интересной. Он также может использоваться для организации информации, внесения ясности в иерархию разных элементов, проведения взгляда читателя по странице и обеспечения центра внимания. Однако для того, чтобы контраст был эффективным, он должен быть сильным.

Суть контраста – избегать элементов, которые являются одинаковыми. Если элементы (шрифт, цвет, размер, толщина линии, форма, негативное пространство и т. д.) неодинаковы, то необходимо сделать их разными. Так, если на странице задействовано два неодинаковых элемента (например, две гарнитуры или две толщины линий), то нельзя делать их схожими – для эффективности контраста эти два элемента

должны быть очень разными. В противном случае это будет не контрастом, а конфликтом.

Контраст можно создать разными способами. Например, сделать так, чтобы крупный шрифт контрастировал с мелким; изящный старостильный – с жирным рубленным; тонкая линия – с толстой; холодный цвет – с теплым; гладкая текстура – с грубой; горизонтальный элемент (например, длинная строка текста) – с вертикальным (например, с длинной узкой колонкой текста); строки с большим интерлиньяжем – со строками с небольшим; мелкое изображение – с крупным.

Использование принципа контраста преследует две цели, которые неразрывно связаны. Первая заключается в придании странице привлекательности (тогда вероятность того, что её прочтут, более высока). Вторая цель – поспособствовать организации информации. Читатель должен сразу понимать, как организована информация, как осуществляется логический переход от одного элемента к другому. Контрастирующие элементы не должны запугивать читателя или создавать ложный центр внимания.

Достичь контраста можно с помощью добавления шрифтов, толщины линий, цветов, форм, размеров, интервалов. К тому же это наиболее увлекательный и убедительный способ сделать дизайн интереснее. Важно действовать смело. При этом, необходимо избегать «контраста» коричневого текста с черными заголовками, применения двух или более схожих шрифтов и т.д. Если элементы не абсолютно одинаковы, то для достижения эффекта контраста, они должны различаться существенно.

Помимо описанных базовых принципов графического дизайна, существует множество других, частных. Приведём краткое описание некоторых из них (по Мэри Стрибли, «Design Elements & Principles»):

*Линия.* Помогает направить взгляд, расставляет акценты, создаёт ощущение движения. Посредством линий также можно передавать различные идеи: прямые линии говорят о порядке и опрятности, волнистые создают ощущение движения, а зигзаги – напряжения или возбуждения. В фотографии часто применяется техника «направляющих линий», которые, как понятно из названия, направляют взгляд. Если дизайнеру удастся найти направляющие линии и сделать на них акцент, это может сфокусировать взгляд зрителя на конкретных деталях изображения. Использование линий – это отличный способ стилизовать иллюстрации, придать дизайну целостность и узнаваемость.

*Масштаб.* Направляет внимание на нужные элементы, расставляет акценты, в некоторых случаях создаёт драматизм. В самом базовом смысле, масштаб – это конкретный размер отдельных элементов. Масштаб через размер изображаемых объектов передаёт реальные их параметры и характеристики. Однако, совсем не обязательно всегда руководствоваться реализмом. Можно создавать невероятно большие или очень маленькие изображения, чтобы поразить зрителей; показать объекты в необычном ракурсе (увеличенное изображение растительной клетки, например). Масштаб задаёт последовательность обращения внимания читателя на конкретные элементы. Когда масштаб задаёт важность элементов – это называется иерархией.

*Иерархия.* Помогает пользователям ориентироваться в дизайне, с помощью масштаба, линий, цвета и др. рассказывает, насколько важен каждый элемент. Идея иерархии в дизайне предполагает следующее: сверху иерархического списка располагаются самые важные вещи (как правило, заголовки), их нужно оформить максимально заметно, чтобы они привлекали больше внимания. Следующий уровень – это второстепенные элементы (в их состав входят подзаголовки, цитаты, дополнительная информация), которые должны быть заметны на странице, но не соперничать с заголовками. И на нижней ступени иерархического списка находятся все остальные элементы дизайна, на долю которых приходится минимум визуальных эффектов: обычно это текст, менее важная информация, ссылки и т. д. Следует понимать, что иерархия – это больше, чем просто размер шрифта. У графики тоже есть своя иерархия: чем ярче и красочнее элемент, чем ближе к центру он расположен, тем выше его иерархия по отношению к более мелким, бледным или удалённым элементам.

*Симметрия.* Создаёт ощущение «спокойствия», привлекает человеческий взгляд. Учеными доказано, что человеческие существа по своей природе стремятся к симметрии. Симметричные лица, паттерны и дизайны кажутся нам более привлекательными, эффективными и красивыми. Симметрию часто используют в логотипах, чтобы добиться гармоничного и сбалансированного дизайна. Однако, существует тонкая грань между сбалансированным и «слишком симметричным» дизайном, в котором стороны выглядят как идентичные зеркальные отражения друг друга. Вместо идеального симметричного дизайна лучше использовать в работах лишь лёгкие намеки на симметрию. Яркие примеры невидимой симметрии можно встретить в дизайне печатных изданий, а именно в оформлении текстовых блоков: текст разбит

на колонки, зачастую симметричные по размеру – так статья выглядит разборчивее, опрятнее и визуально приятнее. В этом случае симметрия переключается с описанным выше принципом выравнивания.

*Баланс.* У каждого элемента есть «вес». Создать баланс можно за счет масштаба и композиции. Чтобы освоить баланс, нужно видеть «вес» каждого элемента: от текстовых блоков до картинок. Также нужно учитывать цвета, размеры, формы элементов и на основании этого оценивать их «вес» относительно других деталей. Одной из разновидностей баланса является «асимметричный баланс», в котором верх/низ и право/лево не являются зеркальными отражениями друг друга. Скорее асимметричный баланс достигается «уравновешиванием» элементов за счет размера и выравнивания.

*Направление.* Предлагает зрителю «путь». Важным аспектом дизайна выступает «поток» внимания – то есть путь, по которому движется взгляд пользователя. Ученые исследовали природу движений человеческого взгляда и вывели несколько закономерностей. Исследования доказали, что существуют стандартные паттерны движения взгляда (в форме букв «F» и «E»), поэтому больше всего внимания пользователь уделит тому, что расположено по левому или по верхнему краю (при просмотре веб-страниц). Еще один распространенный паттерн – форма буквы «Z». Общая идея заключается в том, что глаз обычно стремительно и «рывками» движется из верхнего левого угла в правый нижний. Исходя из этого, лучше всего направлять взгляд пользователя по форме букв Z, L и Y. Однако, не стоит каждый раз на 100 % закладывать в дизайн все эти паттерны, достаточно рассматривать каждую работу в отдельности и подбирать наиболее подходящий способ направить «поток» внимания. При этом просто необходимо учитывать, что максимум внимания концентрируется в верхнем левом углу страницы, а при движении вниз оно плавно рассеивается.

## **2. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ В ЭКОЛОГИИ**

Актуальная профессиональная деятельность в области охраны окружающей среды и рационального природопользования требует от эколога умения целенаправленно работать с отраслевой информацией (зачастую на стыке сразу нескольких направлений науки, совершенно разнокачественной и потому сложно интерпретируемой) и использовать для её получения, обработки и передачи современные средства и методы.

Особое место в инструментарии специалиста экологического профиля отводится методам и средствам, реализующим возможности визуализации профессиональной информации, в связи с тем, что его исследовательский мир предполагает постоянное взаимодействие с визуализированными данными (в научно-исследовательской работе, практической деятельности и образовании).

Компьютерная графика – такой инструмент, без которого невозможно прийти к определенным результатам работы достаточно эффективно. Человек более 80 % информации получает через зрительные каналы и способен быстро воспринимать, обрабатывать и понимать именно зрительную информацию. Использование графических образов позволяет быстро и эффективно донести до зрителя собственные мысли и идеи. Если оперировать терминами информатики, то у человека есть два так называемых «процессора»:

- логический, за работу которого отвечает левое полушарие мозга;
- графический, контролируемый правым полушарием и отвечающий за творческие процессы, образное мышление и интуицию.

Когда человек рассматривает изображения, насыщенные научной информацией (одно изображение иногда стоит тысячи слов), то происходит интенсивный информационный обмен между двумя полушариями – таким образом достигается синергетический эффект.

Визуализация позволяет использовать для анализа численных и других сложных для восприятия данных мощную человеческую способность видеть и понимать изображения. Таким образом, задача визуализации – преобразование огромных массивов числовой и другой информации в адекватные для человеческого восприятия (наглядные) графические образы.

## **2.1. Источники данных и основные этапы анализа экологической информации**

**Источники информации** об экологической обстановке могут быть классифицированы (Стурман В. И., 2003):

По ведомственной принадлежности:

- материалы государственных органов;
- материалы предприятий;
- материалы научно-исследовательских учреждений;
- материалы общественных организаций.

По научным методам и техническим приемам, использованным при получении информации:

- данные дистанционного зондирования;
- характеристики источников и объёмов техногенных нагрузок;
- экспедиционные и стационарные исследования состояния компонентов природной среды;
- состояние биоиндикаторов.

В Республике Беларусь огромную статистическую базу экологической информации составляют данные Национальной системы мониторинга окружающей среды (НСМОС), которая включает в себя следующие виды:

- мониторинг земель (почв);
- мониторинг атмосферного воздуха;
- мониторинг поверхностных вод;
- мониторинг подземных вод;
- мониторинг лесов;
- мониторинг растительного мира;
- мониторинг животного мира;
- -мониторинг озонового слоя;
- радиационный мониторинг;
- геофизический мониторинг;
- локальный мониторинг;
- комплексный мониторинг экосистем на особо охраняемых природных территориях (ООПТ);
- социально-гигиенический мониторинг и мониторинг чрезвычайных ситуаций;
- комплексный мониторинг торфяников.

Экологическая информация НСМОС Республики Беларусь регулярно публикуется в открытом доступе, в виде квартальных бюллетеней и ежегодных обзоров по видам мониторинга. Обширная информация доступна на сайтах государственных организаций (профильных министерств, областных и районных инспекций природных ресурсов и охраны окружающей среды и др.), научных и научно-исследовательских учреждений. Отметим особую значимость специализированных статистических изданий в области охраны окружающей среды, выпускаемых Национальным статистическим комитетом Республики Беларусь. Эти данные открывают широкие возможности для проведения региональных исследований в области экологии и выявления пространственно-временных тенденций изменения окружающей среды конкретного региона. Основу крупномасштабных (локальных) исследований же составляют экспедиционные данные и стационарные исследования состояния компонентов природной среды.

Географические пространственные данные (картографические), как правило, подразделяются на:

- геометрические (местоположения и размеры);
- атрибутивные (количественные и качественные);
- временные (моменты времени, когда геометрические и атрибутивные данные актуальны).

Требования, предъявляемые к источникам экологической информации. Критериями качества исходной информации являются:

- системность, надёжность, полнота исходной информации;
- адекватность масштаба и формы представления, доступность, интерпретируемость информации;
- отображение специфики конкретной территории;
- актуальность данных о современном землепользовании и социально-экономических условиях.

**Основные этапы анализа экологической информации.** Любое исследование в области экологии состоит из нескольких этапов: изучения состояния проблемы, создании методики исследования, проведения анализа или оценки, обсуждения результатов. Рассмотрим более подробно эти этапы на примере диссертационной работы Антиповой О. С. (рис. 2.1), в которой реализован классический подход к проведению научного исследования в области экологии.

*Подготовительный этап.* На первом этапе в работе осуществляется выбор и обоснование объекта, предмета и цели исследований, проводится оценка состояния изученности проблемы в Беларуси и за рубежом.

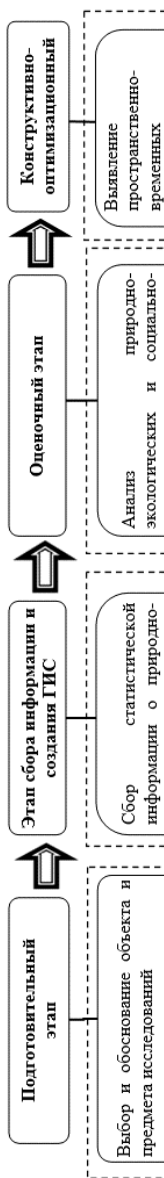


Рис. 2.1. Этапы анализа экологической информации на примере диссертационного исследования Антиповой О.С. по теме «Геоэкологическая оценка среды жизнедеятельности населения Беларуси» (2017 г.)

Для разработки методики исследования отбираются и теоретически обосновываются показатели оценки, масштаб и операционные единицы исследования, приёмы расчетов, создаётся модель геоэкологической оценки. Необходимо отметить, что именно на этапе создания методики проводится процедура квантификации, помогающая соотносить разнокачественную экологическую информацию (перевод абсолютных значений в относительные, например, в баллы).

*Этап сбора информации и создания ГИС.* На втором этапе осуществляется сбор, обработка и первичный анализ экологических данных по выбранным показателям. Дополнительно, как в рассматриваемом примере, может происходить разработка ГИС или любой другой программы (определение её структуры и алгоритма расчета показателей), наполнение баз данных.

*Оценочный этап.* На третьем этапе выполняется расчет частных и интегральных показателей, проводится пространственно-временной анализ, осуществляется непосредственная оценка. На основе её результатов (промежуточных и итоговых) проводится визуализация информации в форме таблиц, построения тематических картограмм, диаграмм, графиков и т. д.

*Конструктивно-оптимизационный этап.* На заключительном этапе исследования выявляются пространственно-временные особенности, тенденции развития, закономерности процессов. В некоторых случаях разрабатывается прогнозный сценарий изменения показателей, проводится моделирование. В качестве оптимизационных мер предлагаются различные типологии, основные направления и конкретные мероприятия по решению выявленных проблем.

Таким образом, визуализация экологической информации происходит, главным образом, на оценочном и конструктивно-оптимизационном этапе исследования. В первом случае речь идёт о результатах проведения оценки (конкретных расчетов) и представлении фактических данных. Во втором – о предполагаемых (прогнозы, моделирование) или предлагаемых (схемы оптимизации, новые способы производства и др.) перспективах.

Рассмотрим основные принципы визуализации информации:

1. Состав и форма отображаемой информации определяются целями и задачами визуализации.

В информационной модели должны быть представлены только те свойства, отношения, связи управляемых объектов, которые существенны и имеют определенное функциональное значение.

Объём, состав, форма отображаемой информации должны соответствовать как решаемым задачам, так и психофизиологическим возможностям человека (например, возрасту или особенностям зрения).

2. Модель должна быть наглядной.

Основная задача при разработке наглядных информационных моделей заключается в определении признаков, которые целесообразно отобразить наглядно и в допустимой степени схематизации.

В случае, когда объекты не обладают наглядными признаками, информационные модели строятся по принципу «визуализации понятий» и называются *абстрактными*. Достоинство абстрактных моделей заключается в том, что они отображают свойства объекта, которые недоступны непосредственному наблюдателю.

3. Достижение лёгкой воспринимаемости отображаемой информации обеспечивается правильной организацией её структуры.

В информационной модели должны быть представлены не коллекция или пара сведений, так или иначе упорядоченных, а находящиеся в определенном и очевидном взаимодействии объекты.

Одним из средств достижения оптимальной структуры является хорошая компоновка информационной модели. В этом смысле разработка отображения на экране представляет собой задачу в какой-то степени эквивалентную задаче хорошей компоновки картин.

Существует несколько **типов визуализации**:

- схематическая форма – обычное визуальное представление количественной информации. К этой группе можно отнести круговые и линейные диаграммы, гистограммы и спектрограммы, таблицы и различные точечные графики (подробнее о видах в подразделе 2.2);

- форма, усиливающая восприятие и анализ информации. Данные при визуализации могут быть преобразованы. Например, карта, временная линия и график с параллельными осями, диаграмма Эйлера-Венна;

- концептуальная визуализация позволяет разрабатывать сложные концепции, идеи и планы с помощью концептуальных карт, диаграмм Ганта, графов с минимальным путем и других подобных видов диаграмм;

- стратегическая визуализация переводит в визуальную форму различные данные об аспектах работы организаций. Это всевозможные диаграммы производительности, жизненного цикла и графики структур организаций;

- метафорическая визуализация позволяет графически организовать структурную информацию с помощью пирамид, деревьев и карт данных;
- комбинированная визуализация позволяет объединить несколько сложных графиков в одну схему.

## 2.2. Основные виды отображения экологической информации

Основными видами статичного отображения экологической информации являются:

- табличная форма представления информации;
- графическая форма (графики и диаграммы);
- геоизображения.

**Табличная форма.** Несмотря на кажущуюся простоту и даже обыденность, табличная форма представления информации является очень эффективной. Это связано со структурированностью и логичностью подачи текстовой или числовой информации. Разделение данных по столбцам и строкам, их наименования помогают пользователю быстро ориентироваться в большом массиве информации. Использование современных возможностей информационных технологий, в частности, грамотное владение офисными пакетами приложений (Microsoft Office, Libre Office и др.) значительно расширяет возможности визуализации табличной формы представления информации. Отметим в качестве интересных направлений следующие: сводные таблицы, таблицы с условным форматированием и спарклайнами, использование таблиц как матриц для SWOT-анализа.

SWOT-анализ – метод стратегического планирования, заключающийся в выявлении факторов внутренней и внешней среды объекта исследования и разделении их на четыре категории: Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности), Threats (угрозы). Аббревиатура SWOT может быть представлена визуально в виде таблицы (табл. 2.1).

SWOT-анализ нередко используется в экологии, так как он удобен и для оперативной оценки, и для стратегического планирования на длительный период.

Сводная таблица (англ. *Pivot table*) – инструмент обработки данных, служащий для их обобщения. Этот инструмент используется, прежде всего, в программах визуализации данных. Кроме того, сводная таблица может автоматически сортировать, рассчитывать суммы

или получить среднее значение из данных, записанных в электронной таблице. Она отображает результаты во второй таблице (называемой «сводной таблицей») в виде суммированных данных. Обычно пользователь настраивает и изменяет структуру сводной таблицы простым перетаскиванием элементов в графическом режиме.

Таблица 2.1. Элементы SWOT-анализа в матрице 2×2

	Положительное влияние	Отрицательное влияние
Внутренняя среда	Strengths (свойства проекта или коллектива, дающие преимущества перед другими в отрасли)	Weaknesses (свойства, ослабляющие проект)
Внешняя среда	Opportunities (внешние вероятные факторы, дающие дополнительные возможности по достижению цели)	Threats (внешние вероятные факторы, которые могут осложнить достижение цели)

Таблицы с условным форматированием и спарклайнами. В современных программах для работы с электронными таблицами (Excel в частности) предусмотрена возможность использования условного форматирования. Это очень полезный инструмент визуализации данных. С помощью условного форматирования можно:

- задавать правила выделения ячеек (больше, меньше, равно, между, дата и др.);
- задавать правила отбора первых и последних значений (первые 10 элементов, первые 10 %, ниже среднего и др.);
- строить гистограммы (с градиентной или сплошной заливкой);
- использовать цветовые шкалы;
- использовать наборы значков (направления, фигуры, индикаторы, оценки и др.).

Спарклайн (англ. *sparkline*, от англ. *spark* – искра, *line* – линия) – термин для обозначения небольших по размеру, но достаточно информационно-плотных графиков. Основная особенность спарклайна – их небольшой размер (рис. 2.2). Так как графики маленькие, то почти всегда места для отображения осей или каких-либо подписей просто нет, поэтому узнать точные значения по ним невозможно. Вместо этого спарклайны дают возможность увидеть общую картину. Спарклайны

могут быть очень полезны как дополнительный источник ценной информации, занимая при этом очень мало места.

Названия строк	Среднее по полю				Динамика за 2018-2021 гг.
	2018	2019	2020	2021	
Показатель 1	187	143	154	192	
Показатель 2	90	102	120	76	
Показатель 3	140	94	141	129	
Показатель 4	89	96	119	85	
Общий итог	126,5	108,75	133,5	120,5	

Рис. 2.2. Фрагмент сводной электронной таблицы в Microsoft Excel. Условное форматирование по показателю: 1 и 2 – гистограмма с градиентной заливкой; 3 – правило выделения ячеек «выше среднего»; 4 – набор значков «направления». Столбец «динамика за 2018–2021 гг.» – спарклайны

**Графическая форма.** Графики и диаграммы являются распространёнными вариантами визуализации экологической информации.

Диаграмма (греч. *Διάγραμμα* (diagramma) – изображение, рисунок, чертёж) – графическое представление данных линейными отрезками или геометрическими фигурами, позволяющее быстро оценить соотношение нескольких величин. Представляет собой геометрическое символическое изображение информации с применением различных приёмов техники визуализации.

В XVII веке французские учёные Франсуа Виет и Рене Декарт заложили основы понятия функции и разработали единую буквенную математическую символику, которая вскоре получила всеобщее признание. Также геометрические работы Декарта и Пьера Ферма проявили отчётливое представление переменной величины и прямоугольной системы координат – вспомогательных элементов всех современных диаграмм.

Основные типы диаграмм:

- диаграммы-линии (графики);
- диаграммы-области;
- столбчатые (гистограммы);
- полосовые (гистограмма с накоплением);
- круговые (секторные);
- радиальные (сетчатые);
- картодиаграммы и др.

*Графиками* в статистике называются условные изображения числовых величин и их соотношений в виде различных геометрических образов – точек, линий, плоских фигур и т. п.

Каждый график и диаграмма состоят из графического образа и вспомогательных элементов.

Графический образ – это совокупность точек, линий и фигур, с помощью которых изображаются статистические данные. Эти знаки образуют собственно языковую ткань графика, его основу.

Вспомогательными элементами графиков и диаграмм являются:

1) поле графика (область диаграммы) – это пространство, в котором размещаются образующие график геометрические знаки. Поле графика характеризуется его форматом, т.е. размером и пропорциями (соотношением сторон);

2) пространственные ориентиры, определяющие расположение геометрических знаков в поле графика. Пространственные ориентиры задаются системой координат и координатной сеткой, которая делит это поле на части. Чаще применяют систему прямоугольных координат, реже – систему полярных координат;

3) масштабные ориентиры, придающие геометрическим знакам количественную определенность. Масштабные ориентиры определяются системой масштабных шкал или специальными масштабными шкалами;

4) экспликация, состоящая из объяснения:

- предмета, изображаемого графиком или диаграммой (его названия);

- смыслового значения каждого знака, применяемого в данном графике.

Без экспликации график и диаграмму нельзя прочесть и понять. Название должно точно и кратко раскрывать их содержание. Пояснительные тексты могут располагаться в пределах графического образа или рядом с ним (ярлыки), а также выноситься за его пределы (ключ или легенда).

**Графики** показывают зависимость данных друг от друга. Строятся по осям  $X$  и  $Y$ , хотя могут быть и трёхмерными.

*Линейный график* (line chart, area chart) – наиболее распространенный случай. Объединяет линией набор точек, соответствующих значениям по осям.

*График рассеивания* (scatterplot) – показывает распределение ограниченного набора точек, соответствующих значениям по осям. Между

точек часто рисуется выравнивающая кривая – она наглядно показывает закономерности среди значений (общие тренды).

**Диаграммы сравнения** показывают соотношения набора данных. Во многих случаях строятся вокруг осей, хотя и необязательно.

*Столбчатая диаграмма* (bar chart) или *гистограмма* – показывает один или несколько наборов данных, сравнивая их между собой. Существует два варианта отображения в случае нескольких наборов: либо в виде нескольких стоящих рядом столбиков, либо в виде одного, но поделенного внутри в соответствии с долями значений. Помимо абсолютных значений, с помощью данного типа диаграмм эффективно визуализировать темпы прироста и/или убыли анализируемых показателей.

*Полосовая диаграмма* или *гистограмма с накоплением* – показывает распределение набора данных внутри выборки в виде столбцов.

*Диаграмма «ящик с усами»* (box with moustache chart) показывает распределение данных по квартилям, выделяя медиану и выбросы. У блоков могут быть вертикальные линии, которые называются усами (рис. 2.3, а). Эти линии указывают возможность изменения за пределами верхнего и нижнего квартилей. Любая точка за пределами этих линий (усов) считается выбросом.

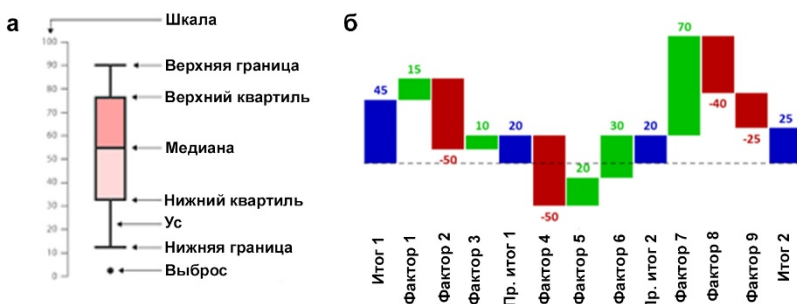


Рис. 2.3. Диаграмма: а – «ящик с усами»; б – каскадная (waterfall)

*Каскадная диаграмма* (cascade chart) – это форма графической визуализации, которая позволяет определить общий (кумулятивный) эффект, последовательно представляя положительные и отрицательные значения факторов (рис. 2.3, б). Из-за своего вида каскадные диаграммы также часто называют диаграммами моста (bridge) или водопада (waterfall). Иногда употребляется термин «летающие кирпичи» (ввиду

визуальной схожести), однако в профессиональном контексте такой термин практически не используется.

*Круговая диаграмма* (pie chart) – отображает процент, занимаемый каждым значением внутри набора данных, в виде разбитого на части круга. Может отображать сразу несколько наборов данных – в этом случае диаграммы наложены друг на друга, причем каждая из них меньше предыдущей.

*Площадная (пузырьковая) диаграмма* (bubble chart) – представляет собой смесь графика и диаграммы – по двум осям расставлен набор точек, соответствующий значениям. При этом сами точки не соединены и имеют различную величину, которая задается третьим параметром.

*Кольцевая диаграмма* (ring chart) – показывает процент от максимального количества, которое занимает одно из значений в наборе данных, в виде частично закрашенного кольца. Часто используется сразу несколько таких диаграмм, сравнивающих разные значения.

*Лепестковая диаграмма* (radar chart) – сравнивает величины нескольких значений, каждая из которых соответствует точке на оси. Количество осей соответствует количеству значений, а точки объединены линиями. Иногда называется секторной.

**Деревья и структурные диаграммы** показывают структуру набора данных и взаимосвязи между его элементами.

*Дерево* (tree) – показывает иерархию набора данных, в которой элементы являются родительскими или дочерними по отношению друг к другу. Выстраивается в виде соединенных линиями узлов, как правило, сверху вниз.

*Диаграмма Ганта* (Gant diagram) – это популярный тип столбчатых диаграмм, который используется для иллюстрации плана, графика работ по какому-либо проекту. Показывает последовательность, длительность, а также время начала и окончания этапов и конкретных задач, необходимых для выполнения проекта. Отображается в виде «водоппада» из одного или нескольких каскадов – соединенных стрелками блоков, выстроенных по диагонали сверху вниз, слева направо (т. е. «лестницей»). Длина блока зависит от необходимого для выполнения времени. Является одним из методов планирования проектов.

**Диаграммы связей** показывают связи внутри набора данных – как правило, достаточно большого.

*Круговая диаграмма связей* (network diagram, arc diagram) – показывает связи внутри набора данных в виде кольца, на котором расставлены значения. Значения связаны дугами или линиями, находящимися во внутренней области круга. При большом количестве значений они могут заполнять пространство внутри кольца, хотя это менее наглядно.

*Линейная диаграмма связей* (line network diagram) – показывает связи внутри набора данных в виде линии, на которой расставлены значения. Значения связаны дугами, находящимися сверху и снизу линии. Связи также могут иметь направление. Это альтернативный вариант отрисовки круговой диаграммы связей – смысл и задачи у них одинаковые.

*Связи на карте* (network on map) – диаграмма показывает связи внутри набора данных в виде земного шара или географической карты, на которой расставлены значения. Значения связаны дугами, если изображение трёхмерное, или линиями, если карта плоская. Связи также могут иметь направление.

Несмотря на большое разнообразие видов графиков и диаграмм (в данном учебном пособии рассмотрены лишь основные), существуют общие принципы отображения данных в графической форме.

Правила визуализации данных в виде графиков и диаграмм:

#### 1. Правильный тип графика.

Главная цель визуализации – упростить и ускорить восприятие информации. Выбранный формат и тип графика должны этому способствовать, а не мешать. Например, если в круговой диаграмме больше 3–5 значений, график становится нечитаемым. Лучше в таком случае выбрать обычную полосовую диаграмму. Также примером неудачного использования круговой диаграммы, является случай, когда сумма категорий не равна 100 %. Это грубейшая ошибка, так как данные в таком случае искажаются.

Не менее важно следить, чтобы не нарушались общепринятые стандарты. Временные оси (года, месяца, кварталы) всегда должны располагаться горизонтально слева направо, это интуитивно понятно. Если же их расположить вертикально сверху вниз, это будет сильно затруднять понимание.

#### 2. Логический порядок.

Располагать данные нужно в логическом порядке. Чаще всего это последовательно от большего к меньшему. Если на диаграмме необходимо отразить результаты опроса, где есть деление на положительные и отрицательные ответы, то логичнее их выстроить в таком порядке:

«Да, Скорее да, Скорее нет, Нет, Затрудняюсь ответить». Данные можно выстраивать и от меньшего к большему, если это соответствует цели сообщения. Цель всегда первична. Прежде чем приступить к построению графика, нужно чётко сформулировать, какую идею вы хотите донести до читателей, на что обратить внимание.

### 3. Простой дизайн.

Дизайн не должен препятствовать пониманию или искажать данные. Лучше избегать бесполезных элементов, таких как градиенты, тени, эффекты 3D. Они только отвлекают внимание читателя от сути сообщения. График не становится красивым и внушительным от того, что он нарисован объёмным. Это могло удивить лет 20–30 назад, на заре расцвета Excel, когда ещё мало кто умел строить диаграммы. Более того, 3D-графики могут вызвать оптический обман. В круговой 3D диаграмме появляются искажения, связанные с объёмом части диаграммы и с перспективой.

Необходимо помнить: если визуализация выполнена красиво, это ещё не значит, что она выполнена качественно. Принципы хорошего дизайна: ясность, простота и минимализм.

### 4. Лёгкое сравнение данных.

Одна из главных целей визуализации – удобное и наглядное сравнение двух и более показателей. Поэтому, чтобы диаграммы были ценными и полезными, нужно показывать соотношение между данными. Если разбить однотипную информацию на много отдельных графиков, визуализация становится бессмысленной.

Именно быстрое понимание самых высоких и самых низких значений, тенденций и корреляций является главным преимуществом визуализации в сравнении с обычной таблицей или текстом. Диаграммы должны гораздо быстрее и яснее передавать идеи. Если это не так, нужно менять тип графика.

### 5. Минимум элементов.

На диаграмме должны быть только необходимые элементы. Загромождение ненужной информацией затрудняет восприятие. Например, если есть подписи значений, то линии сетки и ось часто не нужны, так как это дублирование информации, т. е. графический «мусор». Основные и вспомогательные линии сетки, если они всё же необходимы, должны быть простыми и не бросающимися в глаза. Акцент всегда должен быть на основной идее, а не на вспомогательных элементах. Если следовать этому совету, то нужная информация сразу выходит на первый план.

#### 6. Дозированность информации.

При построении графиков и диаграмм необходимо следить, чтобы не возникало визуальной загромождённости. Не стоит пытаться уместить на одну диаграмму всю имеющуюся информацию ради того, чтобы график казался умным и значительным. Визуальный ряд не должен быть перегружен сложными и многоярусными диаграммами.

Когда необходимо визуализировать много разных типов данных и категорий, целесообразнее разделять диаграмму на несколько частей. Например, если на линейном графике больше 4–5 линий или на столбчатой диаграмме больше двух категорий, не стоит уместять их на одном графике.

#### 7. Понятный формат чисел.

Числа должны быть с разделителями разрядов и без лишних знаков после запятой. Отсутствие деления разрядов в больших числах приводит к их нечитабельности (для сравнения: 10000000 и 10 000 000). Также не нужно использовать знаки после запятой без осознанной необходимости. Важно следить, чтобы выбранный формат был единым для всех подписей данных, а не выборочным: где-то два знака, где-то три, а где-то без единого знака.

#### 8. Название и подписи.

У диаграммы должно быть полное понятное название и все необходимые подписи, иначе появляется риск неверного истолкования. Всегда должен быть понятен период и единицы измерения. Не нужно надеяться, что пользователь графика догадается об этом из контекста. Чтобы удостовериться, что данные будут верно интерпретированы, встаньте на место читателя, который видит диаграмму впервые. Всё должно быть предельно чётко, у читателя не должно остаться ни одного сомнения по поводу трактовки представленных данных.

#### 9. Общепринятые цветовые решения.

Не стоит нарушать общепринятое использование того или иного цвета. Есть несколько основных категорий, которые у большинства людей ассоциируются с определенным цветом: положительные и отрицательные значения – зелёный и красный; да/нет, согласен/не согласен – зелёный и красный; прочее/другое/остальное/нет ответа/затрудняюсь ответить – серый цвет. Если показывать данные категории на диаграммах в ожидаемой цветовой гамме, то пользователю даже не надо смотреть на легенду, без этого ясно, какой цвет что обозначает. Ещё один хороший приём использования цвета: для сравнения показателей текущего года и прошедшего делать прошедший год бо-

лее бледным, а текущий более ярким. При этом оба года лучше показывать в оттенках одного цвета, потому что речь идет про один и тот же показатель.

#### 10. Минимум типов диаграмм.

Для однотипных данных лучше выбирать один тип диаграммы. Например, при изображении динамики среднемесячных концентраций загрязняющего вещества в пробах воды не стоит применять графики разных типов. Читателю необходимо время, чтобы привыкнуть к каждому новому типу графика или диаграммы и разобраться, что означает та или иная линия, кружок или столбик.

#### 11. Единая цветовая палитра.

В визуализации научной (и деловой) информации лучше придерживаться одной цветовой гаммы. Визуальные элементы (графики, диаграммы, схемы) на протяжении всего исследования или отчёта должны быть выполнены в одной цветовой гамме. Если речь идёт об организации (исследовательской компании, предприятии, научном учреждении, общественной инициативе и др.), то цветовая палитра должна быть единой и во всех исследованиях, для соблюдения фирменного стиля.

**Геоизображения.** Все множество карт, снимков и других подобных моделей можно обозначить общим термином – «геоизображения». Теория геоизображений разработана профессором А. М. Берлянтом.

Геоизображение – любая пространственно-временная, масштабная, генерализованная модель земных (планетарных) объектов или процессов, представленная в графической образной форме.

В этой формулировке отмечены главные свойства, присущие всем геоизображениям (масштаб, генерализованность, наличие графических образов), и указана их специфика – это изображения Земли и планет. Геоизображения представляют недра Земли и её поверхность, океаны и атмосферу, педосферу, социально-экономическую сферу и области их взаимодействия.

Геоизображения подразделяют на три класса:

- плоские, или двумерные, – карты, планы, анаморфозы, фотоснимки, телевизионные, сканерные, радиолокационные и другие дистанционные изображения;
- объёмные, или трёхмерные – рельефные карты, стереоскопические, блоковые, голографические модели;
- динамические трёх- и четырёхмерные – анимации, в том числе картографические анимации, виртуальные изображения и т. п.

Возможны разные подходы к классификации геоизображений, поскольку они обладают многими общими свойствами и одновременно существенными различиями. Прежде всего, геоизображения подразделяют по способу их получения:

- съёмка – т. е. комплекс натуральных инструментальных наблюдений и регистрации (наземных, подземных, водных, подводных, аэро- и космических) с целью получения первичных геоизображений;
- лабораторное создание – операции по обработке и преобразованию (коррекции, обобщению, монтированию и т. п.) первичных съёмочных материалов для получения производных геоизображений;
- конструирование – выполнение аналитических, фотомеханических или компьютерных процедур для создания реальных или абстрактных геоизображений с заданными свойствами.

Роль геоизображений в экологическом образовании заключается в том, что они:

- способствуют упорядочиванию знаний, облегчают запоминание;
- развивают пространственное мышление;
- действенное средство моделирования экологических ситуаций;
- способствуют реализации экологических решений и проектов;
- необходимы для экологического мониторинга;
- основа организации экологической информации;
- стержень междисциплинарных связей экологических курсов;
- необходимы на всех уровнях образования, обеспечивают их преемственность.

Подробнее о геоизображениях и особенностях визуализации пространственных данных в экологии – в разделе 3.

### **2.3. Визуализация статистических данных и результатов их обработки, полученных при расчёте Индекса экологической эффективности стран мира**

Рассмотрим возможности компьютерной визуализации экологической статистики на примере одного из наиболее важных исследований международного уровня в области охраны окружающей среды: расчёта индекса экологической эффективности стран мира.

*Индекс экологической эффективности* (англ. Environmental Performance Index, далее по тексту EPI) – это глобальное исследование и сопровождающий его рейтинг стран мира по показателю нагрузки на окружающую природную среду и рационального использования при-

родных ресурсов. Индекс рассчитывается по методике Центра экологической политики и права при Йельском университете (Yale Center for Environmental Law and Policy) совместно с группой независимых международных экспертов, использующими в своей работе, наряду с аналитическими разработками, статистические данные национальных институтов и международных организаций.

Цель исследования – снизить глобальное давление на окружающую среду и, как следствие, на здоровье человека, стимулировать жизнеспособность экологических систем и стабильное управление природными ресурсами. EPI пришёл на смену Индексу экологической устойчивости (The Environmental Sustainability Index) в 2006 году и в настоящее время используется для расчёта Индекса человеческого развития (Human Development Index) в рамках специальной серии докладов о развитии человека Программы развития Организации Объединённых Наций (ПРООН). Исследование проводится раз в два года.

Индекс измеряет достижения страны с точки зрения состояния окружающей среды и управления природными ресурсами на основе 32 показателей в 11 категориях (рис. 2.4), которые отражают различные аспекты состояния компонентов природной среды и жизнеспособности её экологических систем, сохранение биологического разнообразия, противодействие изменению климата, состояние здоровья населения, практику экономической деятельности и степень её нагрузки на окружающую среду, а также эффективность государственной политики в области экологии.

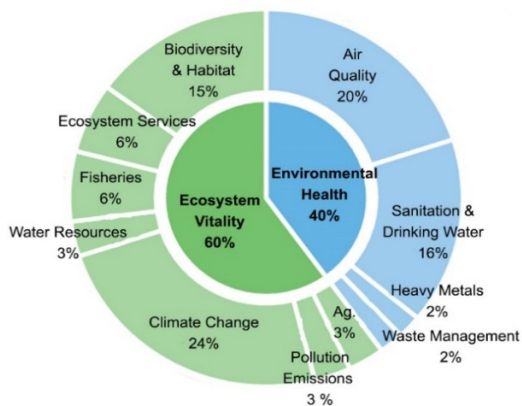


Рис. 2.4. Методика формирования EPI в 2020 г. (2020 EPI Score), представленная в виде комбинации кольцевой и круговой диаграммы

Подробное описание методологии формирования EPI и источников данных для него приводится в докладе по результатам очередного сравнительного исследования. Следует отметить, что данный доклад является отличным примером визуализации статистических данных в экологии, так как в нём содержится большое количество разнообразных типов и форм визуализации. Приведём некоторые из них, отражающие особенности экологической эффективности стран мира по данным 2020 г.

Как отмечалось выше, EPI рассчитывается с точки зрения не только экологической ситуации, но и управления природными ресурсами. Анализируется и связь экологической эффективности страны с её экономическим развитием. Как видно из рис. 2.5, между показателем EPI 2020 года и ВВП на душу населения существует сильная положительная корреляция, хотя многие страны превосходят или уступают своим экономическим аналогам.

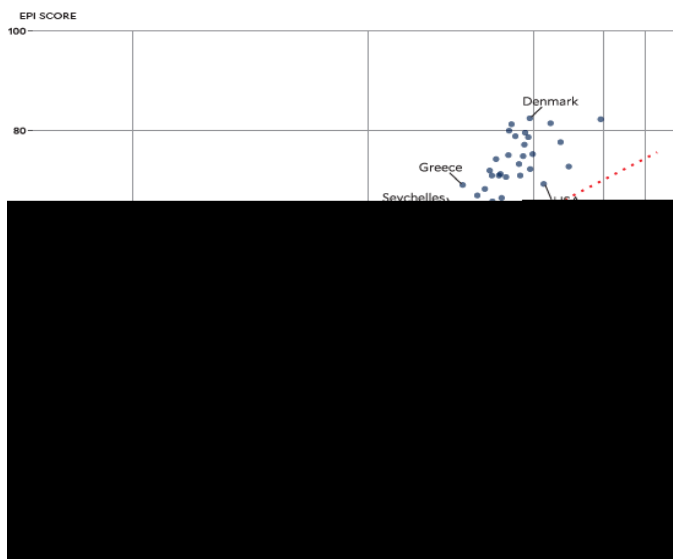


Рис. 2.5. Взаимосвязь 2020 EPI Score (по вертикали) и ВВП на душу населения (по горизонтали) стран мира, выраженная в виде графика рассеивания

В докладе приведено множество данных по отдельным показателям оценки, с помощью различных форм визуализации информации отражены пространственные особенности (межрегиональные сравнения) и вре-

менная изменчивость (темпы прироста или убыли) отдельных составляющих экологической эффективности. Так, например, по доле выбросов метана в 2020 г. лидировали Китай, Индия, Россия, Бразилия и США, за последнее десятилетие наибольший среднегодовой темп прироста выбросов данного парникового газа приходился на Китай – 2,7 % (рис. 2. 6).

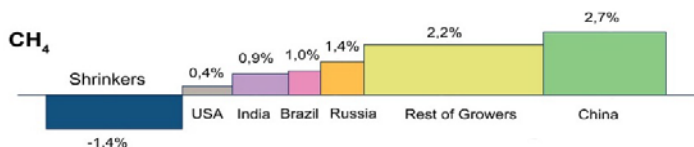


Рис. 2.6. Международные сравнения выбросов и среднегодовых темпов роста для метана. В диаграмме: ширина столбцов пропорциональна доле глобальных выбросов за 2020 г.; высота – показывает среднегодовые темпы роста выбросов за последнее десятилетие

Большое внимание в данном исследовании уделяется поиску взаимосвязей между показателями, объяснению происходящих процессов (рис. 2.7).

	EPI	Env. Health	Ecosystem Vitality	Air Quality	Sanitation & Drinking Water	Heavy Metals	Waste Mgmt.	Biodiversity & Habitat	Ecosystem Services
GDP per capita	0.80	0.83	0.61	0.73	0.88	0.71	0.68	0.21	-0.01
Voice & Accountability	0.62	0.64	0.40	0.64	0.57	0.66	0.57	0.30	-0.20
Political Stability & Absence of Violence	0.52	0.58	0.36	0.54	0.56	0.50	0.46	0.18	-0.10
Government Effectiveness	0.83	0.86	0.64	0.80	0.85	0.82	0.72	0.30	-0.09
Control of Corruption	0.73	0.78	0.54	0.77	0.73	0.75	0.65	0.25	-0.07
Regulatory Quality	0.80	0.83	0.62	0.78	0.80	0.78	0.71	0.32	-0.16
Rule of Law	0.78	0.81	0.59	0.78	0.77	0.78	0.70	0.26	-0.10
Services (% of GDP)	0.57	0.62	0.41	0.59	0.59	0.54	0.52	0.03	0.02
Exports (% of GDP)	0.41	0.41	0.34	0.32	0.44	0.41	0.36	0.13	-0.03
Manufacturing (% of GDP)	0.26	0.21	0.20	0.14	0.25	0.16	0.23	0.16	-0.20

Рис. 2.7. Коэффициенты корреляции (Спирмена) между показателями 2020 EPI Score (по горизонтали) и различными факторами социально-экономического характера (по вертикали). К таблице применено условное форматирование: оттенки зелёного – положительная корреляция, розового – отрицательная

Итоговые результаты оценки экологической эффективности отражены в табличной форме (рейтинг стран мира), а также в виде двумерных геоизображений: стационарных (картограмма) и динамических (ГИС на платформе веб-картографического ресурса).

Согласно результатам исследования, по величине EPI в 2020 г. в топ-10 стран лидеров вошли: Дания – 82,5 баллов, Люксембург – 82,3 балла, Швейцария – 81,5 баллов, Великобритания 81,3 балла, Франция – 80 баллов, Австрия – 79,6 балла, Финляндия – 78,9 балла, Швеция – 78,7 балла, Норвегия – 77,7 балла, Германия – 77,2 балла (рис. 2.8).

RANK	COUNTRY	SCORE	REG	RANK	COUNTRY	SCORE	REG
1	Denmark	82.5	1	61	Uruguay	49.1	9
2	Luxembourg	82.3	2	62	Albania	49.0	16
3	Switzerland	81.5	3	63	Antigua and Barbuda	48.5	10
4	United Kingdom	81.3	4	64	Cuba	48.4	11
5	France	80.0	5		St. Vincent and Grenadines	48.4	11
6	Austria	79.6	6	66	Jamaica	48.2	13
7	Finland	78.9	7	67	Iran	48.0	6
8	Sweden	78.7	8	68	Malaysia	47.9	6
9	Norway	77.7	9	69	Trinidad and Tobago	47.5	14
10	Germany	77.2	10	70	Panama	47.3	15
11	Netherlands	75.3	11	71	Tunisia	46.7	7
12	Japan	75.1	1	72	Azerbaijan	46.5	5
13	Australia	74.9	12	73	Paraguay	46.4	16
14	Spain	74.3	13	74	Dominican Republic	46.3	17
15	Belgium	73.3	14		Montenegro	46.3	17
16	Ireland	72.8	15	76	Gabon	45.8	2
17	Iceland	72.3	16	77	Barbados	45.6	18
18	Slovenia	72.0	1	78	Bosnia and Herzegovina	45.4	18
19	New Zealand	71.3	17		Lebanon	45.4	8
20	Canada	71.0	18		Thailand	45.4	7
	Czech Republic	71.0	2	81	Suriname	45.2	19
	Italy	71.0	18	82	Mauritius	45.1	3
23	Malta	70.7	20		Tonga	45.1	8
24	United States of America	69.3	21	84	Algeria	44.8	9
25	Greece	69.1	3	85	Kazakhstan	44.7	6
26	Slovakia	68.3	4	86	Dominica	44.6	20
27	Portugal	67.0	22	87	Moldova	44.4	7
28	South Korea	66.5	2	88	Bolivia	44.3	21
29	Israel	65.8	1		Uzbekistan	44.3	8
30	Estonia	65.3	5	90	Peru	44.0	22

Рис. 2.8. Рейтинг стран мира по величине EPI в 2020 г. в табличной форме (цветом выражается принадлежность страны к конкретному региону мира)

В пространственном отношении наиболее высокие показатели экологической эффективности в 2020 г. характерны для стран Северной и Западной Европы, Северной Америки, ряду стран Азии (Япония, Южная Корея), Австралии и Океании (Новая Зеландия). Наименее благо-

приятные показатели были отмечены для стран Африки южнее Сахары, Южной и Юго-Восточной Азии (Мьянма, Афганистан, Индия, Бангладеш и др.) (рис. 2.9). Как и было описано выше, связь между EPI и экономическим благосостоянием стран более чем очевидна.

Согласно рейтингу, Республика Беларусь в 2020 г. занимает 49 место (EPI равен 53 баллам) из 180, что является наиболее высоким показателем в регионе (в исследовании называется как «бывшие советские государства»). Показатель здоровья окружающей среды (Environmental Health) составляет 55,9 балла, жизнеспособности экосистем (Ecosystem Vitality) – 51,1 балла (рис. 2.10).

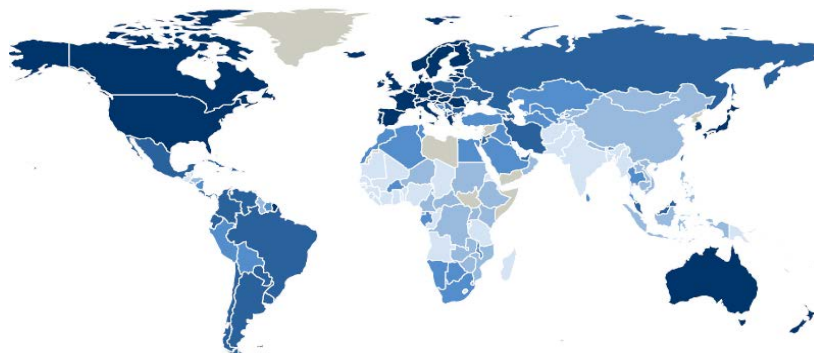


Рис. 2.9. Индекс экологической эффективности стран мира в 2020 г. в виде картограммы (чем насыщеннее цвет, тем выше EPI)

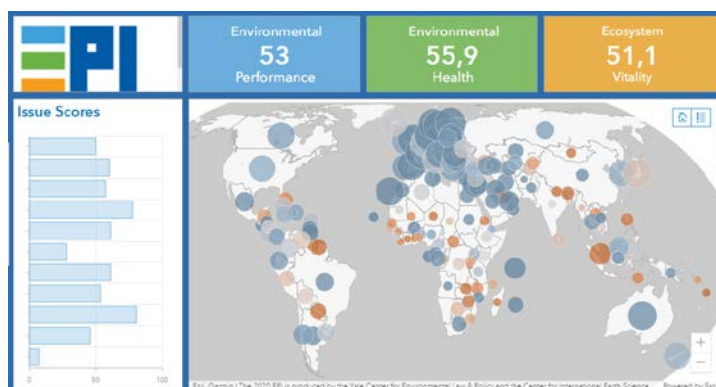


Рис. 2.10. Профиль рейтинга Республики Беларуси по величине EPI в 2020 г. на платформе веб-картографического ресурса ESRI Living Atlas

Наилучшие показатели в области экологической эффективности Республики Беларусь связаны с выбросами загрязняющих веществ (оксиды азота и серы), управлением отходами, биологическим разнообразием территории, санитарией и качеством питьевой воды. Наиболее неблагоприятная ситуация складывается в области водных ресурсов (очистка сточных вод) и экосистемных услуг.

Стоит отметить, что индекс экологической эффективности для Республики Беларусь является особенно важным, так как выбран как один из ключевых показателей устойчивого развития страны на период до 2030 года.

#### **2.4. Визуализация экспериментальных данных, полученных при помощи многоточечных моделей, об идентификации фенологических фаз у земляники садовой**

Рост и развитие растений связаны с происходящими постоянно в определенной последовательности биологическими событиями. Повторяющиеся события предоставляют подробную информацию о возникновении и продолжительности фенологических фаз. Чередувание фенологических фаз у растений наиболее тесно связано с суммой активных температур и длительностью светового дня. Эти факторы обуславливают появление новых вегетативных или генеративных органов у растений и в основном определяют величину хозяйственно ценной части урожая.

Земляника садовая является распространенной ягодной культурой и может быть удобной моделью для изучения появления и чередования различных органов в жизненном цикле растений. Поиск компромисса между образованием цветоносов и усов с розетками для вегетативного размножения является критическим этапом в управлении продуктивностью растений в питомниках и на производственных плантациях. Интенсивный вегетативный рост может угнетать цветение и снижать урожай ягод. Молекулярный контроль образования цветоносов или столонов определяется балансом гиббереллинов, образованием специфических белков. Проводятся исследования, направленные на изучение взаимодействия между образованием цветоносов и усов на растениях земляники и наследования вегетативного или генеративного типа роста.

С этой целью во Франции коллективом авторов (Labadie M., Denoyes B., Guédon Y., 2019) были выбраны сорта земляники садовой Capriss, Ciflorette, Cir107, Cléry, Darselect и Gariguette, которые отличаются интенсивностью образования цветоносов, листьев, усов, рожков, зимостойкостью, сроками цветения. Растения для закладки эксперимента были получены из питомника Invenio во Франции (Douville, France 0°61'E and 45°02'N, altitude 150 m). Опыт был заложен рандомизированными блоками в четырехкратной повторности. Каждая делянка включала 12 растений определенного сорта, высаженных по 6 в 2 ряда. Измерения проводились только на центральных самых высоких растениях каждой делянки, чтобы исключить краевой эффект соседних растений, принадлежащих разным сортам (рис. 2.11). Таким образом, исследованию подвергались по 32 растения каждого сорта.

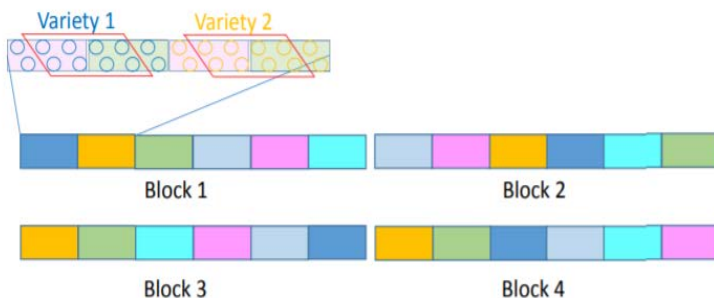


Рис. 2.11. План эксперимента

В каждом из четырех повторений (Block 1, 2, 3, 4) высажены 72 растения (из них 48 учетных растений) шести изучаемых сортов (показаны разным цветом). Двенадцать растений каждого сорта высаживали в два ряда по 6 штук. Для исключения взаимного влияния растений рядом расположенных сортов, измерения проводили только на 8 растениях в центре делянки (показано красным четырехугольником в верхней части рисунка).

Изучение динамики роста и развития растений проводили в течение 27 недель: с 16 декабря 2014 года по 24 июня 2015 года. Контролировали число вновь образованных цветоносов, листьев, столонов на каждом растении по морфологическим признакам (появившимся считали листья длиной  $>0,5$  см, столоны – длиной  $>1$  см). После учета столоны были

удалены. Дополнительно в конце эксперимента подсчитывали количество рожков. При помощи дисперсионного анализа (Kruskal–Wallis test) было установлено отсутствие отличий между повторениями. День посадки считали датой начала эксперимента. Интервал между двумя последовательными измерениями составлял от 5 до 10 дней, от был равен неделе в более половины случаев (14 интервалов из 26). Учитывая неодинаковые интервалы между измерениями, для дальнейших исследований данные были сгруппированы так, чтобы отражать появление новых органов каждую неделю. Учитывали также сумму температур выше 0 °С с момента посадки до наступления определенной фенологической фазы.

Особенности фенологических изменений у изучаемых сортов были проанализированы при помощи двух статистических моделей: множественные точечные модели для разделения, синхронизации между индивидуумами в серии фенологических измерений; скрытые семи-Марковские цепи для разделения, асинхронизации между индивидуумами в тех же сериях фенологических измерений. Скрытые семи-Марковские последовательности применялись для выявления сходства между индивидуумами в наступлении фенологических фаз.

На рисунке 2.12 при помощи разных оттенков фона, линий разного цвета, сплошного и пунктирного начертания линий показана интенсивность образования цветоносов у растений сорта Gariguette.

Интенсивность образования цветоносов показана цветом (рис. 2.12, А): от светлого (0–5 цветоносов) до темного (20–25 цветоносов). Фазы цветения ограничены сплошными или пунктирными черными линиями. Среднее количество цветоносов, появившихся за неделю показано красными точками, соединенными красными линиями (рис. 2.12, В). Дополнительно красной пунктирной линией показана величина стандартной ошибки (s.d.). Сплошной черной линией показано количество цветоносов для растений, у которых выделено 6 фаз образования цветоносов. Пунктирная черная линия показывает количество цветоносов для растений, у которых выделено 5 фаз образования цветоносов.

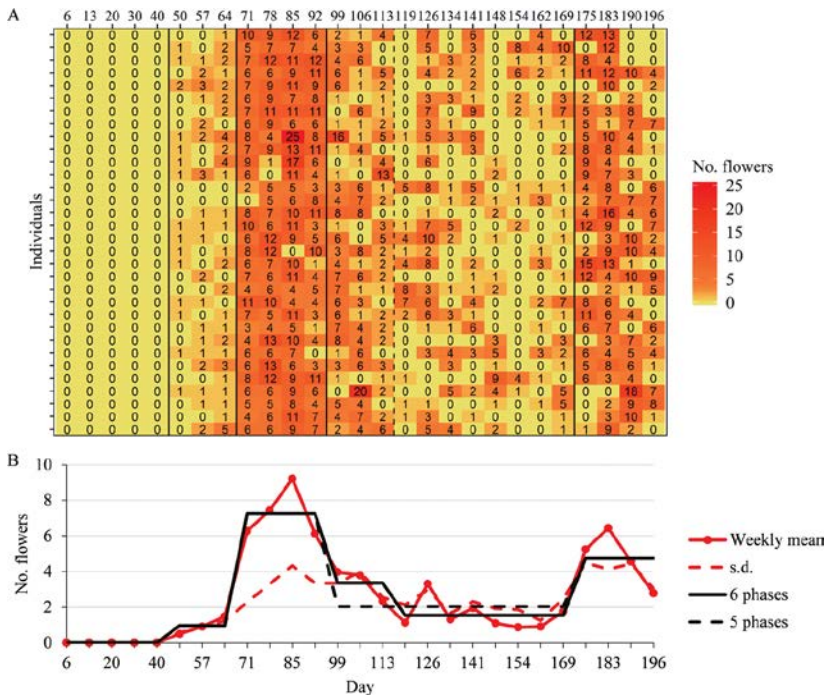


Рис. 2.12 Образование цветоносов у растений сорта Gariguette на основании применения многоточечных моделей

Земляника является многолетним образующим розетки травянистым растением. При интерпретации результатов исследований Tenreira T. et al. (2017) предпринята удачная попытка применения двухмерного и трехмерного изображения. Основной побег (primary crown (PC)) состоит из листьев, боковых меристем, расположенных в пазухах листьев и заканчивается цветоносом (рис. 2.13, А). Зеленой стрелкой показана пазушная меристема, голубой стрелкой – стolon, желтой звездочкой – цветонос.

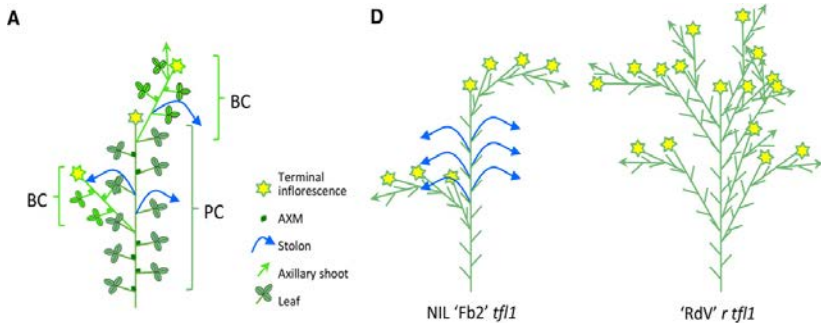


Рис. 2.13. Архитектура растения земляники садовой

Исход конкуренции между меристемами зависит от места расположения на растении. Когда апикальная меристема становится цветочной, меристема в пазухе нижележащего листа дает начало побегу второго порядка (branch crown (BC)). Меристемы, лежащие в пазухах листьев основного побега, могут развиваться в боковой побег, или стolon с розеткой листьев, или остаться в неактивном состоянии. Эти формообразовательные процессы контролируются генотипом (рис. 2.13, D) и условиями окружающей среды. Слева из пазушных меристем растения образуются stolоны или боковые побеги, заканчивающиеся цветоносами. Справа – почти все пазушные меристемы трансформируются в побеги с цветоносами. Таким образом, на рис. 2.13 при помощи двухмерного изображения показана регуляция меристем в пазухах листьев, которая предопределяет исход конкуренции между образованием цветоносов или stolонов (усов) у земляники садовой.

Еще лучшего визуального восприятия можно добиться, применяя 3D изображения для визуализации результатов исследований (рис. 2.14).

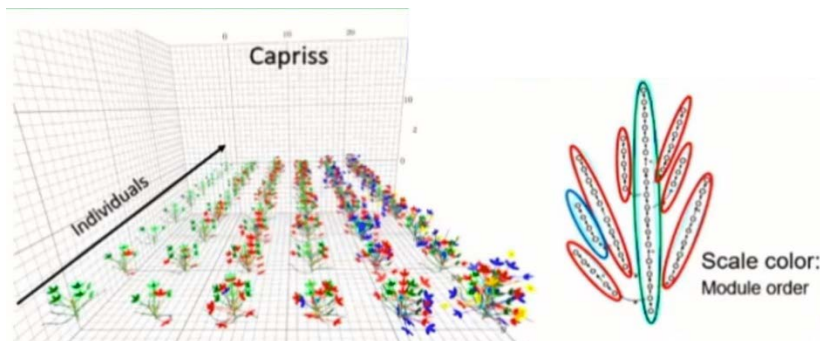


Рис. 2.14. Объемное изображение растений сорта Capriss

Справа на рисунке показано, что побеги первого порядка изображены зеленым цветом, побеги второго порядка – красным цветом, побеги третьего порядка – синим цветом. В левой части рисунка показана интенсивность образования новых органов на растениях с течением времени с декабря до июня.

## 2.5. Визуализация экспериментальных данных об эволюции микробной популяции в питательной среде

Математические модели эволюции предназначены для выявления закономерностей функционирования и развития живых систем, в том числе популяций. В работе С. А. Лашина и др. (2020) было показано, что наиболее важными факторами, ответственными за успешное развитие популяции микроорганизмов, являются: размер популяции, скорость фиксации мутаций, частота рекомбинации в популяциях, использующих половое размножение, а также форма «ландшафта приспособленности». При этом генотип особи часто рассматривают как набор аллелей из дискретного пространства аллелей (в данном примере  $E_1$  и  $E_2$ ).

Авторами были проанализированы механизмы пересечения долин ландшафта приспособленности популяцией гаплоидных микроорганизмов, приспособленность которых зависела от аллельных значений в двух локусах и определялась сложным ландшафтом, форма которого может быть описана как «окруженная рвом гора в поле» (рис. 2.15). На молекулярном уровне эта двухлокусная модель описывает взаимо-

действие двух разных субъединиц, образующих фермент, способность которого расщеплять неспецифический субстрат, являющийся источником энергии микроорганизма, определяет его репродуктивную эффективность. Ширина рва между областями с высокой приспособленностью на ландшафте достаточно велика: требуется, как минимум, несколько последовательных мутаций, приводящих к сниженной приспособленности, чтобы преодолеть этот ров.

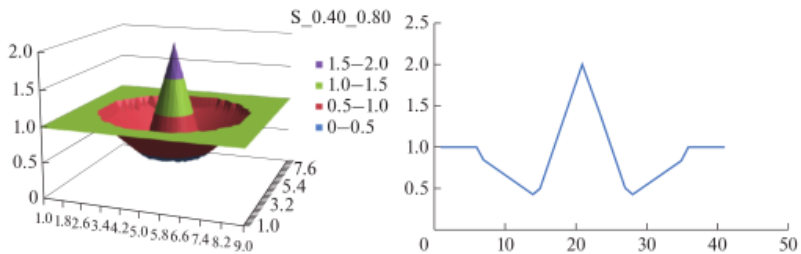


Рис. 2.15. Вариант ландшафта, задаваемый функцией  $Ku$  (эффективность утилизации субстрата).

Слева приведено пространственное изображение ландшафта (оси  $Ox$ ,  $Oy$  соответствуют аллельным состояниям локусов  $E_1$  и  $E_2$ ), справа показано сечение плоскостью, перпендикулярной плоскости  $xy$  и параллельной оси  $Ox$

При помощи комплекса математических уравнений была построена модель эволюционной динамики в популяции гаплоидных микроорганизмов, состоящей из клеток одного вида, населяющих резервуар с постоянным притоком неспецифического субстрата  $S$ , являющегося источником энергии для живущих в нем клеток (рис. 2.16, *a*). Приспособленность клеток определяется размером прироста популяции в единицу времени и зависит от эффективности утилизации субстрата, доступности субстрата и смертности.

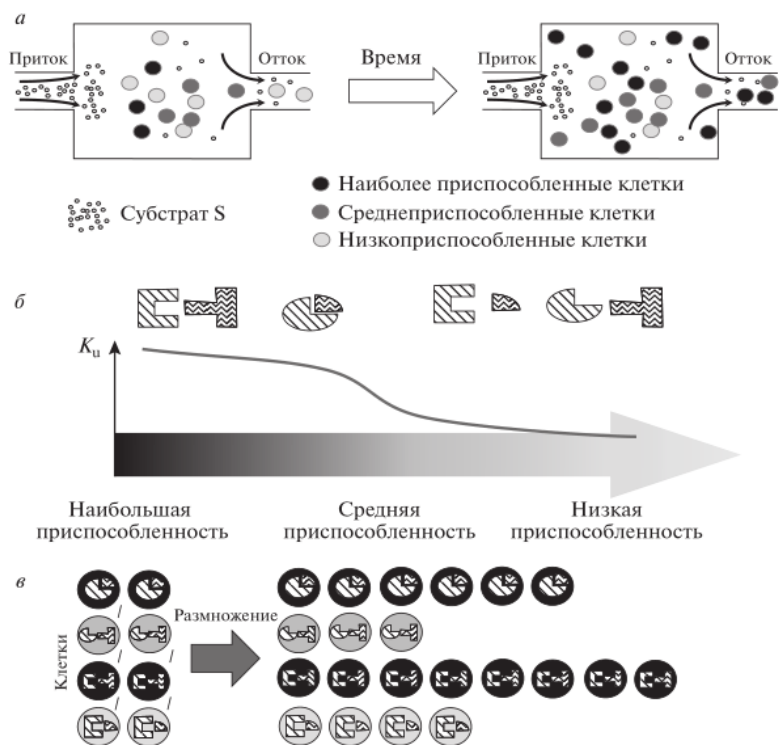


Рис. 2.16. Общая схема модели: *а* – схема моделируемой системы: проточный резервуар, на вход которого подается неспецифический субстрат – источник энергии. Резервуар населяет гетерогенная микробная популяция (клетки разных генотипов показаны разным цветом). С течением времени меняется как размер популяции, так и соотношения между представленностями клеток различных генотипов; *б* – схема функции  $K_u$ , демонстрирующая изменение приспособленности в зависимости от комбинации аллельных вариантов  $E_1$  (косая штриховка) и  $E_2$  (волнистая штриховка); *в* – более приспособленные клетки дают больше потомства за единицу времени и в долгосрочной перспективе вытесняют менее приспособленных

Проведен численный эксперимент, в котором начальная популяция состояла из однородной группы клеток. Начальный размер популяции составлял  $1 \times 10^7$  клеток. Дальнейший рост популяции обеспечивал постепенное достижение максимального размера, равного  $1,5 \times 10^7$  и обусловленного параметрами среды обитания. В ходе дальнейшей эволюции и движения по ландшафту приспособленности происходит рост средней приспособленности клеток популяции, что приводит к даль-

нейшему росту размера популяции, достигая соответствующего пика максимума в  $2,1 \times 10^7$  клеток.

Данная модель была проанализирована на протяжении 10000 поколений (см. сценарий гаплоидного эволюционного конструктора (ГЭК) по ссылке [http://evol-constructor.bionet.nsc.ru/?page\\_id=313](http://evol-constructor.bionet.nsc.ru/?page_id=313)), причем за каждое поколение выполняется стандартная итерация ГЭК, состоящая из следующих шагов:

- 1) клетки поглощают субстраты из окружающей среды;
- 2) клетки метаболизируют поглощенные субстраты, используя их для синтеза и секреции некоторых метаболитов, а также для размножения, в ходе которого могут произойти мутации;
- 3) состояние окружающей среды обновляется, в том числе обрабатываются приток и отток субстрата, а также отток клеток из системы.

В результате мутаций могут появиться новые аллельные варианты. Таким образом, мутации с каждым поколением повышают генетическое разнообразие популяции и приводят к «движению» потомков клетки по ландшафту приспособленности с течением времени, измеряемом в поколениях. Некоторые аллельные комбинации могут оказаться более адаптивными, чем другие, поэтому несущие их мутантные клетки будут расти быстрее и постепенно вытеснят менее адаптивные клетки из популяции. В зависимости от глубины «рва», окружающего центральный пик на ландшафте приспособленности (рис. 2.16), клеткам потребуется более или менее интенсивный поток генов, «поставляемых» мутационным процессом, чтобы достичь наиболее приспособленного состояния.

Учитывая сложность экологических взаимодействий в различных системах, многие исследователи на одном из этапов работы прибегают к созданию концептуальных моделей или блок-схем изучаемых процессов, подобно тому, как показано выше. Это позволяет все фрагменты и аспекты изучаемой проблемы увидеть во взаимосвязи. Часто только после такого способа визуализации можно разработать стратегию решения проблемы.

## 2.6. Визуализация экспериментальных данных о филостратиграфическом анализе генных сетей заболеваний человека

В статье З. С. Мустафина, С. А. Лашина, Ю. Г. Матушкина в Вавиловском журнале генетики и селекции (2021) описано применение современных методов анализа для оценки эволюционных характеристик генов. В частности, представлены возможности филостратиграфического анализа – методологии, предложенной в 2007 г. T Domazet-Lozo, – который позволяет определить возраст гена с помощью специального индекса, получаемого в результате анализа ортологичных генов и сравнения положения организмов, чьи гены рассматриваются в анализе на филогенетическом дереве.

Авторы описывают программные средства для работы с генными сетями. Одни из них сконцентрированы на реконструкции сетей на основании данных из биологических баз, например String (Szkarczyk et al., 2019), GeneMANIA (Montejo et al., 2010). Другие имеют обширный функционал по визуализации элементов сети, выявлению ее структурных особенностей: Cytoscape (Shannon et al., 2003), yEd (<https://www.yworks.com/products/yed>). Программный комплекс Cytoscape выгодно отличается от других средств тем, что, помимо обширных возможностей по построению сети, компоновке и покраске ее элементов, анализу структурных особенностей, он позволяет пользователям писать собственные приложения на языке Java и встраивать их в Cytoscape в качестве плагинов. Это открывает сообществу возможность реализовывать весь интересующий функционал и добавлять его в Cytoscape. Например, такие известные средства, как String и GeneMANIA, способные реконструировать сеть по списку генов на основании извлечения взаимодействий из баз биологических данных, имеют свои собственные плагины в Cytoscape и позволяют пользоваться своей функциональностью, сочетая ее с возможностями Cytoscape и других его плагинов. Пользователю также становится доступным импорт готовых сетей, например из баз Pathway Commons (Cerami et al., 2011) или KEGG Pathway (Kanehisa et al., 2017), без необходимости разбора форматов представления сети в этих базах. Наконец, с учетом всех имеющихся возможностей любой пользователь может написать собственное приложение под свои задачи и поделиться им с сообществом.

В публикации З. С. Мустафина, С. А. Лашина, Ю. Г. Матушкина представлены результаты анализа генных сетей одним из таких плаги-

нов, Orthoscape (Mustafin et al., 2017), способным проанализировать эволюционные особенности генов в генной сети. Авторы продемонстрировали, что большинство генов, описанных в генных сетях, подвержено стабилизирующему отбору, и обнаружена высокая достоверная корреляция между временем возникновения гена и наблюдаемым уровнем генетической изменчивости – чем моложе ген, тем выше уровень генетической изменчивости. Показано, что среди проанализированных генных сетей наибольшая доля эволюционно молодых генов выявлена в сетях, связанных с заболеваниями иммунной системы (65 %), а эволюционно древних – в сетях, ответственных за формирование зависимостей человека от веществ, вызывающих привыкание к химическим соединениям (88 %); генные сети, связанные с развитием инфекционных заболеваний, вызванных паразитами, достоверно обогащены эволюционно молодыми генами, а генные сети, ответственные за развитие специфических типов рака, – эволюционно древними генами.

В исследовании использовали генные сети, представленные в базе KEGG Pathway, раздел Human Diseases. Необходимые данные для проведения анализа – списки ортологичных генов, нуклеотидные последовательности генов и аминокислотные последовательности кодируемых ими белков, доменный состав, информация о таксономических рядах организмов, чьи гены рассматривали в анализе, – также были взяты из базы KEGG.

Используемое программное обеспечение. Анализ проводили на базе программного комплекса Cytoscape (Shannon et al., 2003) – многофункционального средства для визуализации и анализа сетей. Для импорта сетей из KEGG Pathway в работе использовали плагин CyKEGGParser (Nersisyan et al., 2014). Для выполнения филостратиграфического анализа и анализа индекса эволюционной изменчивости был взят плагин Orthoscape (Mustafin et al., 2017).

Методы оценки эволюционных характеристик генов. Orthoscape позволяет оценить две эволюционные характеристики генов. Первая характеристика, вычисляемая с помощью Orthoscape – филостратиграфический индекс гена (phylostratigraphic age index, PAI). Он показывает, в какой степени отдален от корня филогенетического дерева таксон, отражающий возраст гена, т. е. такой таксон, на котором произошло расхождение исследуемого вида с наиболее отдаленным родственником, в котором обнаружен ортолог рассматриваемого гена. Таким образом, чем больше PAI исследуемого гена, тем он мо-

ложе (рис. 2.17). Для расчета PAI в Orthoscape применяется сервис KEGG Orthology, что дает возможность учитывать среди всех гомологов гена именно ортологичные.

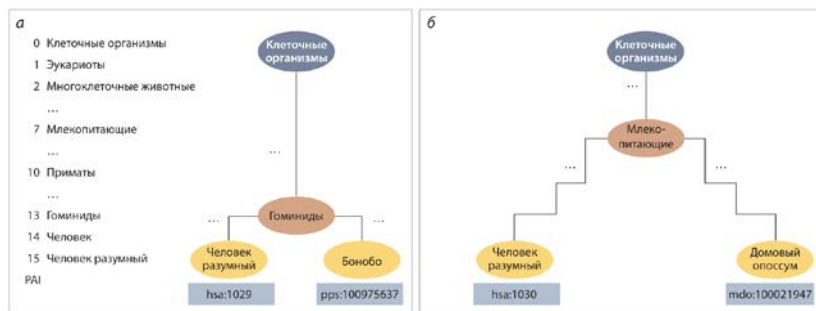


Рис. 2.17. Пример определения PAI для двух генов *Homo sapiens* (человек): а – пример эволюционно молодого гена *hsa:1029*, наиболее отдаленным от исследуемого организмом, у которого был найден ортолог этого гена, является *Pan paniscus* (шимпанзе бонобо); б – пример эволюционно более древнего гена *hsa:1030*, наиболее отдаленный от исследуемого организм, у которого был найден ортолог этого гена, – *Monodelphis domestica* (домовый опоссум). Шкала слева показывает индекс PAI, который соответствует глубине узла таксономического дерева

Можно заключить, что ген на примере (а) эволюционно моложе гена на примере (б). Программа Orthoscape также позволяет оценить индекс эволюционной изменчивости гена (divergence index, DI). Он показывает тип отбора, которому подвержен ген. С помощью Orthoscape были посчитаны индексы PAI и DI для всех генов, представленных в 80 проанализированных генных сетях из KEGG Pathway, Human Diseases. На основании этих данных были вычислены значения PAI для каждой генной сети как среднее значение PAI всех генов, задействованных в сети, и PAI категории как среднее значение PAI всех сетей из этой категории. Аналогичным образом для каждой генной сети был определен индекс DI.

Среди проанализированных 80 сетей наблюдается варьирование PAI от 0,44 (т. е. большая часть генов эволюционно древняя, генная сеть «Никотиновая зависимость») до 6,38 (т. е. большая часть генов эволюционно молодая, генная сеть «Астма»). Изменение DI гена, как правило, происходит в пределах  $DI < 1$ , т. е. в пределах стабилизирующего отбора, тем не менее уровень изменчивости генов, задействованных в разных сетях, также сильно варьирует: от 0,16 до 0,64. Наиболее

выделяются по индексам PAI и DI сети «Астма» и «Никотиновая зависимость». В сети «Астма» преобладают эволюционно молодые и изменчивые гены, а в сети «Никотиновая зависимость» – эволюционно древние и консервативные. Схема соответствия цвета и возраста гена, кодирующего белки в этих сетях, приведена на рисунке 2.18.

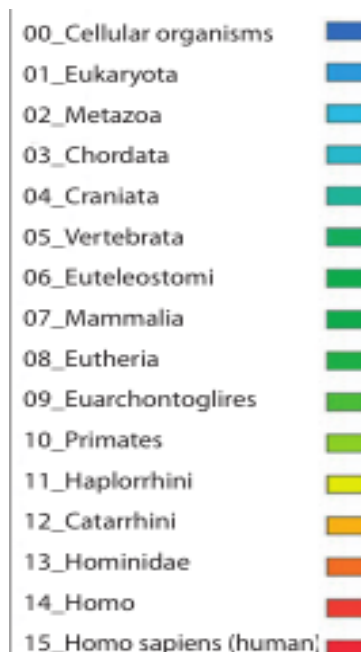


Рис. 2.18. Схема соответствия цвета и возраста гена

Результат анализа PAI для сетей «Астма» и «Никотиновая зависимость» приведен на рис. 2.19, 2.20; результаты анализа DI этих же сетей – на рис. 2.21, 2.22. Гены показаны прямоугольниками с названием гена; цвет прямоугольника соответствует возрасту гена. Окрашенные в синий и голубой цвета гены относятся к наиболее эволюционно древним таксонам, в зеленый и желтый – к более эволюционно молодым относительно обозначенных голубым.

Большинство генов в сети «Астма» – эволюционно молодые, появившиеся на уровне позвоночных (см. рис. 2.19, окрашены зеленым и желтым цветами).

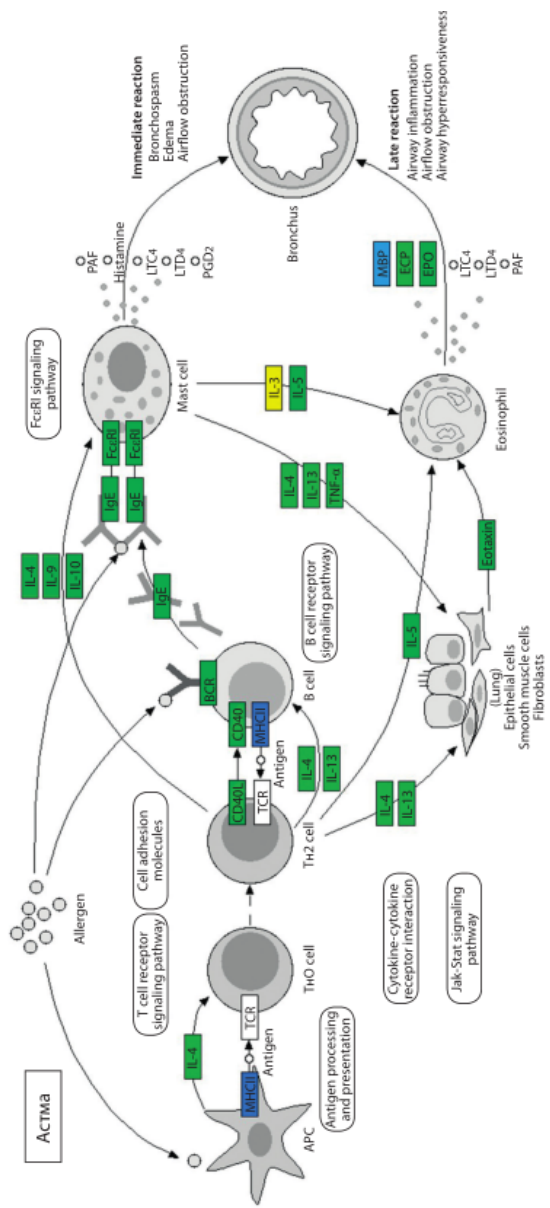


Рис. 2.19. Схема генных сетей заболевания «Астма из базы данных KEGG Pathway, Human Diseases с вычисленными значениями PAI

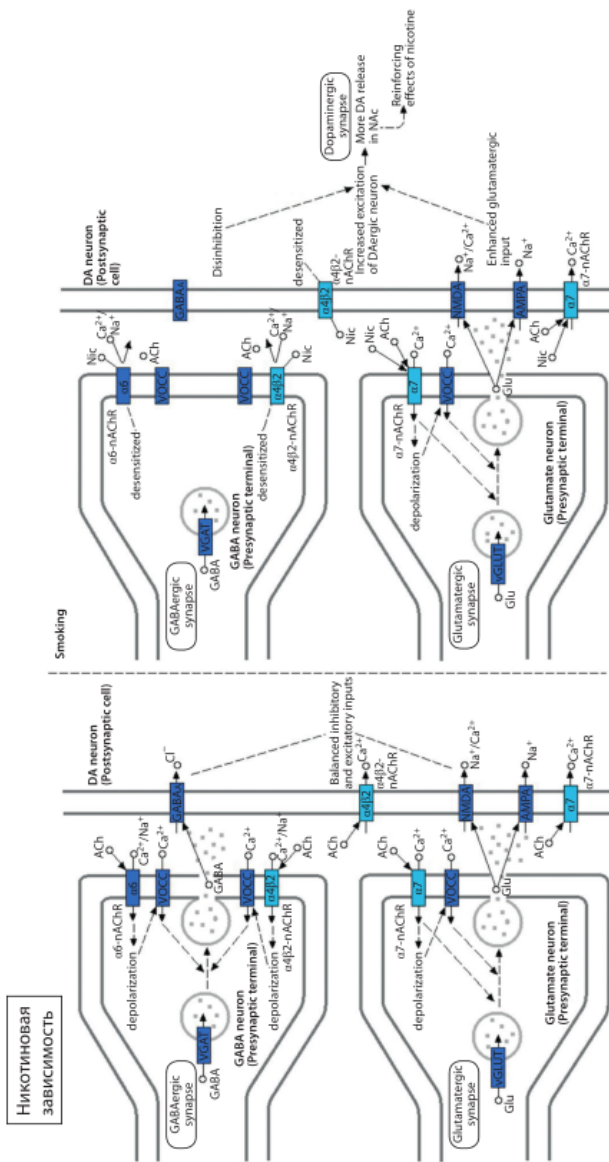


Рис. 2.20. Схема генных сетей заболевания «Никотиновая зависимость» из базы данных KEGG Pathway, Human Diseases с вычисленными значениями PAI

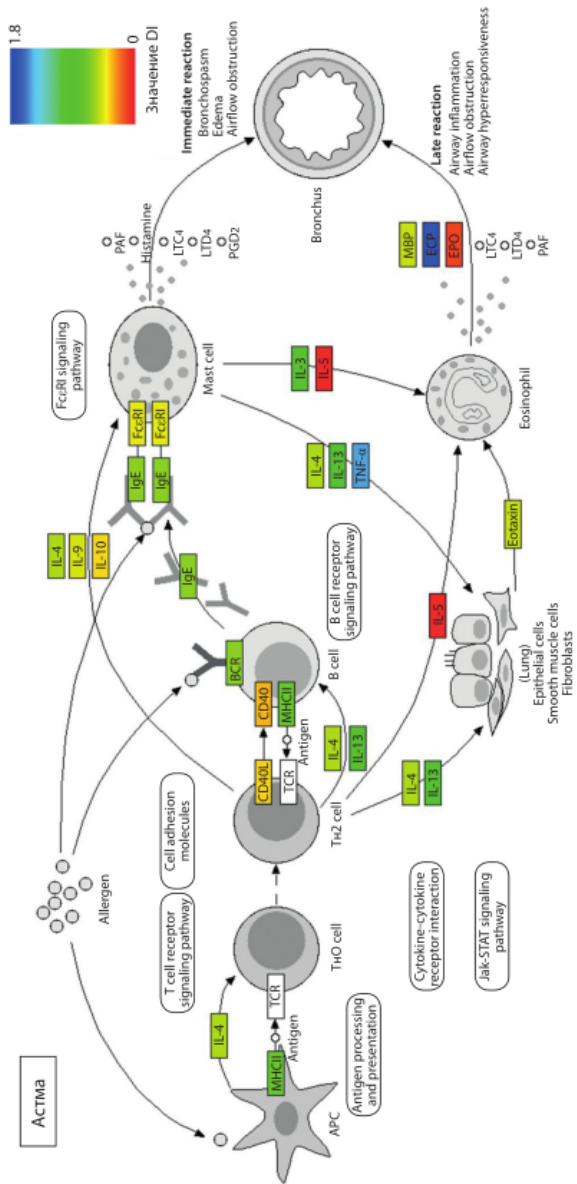


Рис. 2.21. Схема генных сетей заболевания «Астма» из базы данных KEGG Pathway, Human Diseases с вычисленными значениями DI



Напротив, в сети «Никотиновая зависимость» (см. рис. 2.20) все гены были определены как эволюционно древние, возникшие на этапах образования клеточной формы жизни (Cellular organisms) до многоклеточных животных (Metazoa).

В правой верхней части рис. 2.21 и 2.22 для сетей «Астма» и «Никотиновая зависимость» приведена цветовая схема соотношения цветов и индекса DI.

Шкала для каждой сети индивидуальна, и даже наиболее изменчивые гены, задействованные в сети «Никотиновая зависимость», обладают минимальной изменчивостью по сравнению с генами, вовлеченными в сеть «Астма».

Анализ индекса DI свидетельствует о том, что практически все гены в сети «Астма» (см. рис. 2.21) являются более эволюционно изменчивыми, чем гены, вовлеченные в сеть «Никотиновая зависимость» (см. рис. 2.22), гены которой очень консервативны.

Необычный способ графического изображения был выбран авторами при более подробном изучении двух категорий заболеваний: 1) связанных с иммунной системой и обладающих наибольшей долей эволюционно молодых генов и 2) связанных с формированием зависимостей от химических веществ, вызывающих привыкание, обладающих наибольшей долей эволюционно древних генов (рис. 2.23). Нижняя и верхняя точки каждого графика показывают минимальное и максимальное значения PAI, оранжевая звезда – медиану значений PAI, ширина графика для каждой позиции по оси ординат (т. е. для каждого PAI) – долю генов с этим конкретным PAI. Можно видеть, что в случае заболеваний, связанных с иммунной системой, медиана распределений PAI колеблется в диапазоне (5...7) (от позвоночных (Vertebrata) до млекопитающих (Mammalia)), а сами распределения имеют характер, выражающийся в уменьшении числа генов с соответствующим значением PAI при уменьшении PAI. В случае заболеваний, связанных с зависимостями от веществ, вызывающих привыкание к химическим соединениям, медиана находится в диапазоне (0...1) – клеточные организмы (Cellular organisms) и эукариоты (Eukaryota), сами распределения имеют характер, выражающийся в увеличении числа генов с соответствующим значением PAI при уменьшении PAI. Распределения носят принципиально разный характер, если сравнивать в них долю эволюционно древних и эволюционно молодых генов, что показал также и точный тест Фишера с достоверностью  $p\text{-value} = 4,4 \times 10^{-16}$ .

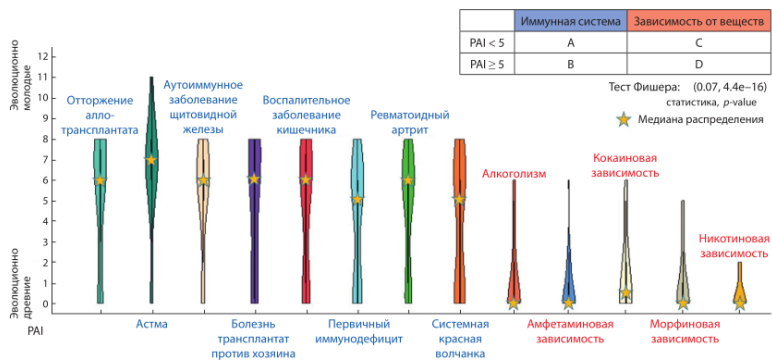


Рис. 2.23. Распределение PAI среди восьми сетей заболеваний, связанных с иммунной системой (подписаны синим) и пяти сетей заболеваний, связанных с зависимостями от веществ, вызывающих привыкание к химическим соединениям (подписаны красным). Графики визуализированы с помощью R пакета vioplot, скрипт подготовлен Orthoscape

Представляет интерес изучение взаимосвязи между PAI и DI для исследованных 80 генных сетей. Результаты этого анализа показаны на рис. 2.24 на одном графике, с учетом разбиения заболеваний по категориям.

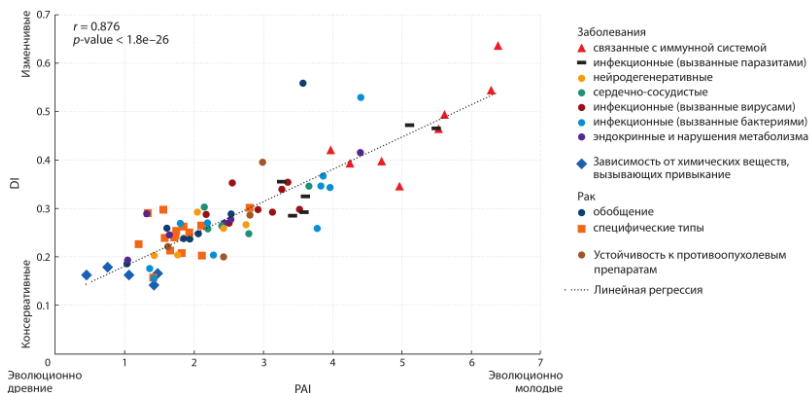


Рис. 2.24. Диаграмма рассеяния для средних значений индексов PAI и DI для 80 генных сетей заболеваний человека, описанных в базе KEGG Pathway, Human Diseases. Фигурами разных цветов и размеров отмечены различные категории заболеваний

Анализ показал, что между PAI и DI имеется сильная и высокодо-  
стоверная корреляция ( $r = 0,876$ ,  $p\text{-value} < 1,8 \times 10^{-26}$ ), т. е. наблюдается  
зависимость между средним эволюционным возрастом генов в генных  
сетях и уровнем их генетической изменчивости: чем меньше эволюци-  
онный возраст генов, тем больше уровень их генетической изменчиво-  
сти. Это хорошо согласуется с тем, что эволюционно древние гены  
вовлечены в ключевые для функционирования организма процессы, на  
них наложено множество ограничений со стороны других генов, осо-  
бенностей организации молекулярно-генетических систем и им не  
свойственна высокая изменчивость. Эволюционно молодые гены,  
напротив, обеспечивают адаптацию к современным условиям жизни, и  
у них более высокая изменчивость.

### 3. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ В ЭКОЛОГИИ

#### 3.1. Общие принципы визуализации пространственных данных

Специфика пространственных данных определяет общие принципы их визуализации:

1. *Территориальность* – опора на базу данных (количественная и качественная информация), приуроченных к конкретной территории.

Источникам исходной информации являются:

- данные дистанционного зондирования (ДДЗ);
- статистические данные и результаты их обработки;
- материалы полевого картографирования и мониторинга;
- результаты изучения состояния биоиндикаторов;
- обобщения материалов из разных источников.

2. *Принадлежность данных к одному временному срезу или периоду* (час, день, месяц, год, десятилетие и т. д.), *их последовательности* (при отражении динамики процессов).

Для правильной интерпретации и сопоставления изображаемых объектов, явлений или процессов на карте (любом геоизображении) не должны находиться данные, относящиеся к разному временному периоду. В случае невыполнения данного принципа неизбежны ошибочные суждения и выводы.

3. *Непрерывность изображаемого процесса или явления* (отсутствии «белых пятен» на карте). В случае отсутствия данных достигается путём использования методов интерполяции и экстраполяции, использование которых позволяет продолжать выявленные закономерности (связи, тенденции развития и др.) в будущее время (экстраполяция), на неизвестную территорию (интерполяция), что особенно важно для географического и экологического прогнозирования и мониторинга). В статистике допускаются исключения («нет данных», серый цвет на карте).

4. Выбор территориальных единиц исследования осуществляется на основе степени однородности их свойств (т.е. возможности распространения на них экологических характеристик) и целевого назначения визуализации данных.

Варианты решения вопроса о выборе операционных территориальных единиц:

*Выборочная характеристика*, т. е. привязка показателей непосредственно к точкам и линиям, для которых они получены – карты фактического материала (при этом не выполняется общекартографическое требование непрерывности изображения). Пример: карта загрязнения поверхностных вод территории с показателями концентрации поллютантов в пунктах мониторинга (на отдельных гидропостях).

*Геометрически правильные сетки* – частные карты, характеризующие состояние компонентов среды по отдельным ингредиентам. Недостаток – случайный характер сетки по отношению к организации внутреннего пространства. Пример: агрохимическая картограмма степени засоления почв орошаемых участков.

*Политико-административное и хозяйственное деление* – используют, когда исходными данными служат материалы официальной статистики.

Достоинства: простота подхода в методическом отношении, соответствие текущим запросам отдельных категорий потребителей картографической продукции, простота построения карт такого типа (картограммы и картодиаграммы, отражающие средние и суммарные показатели, получаемые на основе элементарной обработки типовых форм учета) способствует высокой оперативности их создания.

Недостатки подхода: высокое качество принимаемых на основе подобных карт управленческих решений находится под сомнением, поскольку средние и суммарные показатели затушёвывают различия внутри единиц районирования и создают иллюзию контрастов на их границах, что географически некорректно. Однако, использование может быть оправданным в случаях, когда картографируемый показатель решающим образом зависит от антропогенных факторов и является контролируемым административно. Однако и в этом случае необходим учет не только административного, но и функционального деления территорий (например, отнесение количеств удобрений и пестицидов только к площади обрабатываемых земель).

*Бассейновый подход* наиболее удобен, когда объектами картографирования являются водотоки, экзогенные геодинамические процессы и весь комплекс связанных с тем и другим вопросов.

Достоинства подхода: разделяющие речные бассейны водоразделы образуют барьеры для транспортировки поллютантов с поверхностным и грунтовым стоком, а при достаточной морфологической выраженности – и для воздушного переноса в наиболее загрязненном приземном слое; в условиях преобладающего долинного типа расселения

бассейны в значительной степени совпадают с контурами хозяйств, характеризующихся разными типами и уровнями антропогенной нагрузки.

Недостатки подхода: неоднородность бассейнов, каждый из которых представляет собой закономерное сочетание водораздельных, склоновых и долинных ландшафтов (при равнинном рельефе и значительной ширине однородных в ландшафтном отношении междуречных пространств выделение водораздельных линий становится не вполне корректной задачей).

*Ландшафтно-географический подход* (ориентация на единицы физико-географического или ландшафтного районирования) в наибольшей степени отвечает задачам экологического картографирования, так как понятия трансформированности и устойчивости ландшафта вторичны по отношению к самому ландшафту; их характеристика возможна только в пределах некоторой пространственной общности, образованной сочетанием и взаимодействием геокомпонентов.

Недостаток подхода заключается в том, что выбор определенного (т. е. единственного из бесконечно многих) природного рубежа в качестве границы ландшафтов – волевой акт, и ввиду этого неизбежно субъективен.

*Отсутствие территориальных единиц* становится возможным при непрерывной количественной характеристике на основе применения способа изолиний (подробнее в подразделе 3.3). Преимущества этого подхода связаны с отсутствием осреднения показателей по площади при отказе от наперед заданных границ.

5. Дифференциация пространства достигается за счёт выделения градаций и составления шкал показателей отображаемой информации.

Наиболее распространённые методы классификации данных: естественных границ, равные интервалы, квантили, стандартное отклонение и др.

*Естественные границы* (по Дженксу) осуществляют поиск существенных различий между соседними парами данных. Классы основаны на естественных группах, присущих данным. Границы классов создаются таким образом, чтобы наилучшим образом сгруппировать сходные значения и максимизировать различия между классами. Классификация методом естественных границ индивидуальна для конкретных данных и не подходит для сравнения нескольких карт, построенных на различной исходной информации.

*Метод равного интервала* разделяет диапазон атрибутивных значений на поддиапазоны равного размера. Метод применяется в случае, если изменение количественного признака внутри изучаемой совокупности происходит равномерно, и его вариация проявляется в сравнительно узких границах. При стандартном распределении данных такой метод не подходит, так как большинство данных попадут в «средний» диапазон, а ряд классов останутся пустыми. Метод равных интервалов наиболее подходит для известных диапазонов значений, например, процентов или температур. Он акцентирует внимание на величине значения атрибута относительно других значений.

*Метод квантиля* – разбивает данные на классы с одинаковым количеством значений данных (объектов). Такая классификация хорошо подходит для линейно распределённых данных. При использовании метода квантиля не бывает пустых классов или классов, содержащих слишком малое или слишком большое количество значений. Однако, поскольку при классификации объекты сгруппированы по принципу их одинакового количества в каждом классе, полученная карта может ввести в заблуждение. Похожие объекты могут попасть в разные классы, а объекты с существенно различающимися значениями могут оказаться в одном классе. Минимизировать такое искажение можно, увеличивая число классов.

Классификации на основе *статистического распределения* значений обеспечивает другое представление данных. Такая визуализация может использоваться для определения выпадающих и ошибочных данных. Например, среднеквадратичное отклонение показывает, насколько значение атрибута объекта отличается от среднего значения. Среднее значение и стандартное отклонение вычисляются автоматически. Границы классов строятся с равными диапазонами значений, пропорциональными стандартному отклонению (обычно в интервалах один, половина, одна треть или одна четверть), используя средние значения и стандартное отклонение от среднего.

### **3.2. Экологическое картографирование. Классификация экологических карт**

**Экологическое картографирование** – тематическое направление в области картографии, совокупность приемов и методов сбора, анализа и графического представления пространственной информации о состоянии окружающей среды, различных аспектах взаимодействия человека (или других биологических видов) и природы.

В историческом плане современное экологическое картографирование возникло и развилось на базе теоретических установок и методических приемов, относящихся к разным направлениям тематического картографирования. Предшественниками экологических можно считать карты, созданные на основе биоцентрического и антропоцентрического подходов.

Биоцентрический подход базируется на классическом геккелевском понимании предмета экологии и нацелен на картографическое исследование взаимосвязей между биологическими видами и средой их обитания. Реализация биоцентрического направления сдерживается пространственной неопределенностью понятия экосистемы (может быть применено к болотной кочке, участку леса, биосфере в целом), а также отсутствием чётких экологических критериев для сравнения реально существующего с допустимым и желательным (например, в отличие от критериев ПДК для человека).

Другим «источником и составной частью» экологического картографирования (антропоцентрическое направление) стали прикладные работы по учету природных ресурсов, оценке экологической обстановки и разработке путей её оптимизации. Эти работы отличаются от биоцентрических тем, что оценки состояния среды выполняются с точки зрения воздействия факторов окружающей среды на здоровье человека и возможности хозяйственного использования природных ресурсов.

Антропоцентрический подход по своему содержанию ближе к традиционному географическому, при котором биота рассматривается как один из равноправных компонентов ландшафта. На картах, относящихся к данному направлению, обычно содержатся сведения о ландшафтах территории, особо охраняемых природных территориях и объектах, источниках и последствиях антропогенного воздействия на среду (объёмы и состав выбросов и сбросов загрязняющих веществ, уровни и ареалы загрязнения). Соотношения антропоцентризма и биоцентризма дифференцированы по разновидностям экологических карт: гигиенические и экономические оценки антропоцентричны, а охрана природы биоцентрична по определению.

**Элементы экологических карт.** Экологические карты содержат в себе элементы, свойственные всем географическим картам. К ним относятся:

*Математическая основа* – картографическая проекция, выражающая аналитическую зависимость между координатами точек поверх-

ности земного эллипсоида и его плоского изображения, масштаб, геодезическая основа (на крупномасштабных картах) и компоновка. С картографической проекцией связана координатная сетка, которая на некоторых картах отсутствует, если карта является схемой или изображает небольшую территорию, и эта карта не предназначена для измерений.

*Картографическое изображение*, т.е. содержание карты – основной элемент любой географической карты. Оно состоит из физико-географических элементов (гидрография, рельеф, растительность и грунты) и социально-экономических (населенные пункты, пути сообщения и средства связи, объекты экономики и культуры, политическое и административного деления).

*Вспомогательное оснащение* – легенда (условные обозначения и текстовые пояснения к ним), картографические графики для измерений по картам, справочные данные (название карты, автор, редактор, использованные источники, издательство, место и год издания и др.).

*Дополнительные данные* – карты-врезки, профили, текстовые и цифровые данные, диаграммы, графики, фотографии, таблицы, которые поясняют, дополняют и обогащают картографическое изображение.

**Классификация экологических карт.** В качестве *критериев классификации* экологических карт используются различные признаки и их сочетания. Классификации могут быть основаны на обобщении фактически существующих картографических материалов либо на теоретических предположениях.

На высших уровнях классификации применяются универсальные критерии:

- содержательная концепция;
- степень интеграции информации (частные и общие, аналитические и синтетические, элементарные и комплексные карты);
- временные аспекты (карты современного состояния, потенциальных состояний, ретроспективные, прогнозные).

Основные критерии классификации карт включают:

- тематическое содержание;
- функции;
- целевое назначение.

Вторичные критерии – масштаб, территориальный охват, временная частота (повторяемость), технология составления, форма разработки и картографического представления.

В зависимости от приёмов исследования карты могут быть:

- аналитическими (показывающими отдельные стороны процесса без отражения взаимосвязей с другими его сторонами);
- синтетическими (дающими целостную характеристику процесса и учитывающими структуру и связи составных частей картографируемого объекта);
- комплексными (отображающими одновременно несколько свойств явления, но раздельно, каждое в своих показателях).

Деление карт по тематике – один из самых распространенных подходов при систематизации массива экологических карт.

Л. Е. Смирнов (1994) делит карты на следующие виды, содержащие ряд разновидностей:

- состояния природной среды (карты оценки природной среды и неблагоприятных условий; карты, предупреждающие о риске стихийных бедствий; карты нарушений состояния природной среды);
- охраны природы (карты заповедных территорий и карты природоохранных мероприятий);
- природопользования (представлены одной разновидностью – картами использования земель).

Учёные Института географии Сибирского отделения Российской академии наук предлагают следующие классы экологических карт:

- факторов и условий среды (физико-географические карты, характеризующие условия жизнедеятельности; карты природно-ресурсного и экологического потенциала территорий; устойчивости геосистем);
- процессов (распространения загрязнений, миграции, эрозии, опасных природных явлений);
- состояний (современного и прогнозируемых, в том числе карты антропогенных изменений);
- карты проблем (остроты экологических ситуаций);
- карты организации охраны природы и ресурсопользования (контроля и управления природопользованием).

Функциональное деление экологических карт, проведенное С. Е. Сальниковым (1993), предусматривает 4 основные группы:

- инвентаризационные (констатационные) карты – фактологические, показывающие состояние и нарушение природной среды в конкретных качественных и количественных характеристиках;
- оценочные карты, содержащие оценки состояния и нарушений природной среды по соответствующим нормам и нормативным показателям по отношению к человеку и биоте в целом как основному экологическому «субъекту»;

- оценочно-прогнозные (прогнозные) карты, содержащие прогноз состояния и оценку прогнозируемого состояния природной среды вследствие планируемых или проектируемых воздействий с учетом природных свойств ландшафтов;

- рекомендательные карты, направленные на оптимизацию и гармонизацию отношений в природной среде, предотвращение или смягчение неблагоприятных явлений и их последствий.

Классификация экологических карт *по назначению* предложенная В. И. Стурманом (2003):

- карты для научно-исследовательских работ природоохранной направленности (с дальнейшим подразделением сообразно структуре научных дисциплин об окружающей среде и её охране);

- карты для практической природоохранной деятельности (в том числе инвентаризационно-оценочные, прогнозные, рекомендательные, контрольные);

- карты для экологического просвещения, образования и воспитания.

Обобщая существующий опыт, в качестве примера можно привести классификацию экологических карт Л. М. Короткого, охватывающую практически всю совокупность их важнейших характеристик. Им выделены следующие группы карт:

- по направлению – антропоцентрические и биоцентрические;
- по полноте охвата связей – частные, комплексные;
- по содержанию – карты факторов или условий, процессов, состояния, проблем и ситуаций, организации охраны природы и ресурсопользования;

- по характеру представления информации и уровню анализа – инвентаризационные, оценочные, прогнозные, рекомендательные;

- по предназначению – базовые, оперативные;

- по ячейке картографирования – карты административных единиц, ландшафтов, бассейнов, природно-хозяйственных, экологических или ресурсных ареалов, без ячейки.

- по пространственному уровню, масштабу – локальные (1:1 000 – 1:25 000), межрегиональные (1:50 000 – 1:200 000), макрорегиональные (1:250 000 – 1:2 500 000), глобальные (мельче 1:5 000 000);

- по категории пользователей – научно-поисковые, производственные;

- по способу представления информации – бумажные, электронные.

### 3.3. Картографические способы изображения, применяемые в экологическом картографировании

Картографическая семиотика (картосемиотика) – особый раздел науки, сформировавшийся на стыке картографии и семиотики – лингвистической науки, исследующей свойства знаков и знаковых систем, в рамках которой разрабатывается общая теория систем картографических знаков. В ней изучается довольно обширный круг проблем, касающихся происхождения, классификации, свойств и функций картографических знаков и способов картографического изображения.

Основная задача картографической семиотики – разработка языка карты, т. е. знаковой системы, включающей условные обозначения, способы изображения, правила их построения, употребления и чтения при создании и использовании карт.

**Объекты экологического картографирования и их локализация.** Всё множество объективно существующих природных и общественных явлений, отображаемых на картах, с картографической точки зрения, подразделяется на 5 больших групп, в зависимости от характера пространственной локализации:

- явления, локализованные в пунктах (места отбора проб, посты мониторинга, предприятия и города на мелкомасштабных картах), для которых объектом показа являются их точные местоположения и иногда, качественные или количественные характеристики;
- явления, локализованные на линиях (реки, дороги, трубопроводы, различные границы), для которых объекты показа – точные местоположения, качественные и количественные характеристики;
- явления, локализованные на площадях, т. е. присутствующие на одних частях картографируемой территории и отсутствующие на других (предприятия, вырубки, шламохранилища, водоохранные полосы, ООПТ), для которых объектом показа на картах служат районы распространения и, иногда, качественные или количественные характеристики;
- явления сплошного распространения (атмосфера и её характеристики, горные породы и их свойства), для которых объект показа на картах не факт наличия, а пространственная изменчивость качественных или количественных характеристик;
- явления рассеянного распространения, т. е. состоящие из множества мелких объектов, индивидуальный показ которых невозможен (например, биологические виды, посевы сельскохозяйственных культур).

тур), для которых объектом показа также являются, главным образом, территории и плотность распространения.

Графические средства на экологических картах применяются те же, что и на картах иной тематики, – внемасштабные (значковые, буквенные и цифровые), линейные, площадные. При разработке легенд графические средства перечисленных групп реализуются в виде многочисленных графических переменных – элементарных обозначений, различающихся по форме, размеру, ориентировке, цвету, насыщенности цвета, внутренней структуре изображения.

Соотношения типа локализации картографируемых явлений, характера информации (качественный или количественный) и примененных графических средств образуют способы картографических изображений (табл. 3.1).

Таблица 3.1. Система способов картографических изображений (по Стурману В. И., с дополнениями)

Тип локализации явления на местности	Условные обозначения				
	Внемасштабные		Площадные	Линейные	
В пунктах	Значки		-	-	
На линиях	Знаки движения (векторы)	Локализованные диаграммы	-	Линейные знаки	
Сплошное распространение			Картограммы	Качественный фон	
				Изолинии	
		Количественный фон			
Рассеянное распространение		Точечный		Качественный фон	
			Количественный фон		
На площадях		-	Ареалы		
	Псевдоизолинии				
Характер передаваемой информации	Качественный		Количественный		
			Качественный и количественный		

В экологическом картографировании употребляют те же способы картографических изображений, что и в других тематических областях; специфика заключается лишь в содержательных особенностях картографируемых явлений.

**Картографические способы изображения, применяемые в экологическом картографировании.** Для показа размещения, качественных и количественных характеристик экологических показателей, их взаимосвязей и динамики используются традиционно наиболее употребительные способы картографического изображения: значки (внемасштабные знаки), линейные знаки, изолинии, качественный фон, ареалы, картограммы и картодиаграммы; реже употребляются точечный способ, линии движения, локализованные диаграммы. Теоретически возможно применение способа количественного фона, однако, как показано ниже, особенности объектов экологического картографирования не создают благоприятных предпосылок для употребления этого способа.

Чтобы грамотно выбирать способы изображения для того или иного объекта экологического картографирования, специалист, занимающийся составлением карт, должен хорошо представлять возможности и пределы применения каждого способа.

*Способ значков* используется для передачи планового положения, количественных и качественных характеристик объектов, по своим размерам не выражающихся в масштабе карты, но имеющих чёткую точечную локализацию. Форма и цвет значка чаще всего несут качественную информацию об изображаемом объекте, а размер и внутренняя структура – количественную информацию.

В экологическом картографировании значками обозначаются пункты мониторинга и места отбора проб, места обитания редких видов флоры и фауны, памятники природы и другие небольшие по геометрическим размерам, но важные для содержания карт объекты. На мелкомасштабных картах структурными значками обозначаются объёмы и состав выбросов и сбросов загрязняющих веществ от городов и крупных промышленных объектов, либо перечень и степень остроты экологических проблем городов.

*Способ линейных знаков* используется для передачи линий в их геометрическом понимании: границ, береговых линий, тектонических нарушений. Иногда этот способ путают со способом знаков движения. Необходимо отметить особенность способа линейных знаков: он должен показывать либо линии, реально существующие в природе (например, реки, дороги), либо линии протяжённости вытянутых статичных или динамичных объектов (хребты на орографических картах). Перемещение динамичных объектов (например, атмосферных фронтов) можно передавать системой линейных знаков, отнесенных к раз-

ным датам. В целом линейные знаки как способ изображения следует отличать от линий как изобразительных средств, относящихся к другим способам изображений (изолинии, границы ареалов и выделов).

Линейные знаки могут передавать количественные и качественные характеристики. Количественные показатели (среднегодовой расход воды в реках) передаются с помощью ширины линии или полосы, а качественные (принадлежность к бассейну реки или моря) – структурой линии, цветом. Ориентировка линейных знаков отображает реальное положение линии на местности.

В экологическом картографировании способ линейных знаков употребляются для показа линейных источников воздействия на окружающую среду: автомобильных и железных дорог, трубопроводов, ЛЭП и иных транспортных коммуникаций, а также линейно вытянутых реципиентов воздействий, таких как реки, в том числе с характеристикой качества воды и состояния экосистем.

*Способ качественного фона* используется для качественной характеристики явлений сплошного (почвы, геологическое строение, ландшафты) или, реже, рассеянного распространения (население, народы). При его использовании территория делится на качественно однородные контуры (выделы), которые окрашиваются или штрихуются в соответствии с качественной характеристикой.

Графическим средством в данном способе могут служить цвет (ровные фоновые окраски разных цветовых тонов, разных степеней светлоты, насыщенности), полутона, штриховки различных рисунков и интенсивности, заполняющие обозначения, буквенно-цифровые индексы (но из-за малой наглядности они широкого распространения не получили и применяются главным образом как дополнительное обозначение, разновидность пояснительной подписи).

Границы выделенных контуров при реализации этого способа могут быть барьерными, чёткими, т.е. при переходе через них качественный признак меняется резко. Но чаще бывает так, что выделенная граница бывает переходной, условной, т.е. изменение качества происходит постепенно. В последнем случае давать рисунок границ между участками чётким линейным знаком нецелесообразно, лучше использовать полосчатую окраску.

В экологическом картографировании способ качественного фона один из самых употребительных. Он образует основное содержание на картах оценки экологических ситуаций, используется на комплексных экологических картах для показа распространения ландшафтов и ха-

рактера использования земель, устойчивости ландшафтов к техногенным нагрузкам и т. п.

Способ *количественного фона* применяется для показа количественных характеристик. Однако в природе практически отсутствуют такие явления, которые имели бы одинаковые количественные значения в пределах каких-то контуров и резко меняли их на границах.

*Способ изолиний.* Изолинии, т.е. линии, соединяющие точки с одинаковыми значениями каких-либо количественных показателей, используются для количественной характеристики сплошных и постепенно изменяющихся в пространстве явлений, таких как температура воздуха, количество осадков, рельеф. С точки зрения использования изобразительных средств, здесь преобладают линии различных структур, цветов и ширины, и площадные фоны для послойной окраски промежутков между определенными изолиниями – ровные фоновые окраски либо штриховки на черно-белых картах.

Подбор цветов для послойной окраски должен учитывать содержание картографируемых явлений. Так, на гипсометрических картах используется шкала, которая дает зрительную иллюзию приближения высоких ступеней. В экологическом картографировании принят «принцип светофора» – сочетание оттенков зелёного, жёлтого и красного цветов, сменяющих друг друга по мере обострения экологической обстановки. При необходимости шкалу дополняют синими и голубыми тонами для наиболее чистых мест, оранжевыми или розовыми для промежуточных ступеней и бордовыми для самых неблагоприятных.

К числу достоинств способа изолиний также относится его простота и доступность. На картах, построенных с помощью данного способа, легенды бывают очень просты по содержанию и обычно сводятся к шкалам.

Способ изолиний очень удобен для применения количественных методов обработки, преобразования и анализа картографических изображений: определения характеристик заданных контрольных точек и расчета статистических зависимостей и эмпирических уравнений, сложения и вычитания изолиний, разложения на составляющие и др. Поэтому с помощью данного способа могут передаваться и явления, по своему содержанию неподходящие или малоподходящие для данного способа. Для количественной характеристики явлений, имеющих ограниченное по площади распространение (например, источники выбросов и сбросов), могут быть использованы *псевдоизолинии*. Псевдоизолинии как бы распространяют дискретные явления (выбросы и сбросы) на всю площадь

картографирования и таким образом приводят их к виду, удобному для сопоставления с другими количественными характеристиками.

В экологическом картографировании способ изолиний – один из наиболее употребительных. С его помощью картируют многочисленные физико-географические параметры, частные и общие количественные характеристики загрязнения и устойчивости компонентов природной среды к загрязнению, интенсивность геодинамических процессов и др.

*Способ ареалов* используется для передачи области распространения явлений, имеющих ограниченное по площади распространение, причем в пределах этой площади картографируемое явление может быть дискретным (т. е. встречаться в изолированных пунктах и на участках), сплошным или рассеянным. Главное отличие способа ареалов от способа качественного фона: во-первых, – тип локализации, во-вторых, – необязательность рисовки границ. По отношению к используемым условным обозначениям способ ареалов универсален: он может быть реализован с помощью внемасштабных рисунков (не имеющих четкой координатной привязки), линейных или площадных обозначений и даже буквенно-цифровых индексов. Способ ареалов в «чистом виде», как правило, не несёт информации о конкретных качественных или количественных характеристиках, он отображает форму и местоположение площади распространения картографируемого явления, поэтому с определенной долей условности характер передаваемой информации можно считать качественным.

В экологическом картографировании способ ареалов применяется по своему прямому назначению: для показа ареалов биологических видов, особо охраняемых природных территорий, участков распространения определенных видов загрязнения, геодинамических процессов.

*Точечный способ* используется для передачи явлений рассеянного распространения (сельское население, поголовье скота, посевные площади). Изобразительным средством является множество точек одинакового размера, каждая из которых имеет определенный «вес» – значение количественного показателя.

В экологическом картографировании точечный способ пока практически не нашел применения. Возможно его использование для показа распространения редких и охраняемых либо опасных для человека видов.

*Способ локализованных диаграмм* используется для передачи на карте сезонной или иной динамики явлений, имеющих сплошное или

линейное распространение. Динамика явлений изображается с помощью графиков или диаграмм, характеризующих явление в пунктах его изучения.

В экологическом картографировании способом локализованных диаграмм передается сезонная, межгодовая или иная изменчивость показателей заболеваемости, концентрации отдельных веществ, общих уровней загрязнения атмосферы или гидросферы, условия рассеяния или потенциала самоочищения.

У способов значков и локализованных диаграмм есть общая черта: рисунки, выражающие количественные и качественные особенности объектов, на карте оказываются привязанными к точке. Однако при использовании способа значков этой точкой является пункт фактической локализации явления, а при использовании способа локализованных диаграмм – пункт наблюдения за явлением (метеостанция, гидропост и т. п.).

*Способ картодиаграмм* предполагает изображение суммарной величины каких-либо явлений с помощью графиков или диаграмм, помещаемых внутри единиц территориального деления, чаще всего административного. При использовании этого способа карта в целом показывает распределение явления по исследуемой территории. Тип локализации явления в данной ситуации может быть любым, но с учетом жесткой привязки количественной информации к площади административно-территориальной или какой-либо другой ячейки. Условно его можно считать ограниченным по площади.

Картодиаграммы, также как и картограммы, географически несовершенны по содержанию, поскольку не позволяют отражать различия характеристик внутри территориальных единиц и создают иллюзию резких перепадов на их границах. Однако картодиаграммы очень легко и быстро поддаются автоматизированному построению и их использование оправдано, если требуется быстро получить территориальное распределение статистических данных. По своему содержанию этот способ можно рассматривать как статистическую таблицу, наложенную на схематическую карту.

Несмотря на отмеченные недостатки, способ картодиаграмм пользуется широким распространением в экологическом картографировании, особенно в официальных изданиях. Картодиаграммами показываются объемы выбросов и сбросов, количество отходов, объемы внесения удобрений и пестицидов и т. д., заболеваемость по единицам территориального деления.

*Картограммы* графически передают среднюю интенсивность какого-либо явления (т. е. количественную характеристику) в пределах определенных территориальных единиц, чаще всего административных, не связанных с действительным распространением этого явления в природе. Таким образом, тип локализации отображаемого явления может быть любым: точечным, линейным, сплошным, рассеянным, ограниченным по площади, но графическая интерпретация «привязывает» количественную информацию к ограниченной площади, по аналогии со способом картодиаграмм.

*Знаки движения* (линии движения, векторы) используются для показа перемещений объектов различной локализации. Движение точечных объектов создает линию (например, маршрут экспедиции), движение воздушных масс образует сплошное повсеместное перемещение в пространстве, миграция животных имеет рассеянный характер распространения, океанические и морские течения создают перемещение, ограниченное по площади.

Основным средством при передаче такого рода информации являются векторы (стрелки) разных форм и величины, которые могут нести качественные и количественные характеристики. Локализация векторов может показывать и реально существующие линии передвижения, в частности если они даются параллельно путям сообщения, и абстрактные, например: связи культурные, финансовые и т. п. Ориентировка векторов в этой ситуации определяется фактическим направлением движения (реальным или абстрактным).

Качественные характеристики передаются с помощью формы, цвета и структуры вектора, а количественные – с помощью размеров (длины и ширины).

В экологическом картографировании способ знаков движения употребляется сравнительно редко. С его помощью чаще передаются направления распространения загрязняющих веществ, пути миграции животных.

**Надписи на экологических картах.** Надписи – важный элемент содержания, присущий всем географическим картам, за исключением немых. Они поясняют изображаемые объекты, обозначают их количественные и качественные характеристики, дают справочные сведения.

Все надписи подразделяются на три группы: топонимы, термины и пояснительные надписи.

Топонимы – собственные географические названия (имена) объектов (оронимы, гидронимы, зоонимы и др.).

Термины – понятия, определяющие роль географического объекта (например, возвышенность, залив, область и т. п.).

К пояснительным надписям относятся: качественные характеристики («берёза», «ель», «деревянный»), количественные характеристики (абсолютные и относительные высоты, глубины и др.); хронометрические надписи (даты основания, наступление каких-либо явлений); пояснения к знакам движения («Бразильское течение», «из России (Торжка)»); оцифровка меридианов и параллелей и пояснения к линиям координатной сетки («Южный полярный круг», «Северный тропик»).

Определение оптимального количества надписей, правильное их размещение и написание – важная задача составителя карты. Отбор надписей определяется назначением, тематикой, масштабом карты и характером картографируемой территории.

Надписи на картах могут различаться характером шрифта, набора, размером букв, цветом, выделением заглавных букв. Обычно размером шрифта определяют величину или относительное значение объектов (например, крупный промышленный пункт), формой и цветом шрифта отображают качественные различия объектов.

Надписи следует правильно размещать: они не должны закрывать условные знаки и по возможности не пересекать контуры, не быть перевернутыми и хорошо читаться на цветном фоне и т. п.

### **3.4. Использование ГИС-технологий в визуализации экологической информации**

Географическая информационная система (ГИС) или Geographic Information System (GIS) – это совокупность технических, программных и информационных средств, обеспечивающих ввод, хранение, анализ и графическую визуализацию пространственных (географических) данных и связанной с ними информации (атрибутивных данных) о необходимых объектах.

ГИС должны выполнять следующие основные функции:

- функции автоматизированного картографирования;
- функции пространственного анализа;
- функции управления данными.

Функции автоматизированного картографирования обеспечивают работу с картографическими данными ГИС с целью их отбора, обнов-

ления и преобразования для производства высококачественных карт и рисунков.

Функции пространственного анализа обеспечивают совместное использование и обработку картографических и атрибутивных данных в интересах создания производных картографических данных и выполнения пространственного анализа.

Функции управления данными должны обеспечивать работу с атрибутивными (неграфическими) данными ГИС с целью их отбора, обновления и преобразования для производства стандартных и рабочих отчетов.

Наиболее широкие перспективы в области компьютерной визуализации экологической информации предоставляет возможность проведения *пространственного анализа* с помощью ГИС.

Типовой набор ГИС-инструментов включает создание слоев пространственной информации по исследуемой территории, визуализацию, редактирование, комбинирование и анализ, создание и редактирование легенд и таблиц атрибутивных данных (например, высота зданий, тип дорожного покрытия, вид растительности и т. д.), построение диаграмм, оформление компоновок карт.

Использование ГИС также обеспечивает традиционный анализ таблиц: запросы, сортировки, выборки. В целом пользователь получает мощный инструмент по визуализации результатов и выполнению пространственных запросов. Очень удобно, перемещаясь по записям в таблице, сразу отображать на карте объект, соответствующий текущей записи. Используя механизм создания тематических карт, можно составлять любые картограммы – типов почв, видов растительности и т. д. Выделение цветом по тем или иным параметрам позволяет сразу увидеть критические места на изучаемой территории, например, превышение концентрации выбросов загрязняющих веществ, свалки отходов и т. д.

Типовые задачи по анализу территории, решаемые с помощью ГИС, можно сгруппировать следующим образом:

- Автоматизированное отображение позиции геообъекта на местности. ГИС размещает заданный географический объект на местности согласно введенным в компьютер данным по географическим координатам – географической широте и долготе с учетом географической проекции. Например, карта расположения мини-полигонов отходов по административным областям Республики Беларусь.

- Автоматизированное построение тематических ГИС-картограмм по значениям атрибутов геообъектов. ГИС выполняет автоматизированное построение тематических картограмм по любым значениям как всех, так и выбранных геообъектов. Например, автоматизированное построение масштабируемых пунсонов городов в зависимости от общей численности населения в них.

- Автоматизированное построение тематических ГИС-карт характеристик плотности в виде изолиний или непрерывных гряд-поверхностей. Например, построение карт плотности радиационного загрязнения территории.

- Автоматизированный расчет расстояний, площадей, периметров, буферных зон геообъектов. Например, расчет площадей земельных участков, их периметров.

- Автоматизированный поиск места по критериям для размещения любого техногенного объекта. ГИС выполняет автоматизированное сложение и вычитание полигонов, позволяющее «шаг за шагом» оценивать по установленному списку критериев условия местности. Например, поиск места для размещения электростанции или склада удобрений

- Автоматизированное построение моделей рельефа с выделением водосборных территорий, расчетов уклонов, экспозиций, отмывок.

- Автоматизированные расчеты маршрутов передвижения всех видов транспортных средств с отслеживанием позиции в режиме реального времени.

- Классификация состояния территории по поверхностям, например, по растровым моделям, космоснимкам.

Обобщая, можно сказать, что создание ГИС позволяет решать несколько классов задач. Первым, наиболее распространенным классом задач являются информационно-справочные задачи, которые позволяют осуществлять поиск и уточнение местоположения и характеристик интересующих геообъектов.

Второй класс – это задачи анализа, моделирования и прогнозирования природных и техногенных процессов. Решение этих задач позволит в удобной и наглядной картографической форме (на мониторе или на бумажном носителе) получать обобщенную или детализированную информацию. Примерами компьютерного моделирования могут быть карты зонирования (например, урожайности сельскохозяйственных культур или др.) или моделирование зон затопления при очень высоком уровне воды в реке, моделирование аварийных разливов и их вли-

яние на объекты инженерно-транспортной инфраструктуры в зоне возможного затопления и многие другие.

Важным прикладным аспектом ГИС для экологических целей является возможность проведения всевозможных расчётов. Например, функция вычисления уклона используется для определения риска эрозионных процессов; функция вычисления экспозиции склонов полезна при определении участков под конкретные сельскохозяйственные культуры; функция отмывки рельефа используется как для реалистичного отображения поверхности рельефа, так и для анализа освещённости местности в различное время дня и др.

**Программная реализация ГИС:** ArcGIS (ArcMap), MapInfo, а также альтернативные ГИС с открытым исходным кодом (свободное программное обеспечение): QGIS, gvSIG, GRASS и др.

ArcGIS – комплекс геоинформационных программных продуктов американской компании ESRI. Семейство программных продуктов компании ArcGIS получило широкое распространение в мире и, в частности, в СНГ. Название ESRI – это аббревиатура от Environmental Systems Research Institute, что переводится как «Институт исследования систем окружающей среды». ArcGIS Pro – это многофункциональное программное обеспечение, которое поддерживает визуализацию данных в 2D, 3D и 4D, позволяет проводить их расширенный анализ. Применяются главным образом для земельных кадастров, в задачах землеустройства, учёта объектов недвижимости, систем инженерных коммуникаций, геодезии и недропользования, а также в других областях. Широкие возможности пространственного анализа и обширный набор инструментов для создания картографических материалов предопределили возможность использования ArcGIS и в экологическом картографировании.

MapInfo Pro – ГИС, предназначенная для сбора, хранения, отображения, редактирования и анализа пространственных данных. Локализованная версия, производится в России. MapInfo Pro поддерживает все распространённые форматы данных, включая офисные форматы, такие как Microsoft Excel, Access, форматы реляционных и пространственных баз данных (Oracle, Microsoft SQL Server, PostGIS, SQLite), форматы графических данных (AutoCAD DXF/DWG, SHP, DGN) и многие другие. Инструментарий MapInfo Pro для создания и редактирования графических и табличных данных позволяет быстро и удобно вносить изменения как на картах, так и в семантические данные. Инструменты анализа позволяют делать пространственные запросы,

оверлейные операции, строить буферные зоны. Встроенный мастер публикации данных с возможностью настройки совместного доступа упрощает задачу обмена информацией.

QGIS (первоначально известная как Quantum GIS) – свободная кроссплатформенная ГИС, работает в Windows и в большинстве платформ Unix, поддерживает множество векторных и растровых форматов и баз данных, а также имеет богатый набор встроенных инструментов. Возможности данной ГИС включают просмотр, исследование данных и компоновку карт, управление данными (создание, редактирование и экспорт в разные форматы), анализ данных и возможность публикации карт в интернете.

### **3.5. Визуализация экспериментальных данных о миграции тихоокеанской сайры в период нагула в районе Курильских островов и Охотского моря**

Важными свойствами живых организмов являются рост, развитие и изменение во времени и пространстве. В. Н. Филатов исследовал миграции тихоокеанской сайры в период нагула в районе Курильских островов и Охотского моря (2004). На примере его работы рассмотрим применение возможностей компьютерной визуализации для представления данных из жизни животных.

Тихоокеанская сайра *Cololabis saira* (Brevoort) широко распространена в северной части Тихого океана (рис. 3.1). При этом наиболее плотные скопления ее косяков формируются в летне-осенний период в водах, прилегающих к Курильским и Японским островам, где ведется их промышленный лов. Тихоокеанская сайра совершает очень протяженные миграции из мест нереста в районы нагула и обратно. Расстояние только в одну сторону может превышать 1500 миль. В период нереста взрослые особи вместе с молодью постепенно смещаются с водами Куроиси от побережья о. Хонсю на восток. С наступлением весны начинается их перемещение к северу. При этом еще неотнерестовавшие особи, достигшие двухлетнего возраста и размеров 30–35 см, продолжают нереститься в водах Куроиси. После нереста взрослая часть популяции элиминирует. Молодь сайры, родившаяся год назад, к этому времени достигает размеров 18–24 см. С вихрями Куроиси она смещается к северу и северо-востоку. К маю-июню первые косяки сайры подходят к субарктическому фронту и пересекают его,

проникая в более богатые планктоном субарктические воды, где начинается интенсивный нагул.

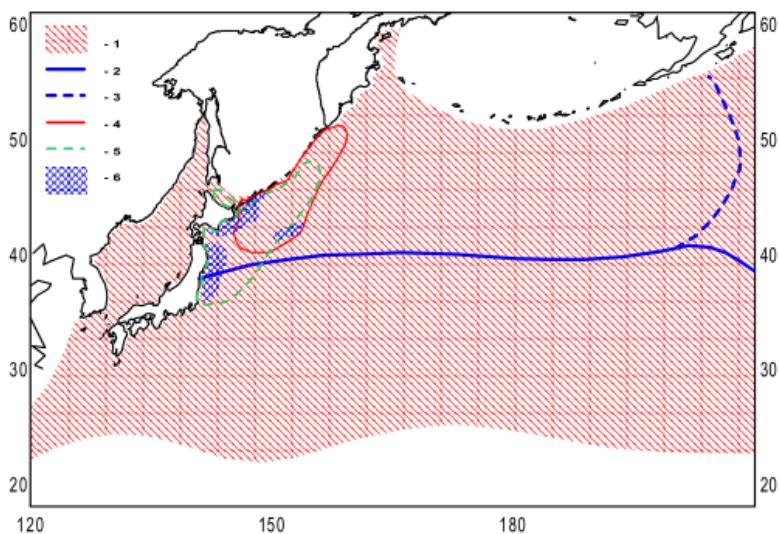


Рис. 3.1. Распределение тихоокеанской сайры в Тихом океане (Парин, 1967; с дополнениями): 1 – ареал, 2 – граница нерестовой части, 3 – граница выселения молоди, 4 – граница акватории промысла флотом России (1970–2003 гг.), 5 – граница акватории промысла флотом Японии (1970–2003 гг.), 6 – районы устойчивых скоплений сайры

Переход сайры в эти воды продолжается в течение всего лета. В июле-августе сайровые косяки появляются у Курильских островов и у берегов Камчатки. Сайра заходит в Берингово море, где в отдельные годы достигает Олюторского залива.

В сентябре с усилением течения Ойясио сайра с его водами смещается в юго-западном направлении продолжая нагул. В дальнейшем смещение происходит в районы основного нереста популяции тихоокеанской сайры у южной оконечности о. Хонсю, пересекая субарктическую фронтальную область.

В описанной схеме миграций тихоокеанской сайры, по мнению В. Н. Филатова, недостаточно освещена роль Охотского моря, несмотря на то что сайра в нем обитает, а в южной части моря японские и российские рыбаки в некоторые годы имеют существенные уловы. Кроме того, нет ясности в вопросе миграций многочисленных косяков сайры, обнаруживаемых и облавливаемых промысловыми судами в

ноябре и декабре в океанических участках района Курильских островов, когда значительная часть популяции уже нерестится у о. Хонсю.

Целью исследований В. Н. Филатова являлось уточнение схемы миграций тихоокеанской сайры в Охотском море и перемещения той части ее популяции, которая оказывается вне районов основного воспроизводства.

Исходными данными для этой работы явились: материалы траловых пелагических съемок научно-исследовательских судов в Охотском море в июле-ноябре 1989–2001 гг.; данные визуальных наблюдений поисковых и промысловых судов в районе центральных и северных Курильских островов, а также на акватории Охотского моря в августе-ноябре 1987–1990 гг.; данные по распределению скоплений и уловов сайры российских и иностранных судов в районе южных Курильских островов с 1981 по 2003 г.; распределение поверхностной температуры и положение основных гидрологических образований (поверхностных фронтов, водных масс и вихрей) в летне-осенний период 1987–2003 гг.; данные по размерному составу и физиологическому состоянию (жирности) сайры в период нагула из уловов добывающих и научно-исследовательских судов с 1987 по 1990 г. и с 1998 по 2003 г.

Результаты проведенных исследований выявили ранее не описанные перемещения косяков сайры. С учетом выводов В. Н. Филатова схема миграций тихоокеанской сайры в нагульный период в субарктических водах должна включать следующие части:

- перемещение косяков из трансформированных субтропических вод в субарктические воды Камчатско-Курильского течения и течения Ойясио и распространение их вдоль всей Курильской гряды и юга Камчатки;
- выход сайровых косяков в Охотское море и распространение по его акватории согласно генеральной схеме течений;
- смещение сайровых косяков с тихоокеанской стороны с водами Камчатско-Курильского течения и течения Ойясио вдоль Курильских островов в юго-западном и южном направлении;
- накопление сайры в южной части Охотского моря и возможное смешение с сайрой Японского моря;
- выход сайровых косяков через южные Курильские проливы в Тихий океан и смешение с сайровыми косяками, нагуливавшимися в водах течения Ойясио;

- смещение косяков сайры с водами течения Ойясио в юго-западном направлении вдоль побережья островов Малой Курильской гряды и Японских островов.

- смещение сайровых косяков из зоны второй и третьей ветвей Ойясио, а также вод Камчатско-Курильского течения в юго-западном, юго-восточном и восточном направлении с последующим выселением их части в центральные области Тихого океана.

Описанная выше схема миграций тихоокеанской сайры существенно дополняет схему миграций сайры Косака (Kosaka, 1986) (рис. 3.2).

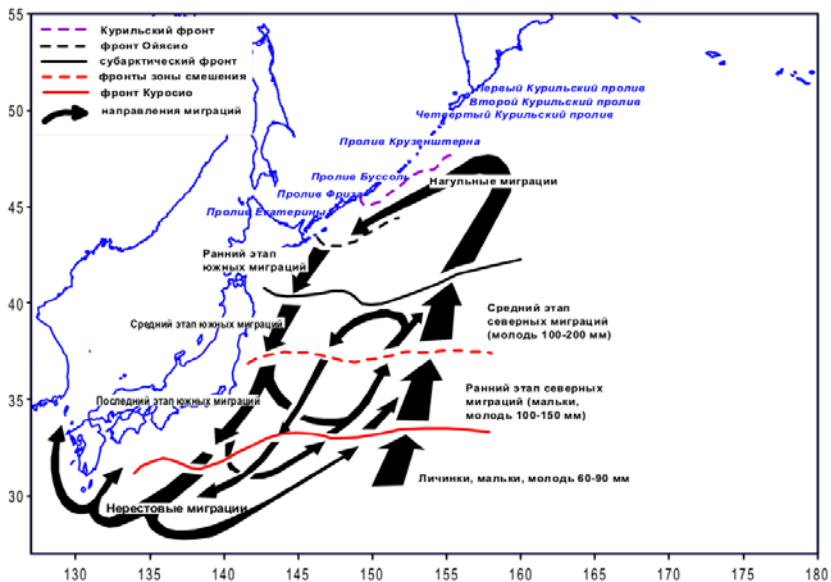


Рис. 3.2. Схема миграций тихоокеанской сайры в северо-западной части Тихого океана (Kosaka, 1986; с дополнениями В. Н. Филатова)

Для улучшения качества прогнозов сезонного масштаба вылова и более объективной оценки общего допустимого вылова тихоокеанской сайры в российских водах и за их пределами В. Н. Филатов считает целесообразным планировать изучение особенностей распределения косяков в Охотском море, их сезонную и межгодовую изменчивость; масштаба перемещений сайровых косяков в Охотское море из Тихого океана и Японского моря, а также в обратном направлении.

### **3.6. Визуализация экспериментальных данных об оценке пространственного распределения гумуса в почве при помощи различных методов интерполяции на основе ГИС**

Живые компоненты экологических систем существуют в тесном контакте с окружающей их средой. В статье Т. Н. Мысльвой, О. А. Куцаевой, А. А. Подлесного «Сравнение эффективности методов интерполяции на основе ГИС для оценки пространственного распределения гумуса в почве» (2017) проанализированы возможности географической информационной системы ArcGIS и оценена их пригодность для прогнозирования пространственного распределения содержания гумуса в 0–20 см слое почвы.

Гумус является одним из главных показателей качества почвы, а также углеродных пулов в наземной экосистеме, и считается важным фактором в экологическом моделировании, прогнозировании состояния окружающей среды, точном земледелии и рациональном управлении земельными ресурсами. Выявление характеристик пространственной структуры содержания гумуса может стать основой для оценки плодородия почв и базой для разработки рациональной политики управления окружающей средой в условиях интенсификации аграрного производства и усиления антропогенного прессинга на биосферу. Знание пространственной неоднородности содержания гумуса в почве может существенно сократить затраты на оценку его запасов и при расчете баланса углерода.

Исходя из этого, существует потребность в получении адекватной информации о пространственно-временном поведении содержания гумуса как в пределах локальных территорий и административных районов, так и в пределах отдельных регионов и природно-территориальных комплексов.

Агрохимические исследования в целом и определение содержания гумуса в почве в частности, являются дорогостоящими и трудоемкими, особенно на этапе выполнения полевых работ, связанных с отбором почвенных образцов. Данный факт является причиной того, что количество отобранных и проанализированных проб грунта часто относительно мало, сосредоточено преимущественно в пределах земель сельскохозяйственного назначения и не отражает фактического уровня вариации, который может присутствовать по отношению к исследуемому показателю, каковым в нашем случае является гумус. Поэтому возникает необходимость в поиске относительно малоресурсозатрат-

ных и надежных способов получения актуальных данных об агрохимических свойствах почв. С другой стороны, большой объем экспериментального материала, накопленного в ходе проведения туров агрохимических обследований сельскохозяйственных угодий Республики Беларусь, делает актуальной проблему сравнения и объединения разновременных и разнокачественных результатов.

Традиционные статистические методы для оценки пространственного распределения содержания гумуса в почве использовались различными учеными. Однако классическая статистика не позволяет определить пространственное распределение агрохимического показателя в местах с отсутствием данных о содержании гумуса. Геоэ статистика является эффективным методом изучения пространственного распределения характеристик почвы и их несогласованности и уменьшения дисперсии ошибок оценки и затрат на выполнение агрохимических исследований. Геопространственные методы и сравнение их эффективности при оценке пространственной связи агрохимических свойств почв и географической изменчивости этих характеристик также применялись целым рядом исследователей.

Анализировалась стратифицированная случайная выборка из 92 значений содержания гумуса в пределах территории РУП «Учхоз БГСХА» Горецкого района Могилевской области Республики Беларусь. Использовались данные о содержании гумуса, полученные из материалов агрохимического обследования территории РУП «Учхоз БГСХА», выполненного в 2014 г. УКПП «Могилевская областная проектно-изыскательская станция агрохимизации». Общая площадь обследованной территории составляет 6361,67 га.

Геопространственный анализ данных о содержании гумуса в почве выполнялся с помощью модуля Geostatistical Analyst программного продукта ArcGIS версии 10.2.1.

В исследовании использованы детерминированные (то есть, создающие поверхности из измеренных значений) и геоэ статистические (то есть, использующие для построения поверхности статистические свойства измеренных точек) методы интерполяции. Среди детерминированных методов интерполяции использовались метод взвешенных расстояний (Inverse Distance Weighting, IDW); локальная полиномиальная интерполяция (Local Polynomial Interpolation, LPI) и метод радиальных базисных функций (Radial Basis Functions, RBF), а среди геоэ статистических – простой кригинг (Simple Kriging, SK), ординарный кригинг (Ordinary Kriging, OK), универсальный кригинг (Universal Kriging, UK)

и эмпирический байесовский кригинг (Empirical Bayesian Kriging, EBK).

IDW является одним из наиболее часто применяемых детерминированных методов интерполяции в области почвоведения. Его целесообразно использовать, когда набор точек достаточно плотный, чтобы фиксировать степень локального изменения поверхности, необходимую для анализа. IDW определяет значения ячейки с использованием линейно-взвешенного набора комбинаций точек выборки. Назначенный вес является функцией расстояния от входной точки до местоположения выходных ячеек. Чем больше расстояние, тем меньшее влияние на интерполированную ячейку оказывает выходное значение.

Интерполяция по методу локальных полиномов генерирует множество полиномов, каждый из которых подбирается к определенной перекрывающейся окрестности. Окрестность поиска может быть определена размером и формой, числом соседей известных значений и конфигурацией сектора поиска. Интерполяция по методу локальных полиномов чувствительна к размеру окрестности поиска, а небольшие окрестности поиска могут создавать на интерполируемой поверхности пустые области. Очень часто данный метод интерполяции используют при интерполировании значений на поверхности с изменчивой формой рельефа.

Радиальные базисные функции (RBF) представляют собой жесткие интерполяторы, которые создают сглаженные поверхности. Они дают хорошие результаты для плавно меняющихся значений. Поскольку интерполяторы являются жесткими, радиальные базисные функции могут быть локально чувствительны к выпадающим значениям (то есть поверхность будет содержать локально высокие или низкие значения). Метод RBF представляет собой семейство из пяти методов детерминированной точной интерполяции: тонкоплеченный сплайн (TPS), сплайн с напряжением (SPT), полностью регуляризованный сплайн (CRS), многокватричная функция (MQ) и обратная многокватричная функция (IMQ). Метод RBF подходит к поверхности через измеренные значения проб при минимизации общей кривизны поверхности и неэффективен, когда происходит резкое изменение значений поверхности на коротких расстояниях. В данном исследовании был выбран наиболее широко используемый RBF, которым является CRS.

Ординарный кригинг (OK) предполагает, что по крайней мере часть пространственных вариаций, наблюдаемых в природных явлении-

ях, можно смоделировать при помощи случайных процессов с использованием пространственной автокорреляции. Приемы работы кригинга могут быть использованы для описания и моделирования пространственных структурных закономерностей, предсказания значений в неизмеренных местоположениях, оценки погрешности, связанной с прогнозируемым значением в неизмеренных местоположениях.

В качестве основного инструмента для изучения структуры пространственного распределения содержания гумуса в почве использовались семивариограммы. Эмпирические семивариограммы, полученные из экспериментальных данных, сравнивались с теоретическими вариограммами для получения таких геостатистических параметров, как дисперсия самородка ( $C_0$ ), структурированная дисперсия ( $C_1$ ), дисперсия порогов ( $C_0 + C_1$ ) и параметр расстояния ( $\lambda$ ). Для характеристики пространственной зависимости значений содержания гумуса в почве рассчитывалось отношение дисперсии самородков к дисперсии порогов  $C_0/(C_0 + C_1)$ . Величина данного отношения менее 25 % указывает на сильную пространственную зависимость, более 75 % – на слабую пространственную зависимость; при 25 %  $> C_0/(C_0 + C_1) < 75$  % пространственная зависимость является умеренной.

Универсальный кригинг (УК) используется тогда, когда предполагается, что в данных имеется какая-либо доминирующая тенденция (тренд), которую можно смоделировать с помощью детерминистической полиномиальной функции. Он может использовать либо вариограммы, либо ковариации (математические формы, используемые для выражения автокорреляции), применять преобразования и учитывать погрешность измерения. Преимуществом кригинга является то, что он дает не только интерполированные значения, но и оценку возможной ошибки этих значений.

Простой кригинг (СК) предполагает использование для интерполирования значений той же модели, что и кригинг универсальный, однако, в его случае вместо некоторой детерминированной функции, описываемой полиномом второго порядка, используют известную константу.

Эмпирический байесовский кригинг (ЕВК) отличается от других методов кригинга использованием внутренней случайной функции в качестве модели кригинга. В ЕВК можно анализировать эмпирическое распределение оценок параметров, поскольку в каждом местоположении рассчитывается множество вариограмм. Процесс ЕВК неявно предполагает, что оценочная полувариантность является истинной

вариограммой для интерполяционной области и линейным предсказанием, которое включает в себя переменное пространственное затухание. В результате получается надежный нестационарный алгоритм пространственных интерполяционных геофизических поправок. Для каждого местоположения интерполяция рассчитывается с использованием новой вариограммы распределения, которая сгенерирована посредством базирующейся на подобии выборке из индивидуальных вариограмм спектров вариограмм в окрестности точки.

Для оценки и сопоставления характеристик различных методов интерполяции использовался метод перекрестной проверки или кроссвалидации. Используемые для интерполирования фактические данные о содержании гумуса в почве были условно разделены на два набора данных, причем один из них использовался для обучения модели, а другой – для проверки модели.

Пространственное распределение содержания гумуса в почвах характеризуется большой неопределенностью, которая может быть результатом:

- 1) пространственных изменений почвенных свойств;
- 2) несовершенства знаний о связях между условиями окружающей среды и содержанием гумуса;
- 3) ограничения региональных наборов данных для представления мелкомасштабной вариабельности почвенных свойств.

Применение модуля «Геостатистический анализ» для пространственного моделирования содержания гумуса в почве предусматривает предварительную оценку исходных данных на предмет их пригодности для целей моделирования. В результате применения инструмента «Анализ данных» данного модуля создается гистограмма распределения данных и исследуется форма их распределения, а также рассчитываются основные статистические характеристики выборки, сведения о которых содержатся в табл. 3.2.

Таблица 3.2. Статистические показатели выборки данных о содержании гумуса, используемой для оценки моделей интерполяции

Число наблюдений	min	max	mid	Sd	Cv	Med	Эксцесс	Асимметрия
92	1,25	3,35	1,93	0,38	19,7	1,92	4,01	0,75

Примечание: Sd – среднеквадратическое отклонение; Cv – коэффициент вариации; Med – медиана.

Предварительная оценка данных позволяет установить необходимость проведения их преобразования. В частности, если распределение данных имеет несколько пиков (экстремумов), то есть данные распределены асимметрично, к ним применяется логарифмическое преобразование, которое приближает распределение к нормальному. В нашем случае выполнение преобразования нецелесообразно, поскольку распределение данных унимодальное, близкое к нормальному, а среднее значение и медиана довольно близки по значениям. Величина коэффициента вариации 19,7 % свидетельствует о том, что выборка данных достаточно однородная.

Инструмент «Анализ тренда» модуля «Геостатистический анализ» позволяет отображать данные в трехмерной перспективе. Местоположения опорных точек наносятся на плоскость  $x, y$ . Уникальной особенностью данного инструмента является то, что значения проецируются на перпендикулярные плоскости  $x, z$  и  $y, z$  в виде диаграмм рассеивания. Затем на проецируемых плоскостях выполняется подгон полиномов с помощью диаграмм рассеивания. Линия наилучшего соответствия (полином), проведенная через проецируемые точки, показывает тренды в определенных направлениях (рис. 3.3).

В нашем случае наблюдается определенный тренд в направлении север–юг. Поскольку тренд имеет U-образную форму, при проведении интерполяции целесообразно использовать полином первого порядка в качестве глобальной модели тренда.

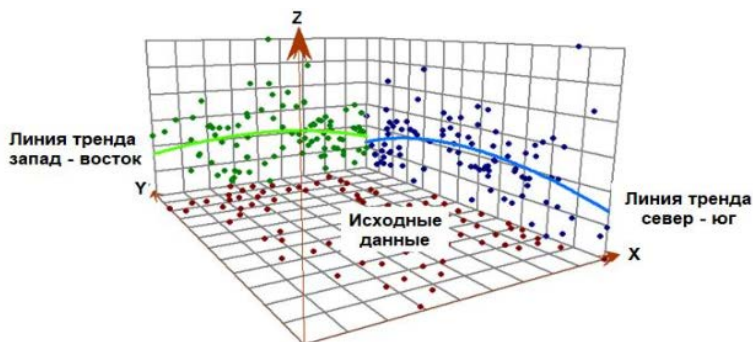


Рис. 3.3. Тренд пространственного распределения содержания гумуса в почве

При оценке моделей интерполяции, созданных с помощью детерминированных, т. е. создающих поверхности из измеренных значений методов, установлено, что наиболее приемлемой является модель, созданная с помощью метода локальных полиномов (рис. 3.4, 3.5, 3.6, 3.7).

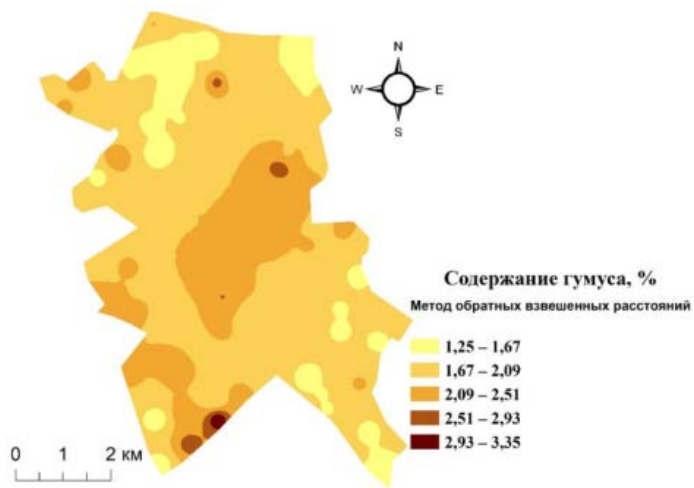


Рис. 3.4. Пространственное распределение гумуса в 0–20 см слое почвы, смоделированное методом IDW

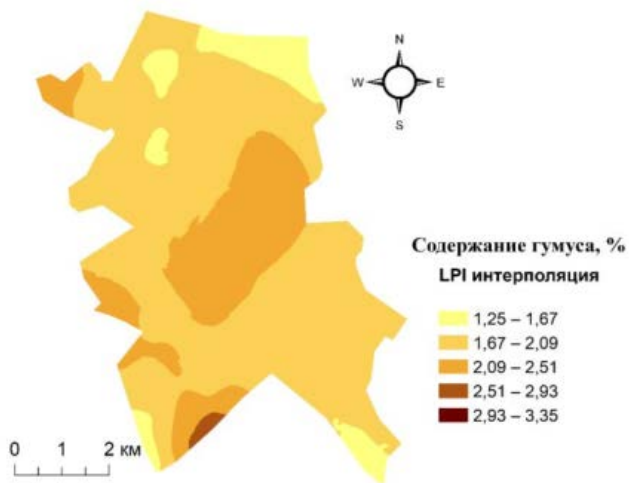


Рис. 3.5. Пространственное распределение гумуса в 0–20 см слое почвы, смоделированное путем интерполяции по методу локальных полиномов

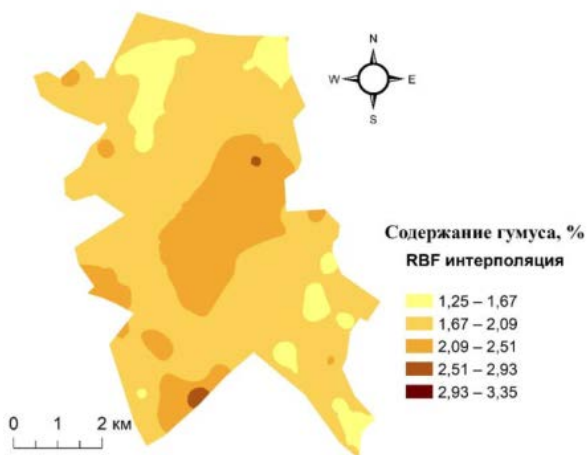


Рис. 3.6. Пространственное распределение гумуса в 0–20 см слое почвы, смоделированное путем интерполяции по методу радиальных базисных функций

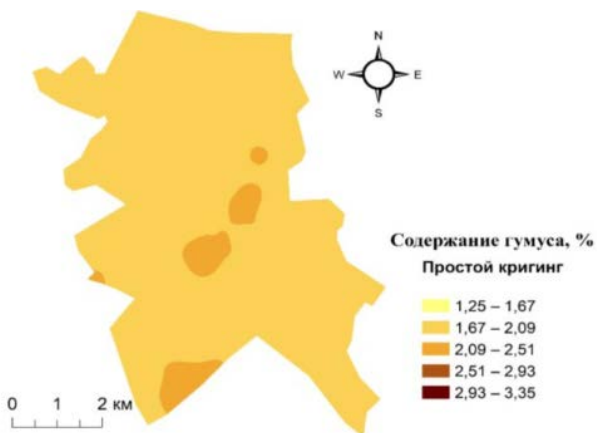


Рис. 3.7. Пространственное распределение гумуса в 0–20 см слое почвы, смоделированное путем интерполяции с помощью простого кригинга

В табл. 3.3 показаны результаты перекрестной проверки прогнозных моделей, генерируемых методами IDW, LPI и RBF. Отметим, что целью перекрестной проверки является принятие обоснованного ре-

шения по поводу того, какая модель обеспечивает самые точные интерполяции. Она дает общие представления о том, насколько хорошо модели прогнозируют неизвестные значения. Перекрестная проверка последовательно пропускает точки в наборе данных и интерполирует значение для местоположения точки с помощью оставшихся данных, а затем сравнивает измеренное и проинтерполированное значения (разница между этими значениями называется ошибкой интерполяции). Статистические величины, рассчитанные по ошибкам интерполяции, используются для диагностики, определяющей правдоподобность модели для принятия решения и создания карты. Именно модель, созданная по методу локальных полиномов, имела наименьшие значения усредненной разности между измерением и проинтерполированным значением (ME) и среднеквадратичной ошибки (RSME), указывающей, насколько близко модель прогнозирует измеренные значения.

**Таблица 3.3. Результаты кросс-валидации прогнозных моделей, созданных с помощью детерминированных методов интерполяции**

Название метода	ME	RSME
Метод взвешенных расстояний, IDW	0,005238	0,3753
Локальная полиномиальная интерполяция, LPI	0,000304	0,3722
Метод радиальных базисных функций, RBF	0,00436	0,3739

Отметим, что данный метод интерполяции используют преимущественно при интерполировании значений на поверхности с изменчивой формой рельефа, что имеет место в нашем случае. Поскольку для прогнозирования использовались геопространственные данные, именно фактор неоднородности рельефа является определяющим при выборе детерминированного метода интерполяции. Наименее точным оказался метод взвешенных расстояний, что, очевидно, связано с недостаточным объемом выборки, использованной для интерполяции с помощью IDW.

Среди геостатистических методов интерполяции наиболее точным и информативным оказался метод с использованием универсального кригинга. Данный вывод соотносится с результатами исследований, выполненных на территории Беларуси, где метод универсального кригинга рекомендуется использовать для прогнозирования уровня загрязнения почвенного покрова.

Для определения возможной пространственной структуры содержания гумуса в почве с использованием геостатистических методов интерполяции были рассчитаны экспериментальные анизотропные

вариограммы. По результатам кросс-валидации в качестве лучшей модели была идентифицирована экспоненциальная функция. В табл. 3.4 показаны результаты перекрестной проверки прогнозных моделей, генерируемых методами простого, обратного, универсального и эмпирического байесовского кригинга.

**Таблица 3.4. Результаты кросс-валидации прогнозных моделей, созданных с помощью геостатистических методов интерполяции**

Название метода	ME	RSME	RMSS
Простой кригинг, SK	0,0072	0,3707	0,993
Ординарный кригинг, ОК	0,0081	0,3875	1,087
Универсальный кригинг, УК	0,0067	0,3525	0,998
Эмпирический байесовский кригинг, EBK	0,0085	0,3821	1,001

Лучшая модель была выбрана на основе трех критериев: средней ошибки (ME), среднеквадратичной ошибки (RMSE) и среднеквадратичной нормированной ошибки (RMSS). Наименьшими значениями данных критериев по результатам проведенной кросс-валидации обладала модель, созданная методом универсального кригинга. Следует отметить и тот факт, что при применении методов ординарного кригинга и эмпирического байесовского кригинга величина RMSE для выборки из предсказанных значений находилась на уровне величины стандартного отклонения выборки с измеренными значениями, а при применении простого кригинга была ниже его. По точности интерполяции исследованные геостатистические методы расположились в следующий убывающий ряд  $UK > SK > ОК > EBK$ .

Проведенными исследованиями установлено следующее: 1) среди детерминированных методов интерполяции для условий пересеченного рельефа наиболее оптимальным для прогнозирования пространственного распределения гумуса в почве является метод локальных полиномов, обеспечивающий среднеквадратическую ошибку среднего прогнозируемых значений на уровне 0,3739; 2) метод универсального кригинга по эффективности превосходит другие исследованные детерминированные и геостатистические методы интерполяции и является наиболее приемлемым для целей прогнозирования пространственного распределения гумуса в пределах территории РУП «Учхоз БГСХА», обеспечивая среднеквадратическую ошибку среднего прогнозируемых значений на уровне 0,3523; 3) для оптимизации моделей интерполяции необходимо учитывать дополнительную топографическую информацию о характере рельефа.

#### **4. СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ОБЛАСТИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ**

Компьютерная визуализация информации – это стремительно развивающееся направление в компьютерной графике. На него влияют многие сферы жизнедеятельности населения, поэтому содержание данной дисциплины постоянно пополняется новыми аспектами. Тем не менее, можно выявить наиболее перспективные на сегодняшний день направления развития визуализации информации, которые можно реализовать в предметной области экологии. Это использование ресурсов интернета (веб-картографические сервисы, маркетинг в социальных сетях) и мультимедиа (в частности, компьютерная анимация).

Применение этих форм визуализации информации может позитивно сказаться на популяризации экологического мышления у широкого населения, некоторых аспектах учебного процесса, а также на эффективности научных исследований и представления их результатов заинтересованным сторонам. Прежде всего, перспективные направления развития визуализации экологической информации могут:

- стимулировать когнитивные аспекты обучения, такие как восприятие и осознание информации;
- повысить мотивацию обучаемых и заинтересовать широкие слои населения;
- развить у обучаемых более глубокий подход к обучению, помочь в формировании более глубокого понимания предмета;
- содействовать продвижению научных идей в области экологии среди лиц-неспециалистов, принимающих управленческие и др. решения в области охраны окружающей среды.
- Мультимедийные продукты и ресурсы интернета позволяют:
  - одновременно использовать несколько каналов восприятия, что позволяет достичь интеграции информации, доставляемой различными органами чувств;
  - имитировать эксперименты и сложные реальные ситуации;
  - визуализировать абстрактную информацию и динамические процессы;
  - развивать когнитивные структуры, сводить разнообразие материалы в единый контекст и формировать системную интерпретацию материала для всех заинтересованных сторон.

#### 4.1. Использование компьютерной анимации в экологии

Мультимедийные технологии – новые информационные технологии, обеспечивающие работу с анимированной компьютерной графикой и текстом, речью и высококачественным звуком, неподвижными изображениями и движущимися видео.

**Анимацией** называется искусственное представление движения путём отображения последовательности рисунков или кадров с частотой, при которой обеспечивается целостное зрительное восприятие образов. Изображение начинает превращаться в анимацию при частоте смены кадров более 16/сек.

Синоним «анимации» – «мультипликация» – очень широко распространён. Анимация и мультипликация – это лишь разные определения одного и того же вида искусства. Термин мультипликация произошёл от латинского слова «мульти» – много и соответствует традиционной технологии размножения рисунка, ведь для того, чтобы персонаж «ожил», нужно многократно повторить его движение: от 10 до 30 рисованных кадров в секунду. Принятое в мире профессиональное определение «анимация» (в переводе с латинского «анима» – душа, «анимация» – оживление, одушевление) более точно отражает все современные технические и художественные возможности анимационного кино, ведь мастера анимации не просто оживляют героев, а вкладывают в их создание частичку своей души.

Не вдаваясь подробно в историю анимации, следует отметить, что человечество на протяжении всего существования пыталось отразить движение в своем искусстве. Первые попытки передачи движения в рисунке относятся примерно к 2000 г. до нашей эры (Египет). К X-XI вв. относятся первые упоминания о китайском театре теней – типе зрелища, визуально близком будущему анимационному фильму. В XV в. появились книжки с рисунками. Свернутые в рулон, а затем мгновенно разворачивавшиеся, они создавали иллюзию движения.

Попытки найти способы оживления рисунков посредством специальных аппаратов предпринимались задолго до появления кинематографа: фенакистископ Жозефа Плато (1832 г.), съемка последовательных фаз движения Эдварда Мюйбриджа (1870 г.), праксиноскоп Эмиля Рейно (30 августа 1877 г. можно считать днем рождения анимации, так как именно в этот день в Париже был запатентован данный аппарат).

Изобретение братьев Люмьер, которые в 1895 г. разработали конструкцию киноаппарата для съёмки и проекции движущихся фотогра-

фий было названо ими кинематографом. Его рождение вытеснило мультипликацию. На некоторое время её предали забвению, увлекшись перспективами быстро развивающейся игровой кинематографии.

Настоящую революцию в мире анимации произвел американский режиссер, художник и продюсер Уолт Дисней. В 1923 г. он выпускает серию «Алиса в стране мультипликации». В 1928 г. – звуковой мультфильм «Пароходик Вилли» с героем Микки Маусом.

В Японии первые эксперименты с анимацией начались в 1913 г. Фильмы были выполнены художниками-одиночками, которые пытались обобщить и переиначить опыт американских и европейских мультипликаторов. Так зарождался японский стиль анимации, названный «аниме» от британского «animation». В 20-е годы аниме представляло собой экранизацию классических китайских и японских сказок, нарисованных в стиле традиционной японской графики. В отличие от анимации других стран, предназначенной в основном для просмотра детьми, большая часть выпускаемого аниме рассчитана на подростковую и взрослую аудитории, и во многом за счёт этого имеет высокую популярность в мире.

В 1977 г. выходят «Звездные войны» режиссёра Джорджа Лукаса – первый фильм, в котором широко использовались техники компьютерной анимации. В 1986 г. свет увидел «Люкс младший» (Студия Pixar) – первый короткометражный мультипликационный фильм, нарисованный с помощью 3D техники. А в 1995 г. – «История игрушек» (Студия Pixar) – первый полнометражный мультипликационный фильм, нарисованный с помощью 3D техники.

**Основные принципы анимации.** В 1981 г. два величайших аниматора студии Дисней (Фрэнк Томас и Олли Джонстон) написали книгу под названием «Иллюзия жизни». В ней были представлены «12 базовых принципов анимации», которые использовала студия (с 1930 г.) для создания более реалистичной анимации.

Хотя эти основы были разработаны для традиционной мультипликации, они остались неизменными до наших дней и всё еще актуальны в цифровой анимации. Основной идеей принципов является создание иллюзии соблюдения основных законов физики, однако они рассматривают и более абстрактные вопросы, такие как эмоциональность и привлекательность персонажей.

12 основных принципов анимации:

1. Сжатие и растяжение – важнейший принцип, его задачей является создание иллюзии веса и эластичности формы анимируемых объек-

тов. Он может быть применён как к простым объектам (прыгающий мяч), так и к более сложным конструкциям, например мускулатуре человеческого лица. Взятая в крайней точке, сжатая и растянутая в преувеличенной степени фигура может дать выразительный комический эффект. В реалистичной мультипликации, однако, наиболее важным аспектом этого принципа является то, что объём объекта не изменится, если меняется его форма. Если длина мяча растянута по вертикали, то ширина (и глубина в трёхмерном изображении) должна соответственно сокращаться горизонтально.

2. Подготовка к действию – способствует восприятию движения как более реалистичного, так как визуализирует предваряющую его фазу (например, танцор перед прыжком сгибает колени). Этот метод может наполняться не только физическим содержанием: например, взгляд персонажа за пределы экрана может свидетельствовать о том, что ожидается чье-то появление. Особый эффект неожиданности возникает, если упреждающее действие отсутствует.

3. Сценичность – привлечение внимания публики и пояснение, что имеет самое большое значение в сцене, что происходит, и что должно произойти. Джонстон и Томас определили его как «абсолютно ясную и безошибочную подачу мысли», независимо от того, заключается ли мысль в действии, личности, выражении или настроении. Такая ясность может быть достигнута различными средствами, такими как размещение символов в кадре, использование света и тени, угол и положение камеры.

4. Использование компоновок и фазованного движения. Это два различных подхода к процессу рисования. Первый – прямое движение вперёд, начиная с первого движения персонажа в сцене, последовательно делая рисунок за рисунком, что-то придумывая по мере продвижения. Второй подход – использование компоновок: сначала создаются ключевые кадры, а затем заполняются интервалы между ними. Прямая фазовка создаёт более плавную, динамическую иллюзию движения, и лучше подходит для анимации огня, воды и текучих предметов. С другой стороны, этим методом трудно сохранять пропорции (в компьютерной графике эта проблема решена). Использование компоновок работает лучше для драматических или эмоциональных сцен, где композиция и отношение к окружающей среде имеет большее значение. Часто эти методы комбинируются.

5. Доводка (сквозное движение) и захлёт действия. Эти тесно связанные техники помогают сделать движение более реалистичным, и

создают впечатление, что персонажи подчиняются законам физики. «Доводка» означает, что отдельные части тела будут продолжать движение после того, как персонаж остановился. «Захлест действия» показывает тенденцию частей тела двигаться с различной скоростью (рука и голова при резкой остановке идущего остановятся с разной скоростью).

6. Смягчение начала и завершения движения. Движениям человеческого тела и большинству других объектов нужно время, чтобы ускориться и замедлиться. По этой причине, мультипликация выглядит более реалистичной, если содержит больше рисунков в начале и конце действия, подчёркивающих крайние позы, и меньше в середине. Этот принцип касается как перемещения персонажей между крайними позами, такими как сидение и стояние, так и к движению неодушевлённых предметов.

7. Дуги. Наиболее естественные движения имеют тенденцию следовать дуговой траектории. Это может относиться к конечности, перемещаемой поворотом сустава, или брошенному объекту, движущемуся по параболической траектории. Исключением являются механические движения, обычно следующие по прямой. Чем больше скорость или импульс предмета, тем более пологая получается дуга. Если объект движется не по своей естественной дуге, движение кажется надуманным и дёрганым.

8. Вторичное действие. Добавление вторичных действий к основному придаёт сцене больше жизни, и может помочь поддержать основные действия (например, идущий человек одновременно покачивает руками, он может выражать эмоции с помощью мимики). Важным моментом во вторичных действиях является то, что они подчеркивают, а не отвлекают внимание от основного действия, в противном случае их лучше опустить.

9. Расчет времени (тайминг) – относится к числу рисунков или кадров для каждого действия, что влияет на скорость их подачи на плёнку. На чисто физическом уровне, правильный расчёт времени делает объекты более реалистичными (например, вес объекта решает, как он реагирует на импульс или толчок). Расчёт времени имеет решающее значение для создания настроения персонажа, эмоции и реакции.

10. Преувеличение. Уровень преувеличения зависит от того, стремится ли аниматор выразить реализм или определённый стиль. Классическое понимание студии Дисней подразумевало оставаться верным действительности, но преподносить её в более экстремальной форме.

Другие формы преувеличения могут включать в себя сверхъестественные или сюрреалистические изменения в физических особенностях персонажа, или даже сюжете. Важно использовать определённый уровень ограничения при использовании данного принципа.

11. Уверенный рисунок – объект изображается с учётом его формы в трёхмерном пространстве и веса. Аниматор должен быть квалифицированным художником и понимать основы трёхмерного моделирования, анатомии, веса, баланса света и тени и т. д.

12. Привлекательность мультипликационного персонажа соответствует тому, что называется актёрской харизмой. Привлекательный персонаж не обязательно является положительным, важно то, что зритель ощущает реальность и интересность персонажа. Так, для симпатичных персонажей симметричные или подчеркнута детские лица, как правило, эффективны. Сложные для чтения лица также можно сделать привлекательными через выразительные позы или дизайн персонажей.

Сущность данных принципов лучше всего раскрывается на конкретных примерах анимации (см. электронный информационный источник № 2).

Основные виды анимации:

1. Традиционная рисованная анимация (2D, Cel, Hand Drawn) – это покадровая анимация. Расстановка ключевых кадров производится аниматором, промежуточные же кадры генерирует специальная программа. Этот способ наиболее близок к традиционной рисованной мультипликации, только роль фазовщика берёт на себя компьютер, а не человек. Создание покадровой анимации – очень трудоёмкий процесс: на 1 минуту приходится до 1440 рисунков.

2. 2D векторная анимация. Этот вид наиболее широко используется в настоящее время. Векторная анимация позаимствовала многие методы создания традиционной анимации. За основу взяты принципы, которые применяются в традиционной анимации, только с использованием обработки, которая называется прорисовка и закрашивание. Кадры векторной анимации создаются на плоской поверхности. Причина, по которой 2D векторная анимация была помещена в отдельную категорию, заключается в том, что в дополнение к опции анимации «кадр за кадром», аниматор имеет возможность создавать составляющие персонажей, а затем перемещать части тела индивидуально, а не рисовать символ снова и снова.

3. Ротоскопинг – прорисовка анимации (мультипликации) с кадров реальных фильмов и видеоизображений.

4. Графика движения (Motion design) – анимация изображений, текстов или видеоклипов с использованием ключевого кадрирования, которое движется, чтобы создать плавное движение между кадрами. Композиции в кадре с использованием такого метода созданы из плоских элементов, которые перемещаются относительно друг друга, это и помогает создать иллюзию объема. Чаще всего движения объектов сопровождается музыкой или звуковыми эффектами. Данный метод чаще всего используется для создания информационных видеороликов и тьюториалов, промо-роликов, анимированных логотипов и вступительных титров. Приложения для их создания поддерживают различные скрипты, которые автоматически изменяют анимацию, тем самым создавая множество разных эффектов.

5. Кукольная анимация (Stop motion) – это остановка объекта после отснятого кадра и последовательное его перемещение для съёмки нового фото и нового движения. При воспроизведении сделанных фото одно за другим, создаётся иллюзия движения. Таким образом, создание видео происходит на основе покадрового фотографирования и последующего монтажа на компьютере.

6. Запись движения. Данные анимации записываются специальным оборудованием с реально двигающихся объектов и переносятся на их имитацию в компьютере. Распространённый пример такой техники – Motion capture (захват движений). Актёры в специальных костюмах с датчиками совершают движения, которые записываются камерами и анализируются специальным программным обеспечением. Итоговые данные о перемещении суставов и конечностей актёров применяют к трёхмерным скелетам виртуальных персонажей, чем добиваются высокого уровня достоверности их движения. Такой же метод используют для переноса мимики живого актёра на его трёхмерный аналог в компьютере.

7. 3D анимация (или CGI – computer-generated imagery) – метод создания динамических (движущихся) изображений или видео путём моделирования объёмных объектов в трёхмерном пространстве. Технологии 3D-анимации имеют много общего со Stop motion, поскольку соответствуют покадровому подходу. Но, в 3D реализация задач более управляема, так как вместо рисования персонажа в 3D-анимации объект создается в цифровой форме. Позже он снабжается «скелетом», который позволяет перемещать модели. Анимация создается построением моделей на определенных ключевых кадрах, а после компьютер

вычисляет и выполняет интерполяцию между этими кадрами для создания движения.

Существует мнение, что термин компьютерная анимация в настоящее время обозначает именно трёхмерную CGI-анимацию, в то время как для двухмерной рисованной мультипликации с использованием компьютера применяются другие термины, например, Flash-анимация и GIF-анимация.

Для создания анимированных изображений существует множество *программ*, которые можно условно разделить на:

- специализированные программы по созданию трёхмерной графики и 2D и 3D анимации: Adobe Animate, Anime Studio, Cinema 4D, – платные, Blender, Synfig – бесплатные;
- программы с возможностью создания анимации: графические редакторы Adobe Photoshop, Adobe Illustrator, бесплатная GIMP; программы для композитинга Adobe After Effects, приложения Microsoft Office 2019 (и позднее) для создания анимированных 3D моделей и 3D карт. В некоторых ГИС программах и веб-картографических сервисах возможно создание анимации полёта над местностью по заданному маршруту (подробнее в подразделе 4.2).

Компьютерная анимация может храниться в универсальных графических файлах (например, в формате GIF) в виде набора независимых изображений, либо в специализированных файлах соответствующих пакетов анимации (3ds Max, Blender, Maya и т. п.) в виде текстур и отдельных элементов, либо в форматах, предназначенных для просмотра (FLIC) и применения в играх (Bink). Также, анимация может сохраняться в форматах, предназначенных для хранения видео (например, MPEG-4).

**Картографическая анимация.** Первые картографические динамические фильмы были созданы еще в конце 50-х годов XX в. Однако до начала 90-х годов XX в. анимационная картография оставалась доступной лишь узкому кругу профессионалов и экспертов. Причиной тому была высокая стоимость вычислительной техники, её низкая производительность и необходимость больших усилий на создание каждой анимации.

Однако снижение стоимости компьютеров до уровня, когда они действительно стали персональными, и улучшение качества бытовых мониторов до уровня телевизионного сигнала и выше привели к резкому увеличению анимационных материалов. Бурный прогресс ком-

пьютерной техники, начавшийся в первой половине 90-х годов, привел к появлению самых разнообразных видов анимаций.

Виды картографических анимаций (2D и 3D):

*1. Анимированные двухмерные карты динамики:*

- карты динамики площадных контуров явлений на различные даты;
- карты разности состояний на несколько дат одних и тех же площадных контуров;
- карты динамики точечных объектов (динамика положений или состояний объектов);
- карты динамики линейных объектов (динамика положений или состояний объектов);
- комплексные динамические двухмерные карты (карты, на которых одновременно показана динамика точечных, линейных и площадных объектов либо различных их сочетаний).

*2. Анимированные двухмерные карты движения:*

- классические двухмерные карты, использующие в качестве изобразительного средства эффекты анимации;
- анимированные линейные и площадные анаморфозы;
- анимированные анаморфозы, показывающие динамику контуров на различные даты (две и более);
- анимированные анаморфозы состояний контуров;
- комплексные анимированные анаморфозы (динамика контуров и состояний контуров в сочетании с прочими динамическими изобразительными средствами).

Картографические анаморфозы – особый вид плоских геоизображений, представляющий собой трансформированные непространственноподобные карты, на которых изменены длины, площади или угловые соотношения и формы показанных объектов, но при этом точно сохранены их топологические соотношения.

*3. Анимированные динамические трёхмерные изображения:*

- анимированные поверхности (изометрия, динамическая изометрия со сменой точки и угла обзора);
- анимированные трёхмерные блок-диаграммы и условные знаки;
- трёхмерные анимированные анаморфозы;
- анимации в виртуально-реальностных изображениях;
- облёт местности, движение по поверхности;
- движение в среде;

- движение в пространстве виртуальной реальности цифровой модели местности (ЦММ) одновременно с анимированием отдельных компонентов самой ЦММ (движение наземных и воздушных объектов, течение рек, метеоявления и пр.).

По конечному результату анимации можно подразделить на следующие **типы**:

1. *Неуправляемая последовательность двухмерных кадров*. В данном типе анимации просматривающий субъект не может изменить практически ничего – ни проекцию, ни угол обзора, ни масштаб изображения. Типичным примером такой анимации является анимация в формате AVI. Несмотря на двухмерность самих кадров, содержание их может быть трёхмерным (например, AVI-файл с анимированной трёхмерной поверхностью).

Исходные кадры-карты могут создаваться автором самыми разнообразными способами и не предназначаются для изменения потребителем. Для просмотра анимации не требуется ни специального программного обеспечения (ПО), ни значительных аппаратных средств, пользователь может обладать лишь начальной компьютерной подготовкой.

2. *Последовательность векторных карт, переводящаяся в растр и выводимая на экран в реальном времени*. Обычно для анимации такого типа можно задать пользовательскую проекцию, сменить масштаб или компоновку карты, изменить легенду, включить или выключить слои данных. Обычно создание такой анимации ведется на базе уже существующих ГИС с помощью системы внутренних команд или встроенного языка программирования. Примером может служить анимация, составленная из последовательности векторных карт, интерактивно управляемая пользователем. Для создания анимации подобного рода требуется наличие производительной техники (обладающей достаточной вычислительной мощностью), наличие ГИС и умение программировать на одном из внутренних языков ГИС.

Просмотр анимации возможен любым пользователем с начальным уровнем знания ГИС, в которой создавалась анимация.

3. *Полностью управляемая пользователем модель данных, визуализируемая в результате длительного просчета*. Здесь пользователь может изменить почти все параметры (скорость облета, угол зрения, дальность видимости, наличие атмосферных эффектов, движение прочих моделей в пространстве математической модели местности и т.п.), однако результаты изменений анимации он может увидеть лишь после просчета, в результате которого получается некорректируемая последовательность двухмерных кадров.

Для создания требуется наличие специализированного ПО, высокопроизводительного аппаратного обеспечения, отличное владение пакетами для создания такой анимации (3D-Studio MAX, Maya, Cinema 4D и прочие продукты, предназначенные для создания самой сложной 2D и 3D графики). Пользователь, обрабатывающий такую модель данных, должен также иметь мощный компьютер, ПО, в котором создавалась модель данных, и навыки работы с этим ПО.

4. *Полностью управляемая пользователем виртуальная модель местности, визуализируемая в режиме реального времени.* Здесь пользователь может изменить все параметры, причем результаты изменений становятся видны сразу же без каких-либо дополнительных расчетов. Создание модели может быть чрезвычайно сложным, требуя не только больших вычислительных мощностей, но и владения сразу несколькими ГИС, пакетами 3D-анимации, программирования и пр. Квалификация пользователя может быть различной: от минимального ознакомления с программой и простого просмотра до глубокого знания особенностей построения модели и возможности внесения в нее необходимых изменений.

**Анимация и картографические способы изображения.** Широкое распространение различных методов использования анимации привело к некоторому пересмотру классификации картографических способов изображения, добавив к ним ряд других способов.

При создании всех условных знаков картограф оперирует графическими переменными. В классической картографии к таковым относятся: форма, размер, цвет, светлота, внутренняя структура и ориентация знака. Картографические анимации добавили к этому ряду еще несколько переменных (табл. 4.1).

Таблица 4.1. **Примеры использования анимационных эффектов в экологическом картографировании**

Графическая переменная	Анимационный эффект	Примеры картографических изображений
1	2	3
Форма	Условный знак может менять свою форму, причем смена формы может идти по-разному в зависимости от семантического значения знака	Карта экологического состояния городов, на которой благоприятность какого либо показателя показана в виде условного знака – кружка, при этом благоприятные или неблагоприятные изменения сопровождаются сменой знака на другой (на квадрат или треугольник, например), что отражено в легенде

1	2	3
Цвет	Условный знак меняет исходный цвет на другой, скорость и тип смены цвета характеризуют интенсивность картографируемого процесса	Картограмма сельскохозяйственной освоенности административных районов. Цветом показана степень освоенности земель в сельском хозяйстве, скорость смены цвета пропорциональна скорости освоения территории
Размер	Условный знак меняет размер, смена размера зависит от семантики	Картодиаграмма объёмов использования пестицидов. Высота столбиков диаграммы соответствуют величине показателя, изменение высоты пропорционально изменению объёмов использования пестицидов за месяц
Внутренняя структура	Внутри знака происходит смена текстуры или рисунка знака	Карта населенных пунктов, показанных геометрическими условными знаками различной формы в зависимости от типа поселения – городское или сельское. С помощью различного цвета отражен национальный состав, при этом текстура передает половозрастной состав, анимация текстуры – изменения в структуре половозрастного состава, имевшие место за период
Положение знака	Движение значка по полю карты, показывающее фактическое перемещение объектов в пространстве	Карта преобладающего направления течений в море. Направление движения водных масс показано движущимися стрелками
	Знак передвигается, но движение знака не связано с его перемещением в пространстве	Карта мира, на которой в центре каждой страны – одинаковый условный знак; при достижении страной определенного уровня эмиграции за год знак начинает совершать колебания из стороны в сторону, в итоге оставаясь на одном месте, причем амплитуда колебаний пропорциональна дальности миграции

Отдельно рассмотрим анимацию поверхностей. В географии и экологии часто возникает необходимость анализа ряда поверхностей. Это может быть, например, ЦМР одной и той же территории в различные эпохи; поле атмосферного давления; поверхность, построенная по псевдоизолиниям лесистости местности. Анализ разновременных со-

стояний поверхности и выявление динамики развития поверхности путем визуальных наблюдений и классической картометрии практически невозможен. Для проведения подобных исследований необходимо использование специализированного математического аппарата. Применение математических методов само по себе затруднительно, да и не слишком наглядно. Зачастую, особенно если необходимо лишь уяснить суть происходящих изменений и их скорость, можно упростить данную задачу путем использования трёхмерной анимации поверхности.

Процесс интерполяции состояний поверхности для каждого момента времени по ключевым состояниям называется морфингом (Morphing).

В процессе анимации поверхности можно произвести её облет либо создать ряд анимаций одной поверхности, сделанных с разных точек обзора.

*Временные анимации* показывают изменения геометрических или атрибутивных компонентов пространственных данных. В случае временной анимации существует прямая связь между временем показа и реальным временем. Время может измеряться в секундах, годах или тысячелетиях – замедление или ускорение реального процесса.

Для правильного понимания временных анимаций важно, чтобы пользователь имел возможность влиять на процесс показа. Минимальные функциональные возможности должны обеспечивать такие опции для манипуляции с линией времени как вперёд, назад, медленно, быстро, пауза.

*Невременные анимации.* В невременных анимациях время показа непосредственно не связано с реальным временем. Динамические свойства карты используются, чтобы показать пространственные отношения или выявить геометрические или атрибутивные характеристики пространственных явлений. Невременные анимации можно подразделить на показывающие последовательное накопление явлений и отражающие, как изменяются представления одних и тех же явлений.

Примеры анимаций с последовательным накоплением: понимание трехмерного ландшафта. Сначала отображается только топография, затем добавляются другие темы, например, дороги, использование земель, гидрография (местоположение).

Анимации с изменяющимся представлением (воспроизводящие различные данные или одни и те же данные в соответствии с различ-

ными типами карт, что фактически аналогично механизму переключения для электронных), включают:

- показ картограмм, построенных с использованием различных методов классификации;
- представление определённых наборов данных путем изменения картографических методов изображения, например, отображая одни и те же данные последовательно в виде точечной карты, картограммы, ступенчатой статистической поверхности и карты изолиний;
- карты с мигающими условными знаками для привлечения внимания к определенным объектам, категориям объектов или их атрибутам;
- полет над территорией, моделируемый путем непрерывного изменения точки зрения пользователя;
- результаты мягкой прокрутки и зумирования в анимации.

*Динамические переменные.* Один из вопросов, который приходится решать картографам, – это как нужно проектировать анимацию, чтобы зритель наверняка понял развитие или тенденцию изменения тех или иных явлений. Динамические переменные: продолжительность, порядок и темп изменения, частота, время показа и синхронизация. Продолжительность и порядок, а также время показа – это наиболее важные переменные, в то время как остальные тем или иным способом выведены из этих трех.

Время показа – это время начала показа изменений на экране. Дата показа может иметь прямую связь с хронологической датой, что позволяет определить положение во времени.

Продолжительность – отрезок времени, в течение которого на экране не происходит изменений. Между каждым кадром и реальным временем существует прямая связь.

Порядок – это последовательность кадров или изображений. Время упорядочено само по себе. Невременной порядок можно показать, выдвигая на первый план разные объекты один за другим.

Частота – связана с продолжительностью. Каждый из этих показателей может быть определен через другой. Целесообразно рассматривать частоту в качестве отдельной динамической переменной, поскольку люди воспринимают её как независимую.

Темп изменения – это различие величины изменения за единицу времени для каждого из последовательных кадров или изображений. Изменяться может местоположение или атрибуты в той или иной точке. На динамической карте с контролируемым временем в течение заданной продолжительности изображения и местоположение, и атрибу-

ты могут меняться, причем с разной скоростью. Темп изменения может быть постоянным или переменным.

Синхронизация (совпадение по фазе) имеет отношение к совпадению по времени двух или более временных рядов. Если природные процессы не совпадают по фазе, их синхронизация на стадии показа может раскрыть причинные связи, которые были бы не столь очевидны при строгом соблюдении хронологических соответствий.

#### **4.2. Ресурсы интернета и возможности их использования для визуализации экологической информации**

Говоря о ресурсах интернета сегодня, прежде всего речь идёт о сервисах Веб 2.0.

Веб 2.0 (англ. Web 2.0) – методика проектирования систем, которые путем учета сетевых взаимодействий становятся тем лучше, чем больше людей ими пользуются.

Данный термин появился в 2005 г., автор – Тим О’Рейли, руководитель издательской компании O’Reilly Media и сторонник движения за свободное программное обеспечение. В отличие от концепции Веб. 1.0, где сайт выступает лишь как информационный источник, а пользователь является потребителем контента (содержания), и возможность его участия в создании ресурса жёстко ограничена, для сервисов Веб 2.0 характерны следующие *отличительные особенности*:

- полнота и простота взаимодействия пользователя с контентом, широта возможностей взаимодействия без регистрации;
  - бесплатная среда (базовый набор возможностей);
  - социализация, сообщество для общения, совместных действий;
  - возможность создания личной, индивидуальной зоны;
  - самостроительство, привлечение пользователей к наполнению и многократной выверке контента;
  - комментирование и взаимное оценивание содержания;
  - Веб как платформа;
  - кроссбраузерность – поддержка всеми браузерами.
- Примерами сервисов Веб 2.0 являются:

- Вики (Wiki) – веб-сайт, структуру и содержимое которого пользователи могут самостоятельно изменять с помощью инструментов, предоставляемых самим сайтом: Википедия и проекты фонда Викимедия (Викисклад, Викисловарь, Викицитатник и др.);

- блоги и микроблоги – веб-сайты, основное содержимое которых – регулярно добавляемые записи, содержащие текст, изображения или мультимедиа (Livejournal, Twitter и др.);

- социальные сети – веб-сайты, предназначенные для выстраивания онлайн-сообществ людей, объединенных какой-либо деятельностью или интересами (ВКонтакте, Одноклассники, Instagram, Facebook, Pinterest, Qzone, LinkedIn и др.);

- социальные медиахранилища – сервисы для совместного хранения, просмотра и обсуждения медиафайлов (фотохостинги Google Фото, Яндекс.Фотки, Instagram; видеохостинги YouTube, Rutube, TikTok, Vimeo и др.);

- другие онлайн-сервисы (для создания презентаций, инфографики, «облаков тегов», интеллект-карт, временных шкал и др.).

Актуальной является тенденция совмещения возможностей социальных сетей с медиахранилищами. Так, популярный сейчас Instagram представляет собой сочетание фотохостинга с элементами социальной сети, TikTok – видеохостинга и социальной сети. Подробнее об использовании социальных сетей в области освещения вопросов и популяризации экологических идей – в подразделе 4.3.

С точки зрения возможностей для компьютерной визуализации экологической информации, одним из наиболее перспективных ресурсов интернета являются веб-картографические сервисы.

**Веб-картографические сервисы** – системы, предназначенные для сбора, хранения, анализа и графической визуализации географических данных и связанной с ними информации о представленных объектах в интернет-пространстве.

Всё многообразие веб-картографических сервисов можно условно разделить на 3 группы: 1 – предназначенные преимущественно для сбора, анализа и отображения данных в статичной форме (с поддержкой интерактивности); 2 – для анимационной визуализации географических данных; 3 – сочетающие в себе возможности интерактивных карт и других мультимедиа-ресурсов.

Примерами веб-картографических сервисов являются: Карты Google, Google Earth, Яндекс.Карты, Викимапия, Геопортал ЗИС Республики Беларусь и др. Рассмотрим возможности некоторых из них.

*Геопортал ЗИС* Республики Беларусь относится к первой группе веб-картографических сервисов. Он разработан Проектным институтом Белгипрозем и представляет собой полнофункциональную открытую геоинформационную систему, предназначенную для автоматизации хранения, обработки и предоставления пространственной информации. Геопортал ЗИС предоставляет возможность использования ба-

зовой картографической основы масштаба 1:10000 и содержит обширную базу данных о границах административно-территориальных единиц и земельных участках Республики Беларусь, о земельном покрытии территории (пахотные, луговые, нарушенные и др.), о мелиоративном состоянии земель, ограничениях землепользования, инженерных коммуникациях и др. (рис. 4.1).

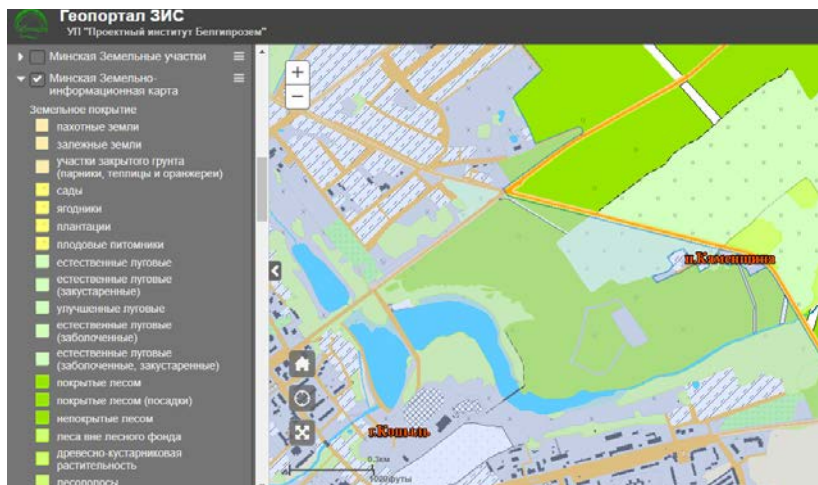


Рис. 4.1. Фрагмент земельно-информационной карты Минской области на геопортале ЗИС Республики Беларусь

Также в свободной версии, доступной любому пользователю, содержатся материалы аэрофотосъёмки территории Республики Беларусь с высоким пространственным разрешением. Помимо возможности просмотра картографической информации, на Геопортале ЗИС заложены базовые инструменты: расчёта площадей, расстояний, определения и поиска местоположений по координатам.

*Google Earth Studio* – это бесплатная мультимедийная анимационная программа от Google, предназначенная для графического дизайна с 3D-изображениями. Она позволяет делать качественную аэросъёмку поверхности планеты, используя программу Google Earth (выпущена в 2001 г.) для рендеринга 3D-моделей.

Рендеринг или отрисовка (англ. rendering – «визуализация») – термин в компьютерной графике, обозначающий процесс получения изображения по модели с помощью компьютерной программы; процесс создания финального изображения или последовательности из изображений на основе двухмерных или трёхмерных данных.

Функционал приложения Google Earth Studio даёт возможность пользователю выбирать любое место на карте, указывать масштаб, высоту, радиус, начальное направление съёмки, настраивать разрешение изображения, частоту кадров, освещение, устанавливать длительность ролика и многое другое. Кроме того, во время записи можно изменять угол обзора и редактировать плавность перемещения камеры (путём расстановки ключей и работы с ними).

Помимо построения маршрутов движения камеры вручную в программе предусмотрены и готовые пресеты маршрутов, которые можно задействовать для создания собственных проектов:

- приближение к месту (Zoom-To);
- от места к месту (Point to Point);
- облёт вокруг (Orbit);
- движение по спирали (Spiral);
- приближение и облёт вокруг (Fly To & Orbit).

При необходимости можно усложнить проект комбинацией готового шаблона и вручную добавленных локаций.

Также в Google Earth Studio доступны и различные визуальные эффекты. Например, можно изменять время суток, добавлять или убирать облака и др. К дополнительным плюсам сервиса можно отнести поддержку интеграции с программой Adobe After Effects и возможность хранить готовые проекты в облачном хранилище.

Облачное хранилище данных (англ. cloud storage) – модель онлайн-хранилища, в котором данные хранятся на многочисленных распределённых в сети серверах, предоставляемых в пользование клиентам, в основном, третьей стороной (например: Dropbox, Google Диск, iCloud, Яндекс.Диск, Облако Mail.Ru и др.).

Особенностью Google Earth Studio поддерживает работу только в фирменном браузере Google Chrome последней версии. Для того чтобы воспользоваться сервисом, необходимо в нем авторизоваться с помощью учетной записи Gmail. После этого пользователю на электронную почту придет письмо с разрешением и специальной ссылкой для доступа к веб-приложению.

Наиболее широкие возможности в плане визуализации предоставляют веб-картографические сервисы третьей группы, например, *ArcGIS StoryMaps*. Этот сервис позволяет объединять картографические изображения, фотографии, видео и текст в результате чего создаются так называемые карты-истории. Более ранняя версия данного сервиса, *Esri Story Maps*, предполагает работу с классическими шаблонами:

- тур (Story Map Tour) – идеально подходит для последовательного повествования на основе местоположений, сопровождаемого изобра-

жениями и видео. Каждая «точка повествования» тура имеет геолокацию. Пользователи могут последовательно проходить тур, а также пролистывать его, используя карту или дополнительную карусель эскизов.

- журнал (Story Map Journal) – подходит в случаях, когда необходимо скомбинировать текст повествования с картами и другими ресурсами. Map Journal содержит записи, или разделы, которые легко пролистываются пользователем. Каждый раздел в Map Journal имеет связанную карту, изображение, видео или веб-страницу. В разделах журнала также можно задать действия, чтобы, например, при щелчке на слове, карта раздела автоматически приближалась к определенному местоположению.

- каскадная карта-история (Story Map Cascade) – создаёт многонаправленное повествование с прокруткой. Шаблон Story Map Cascade позволяет комбинировать текст описания с картой, изображениями и мультимедиа-ресурсами в полноэкранный приложении. В каскадной истории разделы с текстами и встроенными медиафайлами чередуются с «многонаправленными» полноэкранными разделами с картами, 3D-сценами, изображениями и видео.

- серия карт (Story Map Series) – позволяет представить серию карт в виде отдельных вкладок, цепочки кнопок или ленты. Кроме карт, в Story Map Series можно использовать видео, изображения или веб-ресурсы, дополняющие и иллюстрирующие карты-истории (рис. 4.2).

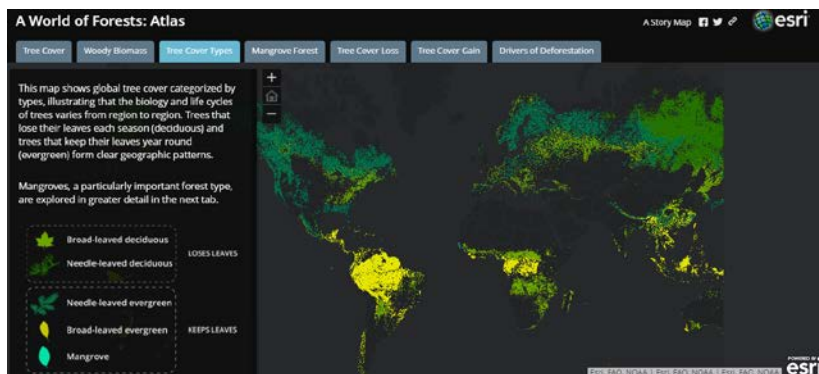


Рис. 4.2. Фрагмент карты-истории «Мир лесов: Атлас» («A World of Forests: Atlas») с использованием шаблона «серия карт» (по материалам Environmental Systems Research Institute)

- краткий список (Story Map Shortlist) – представляет точки интереса (достопримечательности и др.), организованные в набор вкладок. Пользователи могут щелкать на местоположениях, либо во вкладках, либо на карте, чтобы получить дополнительные сведения. Вкладки автоматически обновляются, когда пользователь перемещается по карте, и отображают интересные места в текущем экстенде карты.

- свайп карты-истории (Story Map Swipe and Spyglass) – дают пользователям возможность взаимодействовать с двумя веб-картами или двумя слоями одной веб-карты, в зависимости от того, как автор выстраивает свою историю. Приложение позволяет создать представление нескольких карт в едином виде или в серии видов, открывающихся в ходе повествования.

Конструктор историй в ArcGIS StoryMaps не является новым шаблоном или обновлением классических шаблонов Story Maps. Вместо шаблонов, в ArcGIS StoryMaps используется динамический конструктор историй с современными функциями. ArcGIS StoryMaps поддерживает файлы изображений до 20 МБ (форматы JPEG, PNG, GIF, BMP и др.), видеофайлы MP4 размером до 50 МБ, а также аудиофайлы, размером до 50 МБ (MP3 и WAV).

Использование Google Earth Studio, ArcGIS StoryMaps и других веб-картографических сервисов для создания анимационных роликов и проектов в области визуализации экологической информации может быть полезным при реализации следующих задач:

- отображение расположения источников антропогенной нагрузки на окружающую среду (промышленные и сельскохозяйственные предприятия, полигоны отходов и др.);

- наглядное представление пространственной информации об особенностях хозяйственного использования определённой территории (структура земель, развитие эрозионных процессов, площади рубок леса, закустаривание сельскохозяйственных земель и др.);

- отображение особенностей системы расселения и расположения объектов инфраструктуры (населённые пункты, транспортные магистрали, трубопроводы и др.);

- создание треков и маршрутов (онлайн-путеводитель, визуализация маршрута экспедиции, онлайн-экскурсии и др.).

### 4.3. Экологическая информация и маркетинг в социальных сетях

Использование ресурсов интернета и социальных сетей, в частности, является одним из направлений в области компьютерной визуализации и распространения экологической информации. Ведь даже самая актуальная, содержательная и эстетически привлекательная иллюстрация без размещения на нужных «площадках» останется незамеченной большинством. Создавая любую форму визуализации, автор должен чётко понимать, для кого она предназначена (т. е. кто является целевой аудиторией) и как представить её наиболее эффективно. В современных условиях интернет является основным источником информации для населения. В связи с этим для специалистов-экологов полезным будет знание основ маркетинга в социальных сетях (от англ. Social Media Marketing, SMM). Это комплекс мероприятий по продвижению чего-либо в социальных сетях.

Следует отметить, что SMM в основном используется для продвижения различных товаров и услуг, получения материальной (финансовой) выгоды. С целью экологизации производства и образа жизни людей возможности маркетинга в социальных сетях полезны для продвижения биоразлагаемых видов упаковки, экологичной мебели, одежды и посуды, замкнутых циклов использования воды и других ресурсов, продуктов питания, полученных по технологии органического сельского хозяйства, и т. д. Однако, данный комплекс мероприятий позволяет также освещать те или иные проблемы, формировать мнение и отношение к чему-либо. Этот аспект можно использовать для целей экологического просвещения населения.

В литературе по SMM речь идёт, как правило, о бренде. В области визуализации экологической информации и популяризации идей охраны природы лучше использовать термины «тема», «идея», «проект».

Эффективность SMM обусловлена следующими *преимуществами социальных сетей* перед другими средствами коммуникации:

1. Популярность канала и широкий охват аудитории. Вирусный маркетинг – создание привязанных к объекту продвижения инфоповодов (событий, которые могут вызвать интерес у публики и стать сообщением в средствах массовой информации), контента, интерактивных приложений, которые пользователи сами распространяют в своём окружении (видеоролики, инфографика и т. д.).

2. Таргетинг – это маркетинговый механизм, при помощи которого из всего числа интернет-пользователей можно выделить только ту це-

левую аудиторию, которая соответствует определенным критериям, и донести до нее необходимую информацию.

3. Нерекламный формат. Люди скептически относятся к рекламе и не любят её. Основной механизм взаимодействия в SMM – это общение на актуальные для пользователя темы и распространение интересного для него контента (он содержит обязательную промопривязку – с английского языка слово *promo* переводится как скидочный – но при этом в отличие от рекламы представляет ценность для пользователя).

4. Интерактивное взаимодействие.

В социальных сетях работа с аудиторией носит двусторонний характер: пользователи могут высказывать своё мнение, спрашивать, участвовать в опросах.

Основной упор в SMM делается на создание контента, который люди будут распространять через социальные сети самостоятельно, уже без участия организатора. Считается, что сообщения, передаваемые по социальным сетям, вызывают больше доверия у потенциальных потребителей услуги. Это связывается с рекомендательной схемой распространения в социальных медиа за счёт социальных связей, лежащих в основе взаимодействия.

Для глубокого понимания принципов и механизмов SMM необходимо владеть вопросами формирования стратегии проводимой кампании, брендинга, продвижения и управления сообществами в конкретных социальных сетях, проводить мониторинг социальных сетей и блогов, оценку эффективности SMM и др. В рамках задачи использования маркетинга в социальных сетях в области визуализации экологической информации, сконцентрируемся на **основных компонентах SMM**, которыми являются: стратегия, бренд-платформа, контент, привлечение аудитории, управление коммуникациями, отчётность.

Рассмотрим вопрос *SMM-стратегии* официального сообщества в социальных сетях в виде пошагового алгоритма (по Халилову Д.):

1. Определение целевой аудитории.

Одним из важнейших этапов в разработке стратегии является определение портрета целевой аудитории. Для этого необходимо ответить на ряд вопросов:

- география: где живут потенциальные потребители контента?
- социально-демографические характеристики: каковы пол, возраст, семейное положение, должность, образование, уровень доходов целевой аудитории?

- интересы, увлечения: что может привлечь аудиторию, на что она обращает внимание, какие другие товары и услуги аудитории нужны?

#### 2. Определение ключевых задач кампании.

В самом начале необходимо понять, какая задача либо несколько задач наиболее актуальны для достижения поставленной цели. От этого будут зависеть все дальнейшие действия в рамках кампании.

#### 3. Подбор площадок с высокой концентрацией целевой аудитории.

После того как аудитория определена, необходимо понять, где она сосредоточена – имеются в виду как глобальные площадки («ВКонтакте», Facebook, «Живой Журнал», нишевые сети), так и локальные (сообщества внутри социальных сетей, блоги, форумы, каналы в популярных мессенджерах).

Помимо этого, нужно упомянуть о важном для социальных сетей формате «кругового продвижения». В классическом маркетинге существует так называемый «закон трёх контактов»: для того, чтобы человек запомнил бренд (информацию о событии и т. п.), необходимо как минимум три «касания», то есть контакта человека с рекламой. В SMM ситуация схожая: чем больше количество сетей, из которых пользователь получает информацию, тем выше вероятность, что он её усвоит и, соответственно, станет на шаг ближе к принятию решения о действии, которое является целевым для проводимой кампании. Таким образом, принцип «кругового продвижения» состоит в том, чтобы вести активную деятельность на всех основных платформах и в каждом сообществе анонсировать остальные. Так, например, во «ВКонтакте» следует периодически упоминать Instagram, в Instagram – анонсировать записи из блога, в блоге рассказывать о канале на YouTube и т. д. В результате будет происходить частичный обмен аудиториями между этими сообществами. Помимо прочего, преимущество такого подхода состоит в предоставлении пользователю возможности выбирать ту площадку, чтение которой для него наиболее комфортно, в противовес навязыванию единственного варианта.

#### 4. Определение поведенческих особенностей аудитории.

Для того чтобы выбрать правильный формат продвижения, понять, какой контент будет интересен целевой аудитории, и определиться с политикой комьюнити-менеджмента (управления сообществом), необходимо определиться, какой шаблон онлайн-поведения свойственен этой аудитории. Существует три основные поведенческие категории пользователей: пассивные наблюдатели, участники дискуссий и генераторы контента.

В сегменте научных исследований (в частности, в области экологии) наблюдается значительная концентрация генераторов контента: люди склонны вести блоги, писать посты, начинать обсуждение чего-либо. В образовательной тематике больше всего участников дискуссий и пассивных наблюдателей; здесь пользователи в меньшей степени генерируют контент, однако нередко присоединяются к уже ведущимся обсуждениям, участвуют в опросах. Пассивные наблюдатели же воспринимают информацию, однако редко проявляют активность.

В зависимости от того, к какой категории принадлежит человек, можно, так или иначе, адаптировать под него кампанию. Так, если основу аудитории составляют генераторы контента, то необходимо создать сеть сообществ, оформить их, наполнить неким начальным контентом, а дальше пользователи сами их оживят. Соответственно, важнейшая задача в данном случае – дать людям возможность высказаться.

Если пользователи являются участниками дискуссий, то, помимо прочего, возникает необходимость вести комьюнити-менеджмент – открывать новые темы и давать им начальный импульс, чтобы затем пользователи продолжили обсуждение.

Если же большинство в сообществе – пассивные наблюдатели, необходимо транслировать информацию и создавать активность, а пользователи будут только смотреть и принимать к сведению. Распространено мнение, что пассивные наблюдатели бесполезны для маркетинговых задач. На самом деле это не так – они, несмотря на свою необщительность, являются такими же представителями целевой аудитории, как и все остальные, – количество просмотров и отметок «мне нравится» из такого рода сообществ обычно соответствуют средним показателям.

#### 5. Разработка контентной стратегии.

Основу продвижения составляют материалы, которые будут публиковаться в процессе кампании. Никакими способами невозможно заинтересовать человека тем, что ему безразлично. Именно поэтому необходимо заранее спланировать контентную стратегию на основании интересов целевой аудитории.

Элементы контентной стратегии таковы:

- основные темы публикаций;
- частота публикаций;
- стилистика публикаций;
- время публикации;
- соотношение промпостов и нейтральных постов.

Распространённой ошибкой в работе с контентом является его полное дублирование на всех площадках (так называемый «кросспостинг»). Такой подход значительно снижает эффективность и, как правило, вызывает у аудитории отторжение. Для каждой площадки есть свой оптимальный формат материалов. Приведём примеры для некоторых из них.

- Блог. Здесь лучше всего работает формат аналитической статьи, то есть довольно обширного текстового материала, посвящённого нужной тематике. Оптимальный размер поста – 2000–5000 символов. Большие по объёму материалы лучше разбивать на серию постов, иначе резко снижается вероятность их прочтения. Также рекомендуется каждые 2–3 абзаца разделять изображениями или фотографиями – это позволит избежать ощущения «стены текста».

- «ВКонтакте». На данной площадке хорошо работает формат дискуссий. После создания темы в обсуждениях пользователи сами её развивают. Также эффективно бывает публиковать небольшие анонсы и заметки (до 200 символов) в формате микроблога. Однако следует помнить, что подавляющее большинство пользователей «ВКонтакте» лучше воспринимают визуальный контент, поэтому рекомендуется, чтобы не менее 50 % всех материалов занимал фото- и видеоконтент.

- Twitter. Главный акцент Twitter – публикация привлекающих внимание объявлений со ссылками на страницы, где можно получить больше информации. Например, это могут быть анонсы событий, новых постов в блоге и т.д. Также в Twitter хорошо работает формат коротких практических рекомендаций, так или иначе связанных с нужной тематикой.

6. Определение системы метрик (показателей эффективности SMM).

Для того чтобы понимать, выполняются ли поставленные перед кампанией цели, требуется ли коррекция действий, правильно ли была подготовлена концепция, необходимо заранее определить систему показателей эффективности (метрик) и в процессе ориентироваться именно на них. Выбор метрик зависит в первую очередь от задач кампании. Существуют совершенно разные критерии, как общие (охват аудитории, характер активности), так и более конкретные.

7. Определение необходимых ресурсов.

Как правило, продвижение в социальных сетях требует двух видов ресурсов, – это:

- временные ресурсы (т. е. собственно время, затраченное на SMM);

- материальные ресурсы (в том числе затраты на аутсорсинг: дизайн сообществ, создание приложений, написание постов).

Будет правильно заранее определить необходимые для проводимой кампании ресурсы и с целью их экономии распределить зоны ответственности.

8. Разработка календарного плана (на 1–2 недели, реже – на месяц).

До тех пор, пока для каждого мероприятия не будут назначены соответствующие сроки, стратегию нельзя считать готовой для реализации. Календарный план представляет собой схему, в которой в хронологическом порядке назначены даты для всех основных действий, в частности:

- запуск мероприятий в каждой из сетей;
- дедлайн по каждому из мероприятий;
- расписание публикации материалов;
- замер по основным метрикам.

Данные из календарного плана целесообразно вносить в какую-либо систему управления проектами или визуализировать с помощью диаграммы Ганта. В этом случае, во-первых, исполнитель станет получать напоминания о старте тех или иных мероприятий; во-вторых, можно будет наглядно отслеживать ход кампании – проблемы, отставания – и своевременно принимать необходимые меры.

9. Оценка эффективности и коррекция кампании.

Как и любой другой маркетинговый инструмент, SMM требует постоянной доработки и оптимизации. Так что с определенной периодичностью необходимо проводить анализ достигнутых результатов и на его основании корректировать кампанию.

Имеет смысл отслеживать сравнительную конверсию посетителей (отношение числа посетителей сайта, выполнивших на нём какие-либо целевые действия, к общему числу посетителей сайта, выраженное в процентах) из различных источников: из социальных сетей, блогов, поисковых систем и т. д. Это позволит понять, какие источники наиболее эффективны, какие требуют доработки, а также оценить, насколько рентабельно использование того или иного инструмента.

*Бренд-платформа* – это совокупность всех сообществ в социальных медиа, на которых бренд общается с целевой аудиторией.

Если проводимая кампания рассчитана на несколько целевых аудиторий, это обязывает создавать под каждую из них свою площадку для коммуникации, поскольку:

- у разных аудиторий свои интересы и предпочтения;
- у каждой из них своё отношение к теме (объекту продвижения, бренду);
- разным группам пользователей присущи свои «места обитания».

Выбор места организации сообществ зависит не от субъективных предпочтений, а от того, где живёт целевая аудитория.

*Контент* (содержание) можно условно разделить на следующие виды: образовательный, полезный, развлекательный, интерактив, информационный (брендированный) и продающий.

Распределение контента по данным видам зависит от целевой аудитории. SMM-кампания в области экологического просвещения широкого населения ориентирована на неспециалистов, которые не обладают профессиональным образованием. Она должна строиться на балансе между образовательным, развлекательным и интерактивным контентом. Если основное содержание публикаций будет перегружено сложной для понимания информацией, пользователи не придадут ей должного внимания. Наоборот, подача научных данных в необычной и эстетически привлекательной форме, будет способствовать интересу и более высокому отклику аудитории. Компьютерная визуализация экологической информации в данном вопросе открывает широкие возможности, в особенности это касается создания разнообразной инфографики (с использованием растровых и векторных графических редакторов) и анимационных роликов.

Если целевая аудитория кампании относится к научной или практической сфере, обилие развлекательного контента будет неуместным. В таком случае контент-стратегия будет основываться на полезном, интерактивном и продающем (различные экоуслуги) виде контента.

Для более удобного ориентирования и поиска интересующей пользователя информации в интернет-пространстве социальных сетей используются хештеги и геотеги.

Хештег (англ. *hashtag* от *hash* – знак «решётка» + *tag* – метка) – ключевое слово или несколько слов сообщения, тег (пометка), используемый в микроблогах и социальных сетях, облегчающий поиск сообщений по теме или содержанию и начинающийся со знака решётки.

Геотегинг (греч. *γαια* «земля», англ. *tag* – «ярлык, этикетка, бирка; метить») – процесс присоединения географических метаданных к раз-

личным информационным ресурсам, таким как веб-сайты, фотографии, как-либо характеризующие эти ресурсы (точка съёмки, месторасположение и т. п.). Эта информация состоит, как правило, из координат широты и долготы, хотя она может включать также высоту, расстояние и направление до населенных пунктов.

*Привлечение аудитории.* Существует 3 способа привлечения аудитории на бренд-платформу: френдинг, посев и медиареклама.

Френдинг даёт возможность привлекать людей в сообщество посредством адресного ручного отправления им предложений стать другом, а затем – войти в группу. Характеристики френдинга: ресурсоёмко, точно, узкий охват, нет рекламного эффекта, высокая эффективность, высокая стоимость контакта.

Посев позволяет привлечь аудиторию в сообщество с помощью размещения актуального и интересного контента (статья, ролик, фото, приложение, подкаст) на всех площадках, где присутствует целевая аудитория. Характеристики посева: быстрое распространение информации (зачастую самими пользователями), широкий охват, наличие рекламного эффекта, основная часть временных и материальных ресурсов уходит на производство контента.

Медиареклама представляет собой платное размещение информации в социальных сетях с возможностью таргетирования (контекстная реклама, баннеры). Медиарекламу отличает: большой охват, низкий CTR (от англ. *click-through rate* – кликабельность, метрика в интернет-маркетинге, определяется как отношение числа кликов на баннер или рекламное объявление к числу показов, измеряется в процентах), очень сильный рекламный эффект, основная часть временных и материальных ресурсов уходит на размещение контента, таргетинг и договоренности с площадками.

Наиболее эффективным способом привлечения аудитории для SMM в области экологии является посев.

*Управление коммуникациями.* Помимо привлечения в сообщество новых представителей целевой аудитории, необходимо также удерживать интерес уже имеющихся участников. Для этого нужно выстроить систему так называемого комьюнити-менеджмента – комплекса мероприятий по управлению сообществом. Наиболее важные рекомендации приведены ниже.

#### 1. Учёт интересов каждой категории участников сообщества.

Как уже говорилось, существует три основных категории участников: пассивные наблюдатели, участники дискуссий и генераторы контента. Необходимо определять политику комьюнити-менеджмента в

зависимости от того, представители какой категории преобладают в сообществе: публиковать собственные материалы, открывать темы для обсуждений или предоставлять возможность пользователям самим создавать основную часть контента.

## 2. Регулярность проведения конкурсов.

Один из наиболее действенных механизмов комьюнити-менеджмента – проведение конкурсов. Он позволяет решить сразу несколько задач:

- вовлечь аудиторию в активные действия (способствует более частому возвращению пользователей в сообщество);
- привлечь новых участников (особенно через различные голосования, которые стимулируют участников приглашать в сообщество знакомых и максимально широко распространять информацию о проведении и результатах конкурса);
- наполнять группу пользовательским контентом.

Зачастую конкурсы строятся таким образом, что участвующие в них пользователи сами формируют контент, связанный с определённой темой. Например, создают фотоколлажи и плакаты на экологическую тематику, фотографируются в процессе участия в научных конференциях и различных экологических акциях, записывают видеобращения и др. Всё это накапливается в сообществе и тем самым повышает его ценность для участников.

## 3. Стимулирование обсуждений в сообществе.

Сами по себе обсуждения, как правило, не появляются. Вообще пользователи более склонны присоединяться к уже идущим дискуссиям, нежели заводить свои. Именно поэтому инициативу нужно проявлять администраторам сообщества. Практика показывает, что минимальный уровень активности, после которого пользователи начинают воспринимать сообщество как «живое» и оставлять сообщения – 15 тем по 10 сообщений в каждой.

Важным элементом также является комментирование постов администраторами сообщества. Оно направлено на поддержание диалога с аудиторией и мотивирует её продолжать общение. Обязательным при этом является вежливость, доброжелательное отношение и своевременность ответа.

## 4. Очищение группы от спама.

Пользователи перестают ходить в группу, если в ней постоянно накапливается спам. Оптимальная частота модерации для крупных и активных сообществ – два раза в день.

## 5. Проведение в сообществе консалтинговых акций.

Если в группе будет присутствовать эксперт, который периодически станет отвечать на возникающие вопросы по теме, связанной с деятельностью организации (с проектом и др.), – это значительно повысит интерес пользователей и послужит дополнительным стимулом для их периодического возвращения. И тут важно соблюсти несколько условий: консультант действительно должен быть экспертом в данной теме; необходимо заранее обрисовать круг вопросов, по которым возможны консультации; ответы должны носить не рекламный характер, а быть объективными и информативными; следует заранее обозначить срок ответов на вопросы.

#### 6. Составление карты интересов сообщества.

Необходимо оценивать, какие темы, публикуемые в группе, получают наибольшее количество лайков. Таким образом постепенно станет понятно, что наиболее интересно участникам сообщества, и как адаптировать размещаемые материалы.

#### 7. Регулярное обновление информации.

Оптимальная частота обновления для разных сообществ будет отличаться. Для небольших, узкоспециализированных групп возможна одна публикация в день или два-три дня. Для крупных сообществ эта частота сильно увеличивается: один-три раза в день – посты, один раз в день – фотоальбомы и видеозаписи, новые обсуждения – дважды в неделю. Естественно, это лишь приблизительные схемы обновлений. Корректно составить такой план можно только с учётом всех нюансов для конкретного сообщества. Кроме того, по мере развития группы пользователи сами будут обновлять фотоальбомы, видеозаписи и обсуждения.

#### 8. Отказ от кросспостинга с других площадок.

В каждой социальной сети и на каждом фото- и видеохостинге есть свой оптимальный формат контента. Перепечатка материалов с площадки на площадку вызывает у людей отторжение.

Необходимо иметь в виду, что работа с собственным сообществом – это инструмент, рассчитанный на долгосрочный результат. По мере роста сообщества повышается и его эффективность. Каждый пост увеличивает охват, соответственно, все больше пользователей оказываются вовлечены во взаимодействие с объектом продвижения (темой).

*Статистика и отчетность.* Как и в любой маркетинговой системе, в SMM актуальной задачей является мониторинг отношения пользователей к каким-либо объектам, темам и др. Причем если в класси-

ческом маркетинге для такого мониторинга необходимы трудоемкие исследования, опросы, работа с фокус-группами, то в случае с социальными сетями процесс гораздо менее трудозатратен. Мониторинг представляет собой ручной или автоматический поиск упоминаний сообщества (названия проекта, организации и др.) в социальных сетях и блогах, а также их дальнейшая обработка и анализ собранной информации.

Оценка эффективности SMM может проводиться как в форме анализа собственного сообщества, так и путём мониторинга и анализа действий конкурентов (схожих проектов и сообществ) в социальных медиа. Основные параметры такого анализа включают в себя следующие пункты:

- охват аудитории – сколько контактов с аудиторией было произведено как в рамках всей кампании, так и на каждой из площадок по отдельности;
- количество подписчиков сообществ (каналов, блогов и др.);
- соответствие портрету целевой аудитории – для определения показателя обычно берется случайная выборка пользователей сообщества и вручную проводится анализ на предмет соответствия социально-демографических и других показателей изначально заданным критериям целевой аудитории (норма – соответствие 70 % и более);
- количество посетителей страницы – процент вступивших в сообщество и регулярно в него возвращающихся пользователей (минимально допустимым является ежедневная посещаемость 3 % от общего количества участников группы);
- количество social action – любых действий пользователя внутри сообществ (комментарии, отметки «мне нравится», закачанный контент и др.);
- резонанс – показатель того, как часто материалы (посты, фото и видео) републикуются пользователями (репосты);
- информационный фон – данные, получаемые в ходе мониторинга социальных сетей, в частности, количество упоминаний сообщества (названий проекта, организации и др.), а также соотношение позитивных, негативных и нейтральных высказываний;
- количество трафика на внешний сайт – переход посетителей на сайт (страницу и др.);
- качество трафика – включает среднее время, проводимое пользователями на сайте; среднее количество страниц, просматриваемое

пользователями; показатель отказов (доля посетителей, после первой страницы покинувших сайт);

- количество целевых действий, совершенных посетителями – регистрация на сайте, общение с консультантом или администратором, оформление подписки и рассылки, онлайн-звонок и др.;

- количество продаж.

Помимо описанных выше основных компонентов SMM, безусловно важным является *визуальная стилистика сообщества*. Удачное оформление названия, качественно выполненные обложка и логотип, наличие единого стиля публикаций (использование корпоративных цветов, шрифтов и др.), индивидуальных стилей для различных рубрик позволит выгодно выделить сообщество среди всего многообразия других. В серьёзных компаниях и проектах уделяют большое внимание брендингу.

Создать эффектную визуальную составляющую сообщества для проведения SMM кампании позволит использование принципов графического дизайна, особенностей визуализации информации и функциональных возможностей разнообразных программных средств, описанных в данном учебном пособии.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проблема охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов в настоящее время является как никогда актуальной, что не вызывает сомнений ни у специалистов, ни у широких слоёв населения. Проведение научных исследований в области экологии осуществляется как на международном уровне, так и в масштабе отдельных регионов и стран. Однако, большая часть информации о проводимых исследованиях, результатах практической деятельности является узкоспециализированной и сложной для понимания.

Компьютерная визуализация является эффективным способом решения данной проблемы. Использование функциональных возможностей графических редакторов, геоинформационных систем, программ по созданию анимации позволяет представить разнокачественную экологическую информацию максимально наглядно. Широкие перспективы в области популяризации научных представлений и экологического просвещения в целом предлагают ресурсы интернета.

Тем не менее, стоит подчеркнуть, что значение современных информационных технологий не должно быть гиперболизировано. Это лишь эффективный инструмент в достижении поставленной цели. Помимо владения современными программными средствами в области компьютерной графики и анимации, перед началом работы специалист-эколог должен понимать, зачем, что и для кого собирается делать. В основе ответов на эти вопросы в первую очередь лежит знание экологии и её проблем. Сочетание классических подходов к представлению информации с учётом психофизиологических особенностей человека, принципов графического дизайна и апробированных методов исследований позволит наиболее эффективно выполнять задачи в области визуализации экологической информации.

Данное учебное пособие, по замыслу авторов, вообрало в себя как современные тенденции и методы визуализации информации, так и ставшие классическими представления в области картографии, дизайна, психологии и др. отраслей науки.

Надеемся, что изучение теории и практики компьютерной визуализации экологической информации поможет читателям в их дальнейшей профессиональной деятельности.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антипова, О. С. Компьютерная визуализация экологической информации / Типовая учебная программа по учебной дисциплине для специальности 1-33 80 01 Экология / О. С. Антипова. – Минск: БГУ, 2020. – 20 с.
2. Антипова, О. С. Геоэкологическая оценка среды жизнедеятельности населения Беларуси: дис. ... канд. геогр. наук: 25.03.13 / О. С. Антипова. – Минск, 2017. – 260 л.
3. Геоинформатика: учебник для студентов вузов: в 2 кн. / Е. Г. Капралов [и др.]; под ред. В. С. Тикунова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Изд. центр «Академия», 2010. – 480 с.
4. Гурьянова, Л. В. Введение в географические информационные системы: пособие для студентов географических факультетов / Л. В. Гурьянова. – Минск: БГУ, 2009. – 128 с.
5. Компьютерное моделирование эволюции микробной популяции: преодоление локальных минимумов при достижении пика на ландшафте приспособленности / С. А. Лашин [и др.] // Генетика. – 2020. – Т. 56. – № 2. – С. 234–246.
6. Королькова, А. Живая типографика / А. Королькова. – Москва: IndexMarket, 2007. – 224 с.
7. Миронов, Д. Ф. Компьютерная графика в дизайне / Д. Ф. Миронов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 560 с.
8. Мустафин, З. С. Филостратиграфический анализ генных сетей заболеваний человека / З. С. Мустафин, С. А. Лашин, Ю. Г. Матушкин // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2021. – Т. 25. – № 1. – С. 46–56.
9. Мыслыва, Т. Н. Сравнение эффективности методов интерполяции на основе ГИС для оценки пространственного распределения гумуса в почве / Т. Н. Мыслыва, О. А. Куцаева, А. А. Подлесный // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 4. – С. 146–152.
10. Перемитина, Т. О. Компьютерная графика: учебное пособие / Т. О. Перемитина. – Томск: Эль Контент, 2012. – 144 с.
11. Стурман, В. И. Экологическое картографирование: учеб. пособие / В. И. Стурман. – Москва: Аспект Пресс, 2003. – 251 с.
12. Уильямс, Р. Дизайн. Книга для недизайнеров: принципы оформления и типографики для начинающих / Робин Уильямс; пер. с англ. В. Черник. – 4-е межд. изд. – СПб.: Питер, 2016. – 240 с.
13. Филатов В. Н. Миграции тихоокеанской сайры в период нагула в районе Курильских островов и Охотского моря / В. Н. Филатов // Известия ТИНРО (Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра). – 2004. – Т. 139, С. 260–270.
14. Халилов, Д. Маркетинг в социальных сетях: учебное пособие / Д. Халилов – СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2016. – 376 с.
15. Labadie M., Denoyes V., Guédon Y. Identifying phenological phases in strawberry using multiple change-point models // Journal of experimental botany. – 2019. – Т. 70. – № 20. – С. 5687–5701.
16. A specific gibberellin 20-oxidase dictates the flowering-runnering decision in diploid strawberry / Т. Tenreira [et al.] // The Plant Cell. – 2017. – Т. 29. – № 9. – С. 2168–2182.

### Электронные информационные источники

1. 11 правил визуализации данных // Медиа Нетологии [Электронный ресурс] – 2017. – Режим доступа: <https://netology.ru/blog/11-pravil-vizualizacii-dannykh>. – Дата доступа: 10.09.2021.
2. 12 основных принципов анимации // Andrey Gavrilov / YouTube [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLqoRV2CUCoJ5lWKY20VLJGGcfulESr8dU>. – Дата доступа: 12.08.2021.
3. Веб-картографический сервис по созданию карт-историй // Environmental Systems Research Institute [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://storymaps.arcgis.com/stories>. – Дата доступа: 12.08.2021.
4. Веб-картографический сервис Google Earth // Google Earth [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.google.com/earth>.
5. Веб-картографический сервис Google Earth Studio // Google Earth Studio [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://earth.google.com/studio>.
6. Геопортал земельно-информационной системы Республики Беларусь // Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь, УП «Проектный институт Белгидрозем» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gismap.by>.
7. Официальный сайт компании «ESRI» // Environmental Systems Research Institute [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://esri.com>.
8. Environmental Performance Index 2020 // Yale University, Columbia University [Electronic resource]. – Режим доступа: <https://epi.yale.edu/>.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ОСНОВЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ .....	4
1.1. Понятие и классификация компьютерной графики.....	4
1.2. Компьютерная растровая и векторная графика: специфика и область применения.....	7
1.3. Основы графического дизайна. Базовые принципы графического дизайна и их применение в компьютерной визуализации экологической информации.....	17
2. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ В ЭКОЛОГИИ.....	40
2.1. Источники данных и основные этапы анализа экологической информации .....	41
2.2. Основные виды отображения экологической информации.....	46
2.3. Визуализация статистических данных и результатов их обработки, полученных при расчёте Индекса экологической эффективности стран мира.....	56
2.4. Визуализация экспериментальных данных, полученных при помощи многоточечных моделей, об идентификации фенологических фаз у земляники садовой.....	62
2.5. Визуализация экспериментальных данных об эволюции микробной популяции в питательной среде.....	67
2.6. Визуализация экспериментальных данных о флостратиграфическом анализе генных сетей заболеваний человека .....	71
3. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ В ЭКОЛОГИИ .....	82
3.1. Общие принципы визуализации пространственных данных.....	82
3.2. Экологическое картографирование. Классификация экологических карт .....	85
3.3. Картографические способы изображения, применяемые в экологическом картографировании .....	90
3.4. Использование ГИС-технологий в визуализации экологической информации....	98
3.5. Визуализация экспериментальных данных о миграции тихоокеанской сайры в период нагула в районе Курильских островов и Охотского моря.....	102
3.6. Визуализация экспериментальных данных об оценке пространственного распределения гумуса в почве при помощи различных методов интерполяции на основе ГИС .....	106
4. СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ОБЛАСТИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ.....	116
4.1. Использование компьютерной анимации в экологии .....	117
4.2. Ресурсы интернета и возможности их использования для визуализации экологической информации .....	130
4.3. Экологическая информация и маркетинг в социальных сетях .....	136
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	148
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	149

Учебное издание

**Пугачёва** Ирина Геннадьевна  
**Антипова** Ольга Сергеевна

**КОМПЬЮТЕРНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ  
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ**

Учебно-методическое пособие

Редактор *Е. П. Савиц*  
Технический редактор *Н. Л. Якубовская*

Подписано в печать 15.12.2021. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.  
Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 8,83. Уч.-изд. л. 7,67.  
Тираж 30 экз. Заказ

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».  
Свидетельство о ГРИИРПИ № 1/52 от 09.10.2013.  
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».  
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.