

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«СИБИРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ»
(ФГБОУ ВПО «СГГА»)
Институт геодезии и менеджмента
Кафедра картографии и геоинформатики

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
ОСНОВЫ ЦВЕТОВОЙ ПЛАСТИКИ
(5 СЕМЕСТР)

Новосибирск
2013

СУЩНОСТЬ СВЕТОТЕНЕВОЙ ПЛАСТИКИ. ЗАКОНОМЕРНОСТЬ И ЭЛЕМЕНТЫ СВЕТОТЕНИ. ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СВЕТОТЕНИ. СВЕТОТЕНЬ НА РАЗНЫХ ФОРМАХ РЕЛЬЕФА

К способам, позволяющим создать объемное, пространственное изображение рельефа на плоскости, относится *светотеневая пластика*. Создание карт со светотеневой пластикой — задача, прежде всего, художественная. Получение объемного изображения основано на принципах изобразительного искусства. *Светотень* — система тональных переходов от светлого к темному. Степень светлоты, плавность или резкость границ светотени зависят от особенностей рельефа местности. В основе правдоподобности, наглядности и убедительности светотеневого изображения лежат явления реальной действительности, закономерности распределения светотени на реальных объемных телах в конкретных условиях освещения.

Элементы светотени: свет, собственная тень, падающая тень, полутень, тени в углублениях, рефлекс, блик.

Свет — участок, освещенный источником и максимально отражающий свет в сторону наблюдателя.

Собственная тень — неосвещенная часть предмета, контур тени во многом передает форму объекта.

Падающая тень — тень, отбрасываемая предметом на соседние объекты. Падающая тень может в разной степени закрывать освещенные поверхности. Контуры ее определяются направлением лучей света, формой предмета, отбрасывающего тень, и положением поверхности, на которую падает тень. В рельефе падающая тень создает ощущение отступления формы.

Полутень — участок, где свет падает под большим углом.

Тени в углублениях — темные места, где свет теряется из-за многократных его отражений; в результате ослабления света в отрицательных формах рельефа тени становятся интенсивнее.

Рефлекс — освещение отраженными лучами соседних предметов. Отраженный свет всегда слабее направленного вследствие поглощения. Изобразительные свойства рефлекса состоят в том, что он передает объемность форм, закрытых собственной тенью, и создает общий эффект объемности изображаемого рельефа.

Блик — направленное отражение света от гладкой поверхности.

Особенности светотеневого изображения, характер распределения элементов светотени в рельефе связаны с направлением света и условиями освещения. Наиболее эффективным является направление света, не совпадающее с лучом зрения наблюдателя', при этом на формах четко проявляются все элементы светотени.

В практике светотеневого изображения применяют отвесное освещение, при котором источник света направлен под углом 90° к горизонтальной плоскости, и косое (боковое), где источник света занимает промежуточное положение между отвесным и горизонтальным.

При отвесном освещении распределение света и тени зависит от крутизны склонов, т.е. чем больше угол наклона поверхности к горизонту, тем меньше угол падения луча света и, соответственно, ее освещенность. При угле наклона 90° поверхности полностью закрыты тенью. Здесь действует принцип: «чем круче, тем темнее». При отвесном освещении большая часть поверхности является полуосвещенной (за исключением горизонтальной). При этом наблюдается слишком слабая контрастность света и тени, что не создает отчетливого восприятия специфики форм горного рельефа. Применение отвесного освещения дает хорошие результаты для изображения холмисто-эрозионного рельефа. Большая часть поверхности равнинного рельефа остается незатененной, что способствует улучшению читаемости других элементов содержания карты, а наименее освещенные крутые склоны оврагов и балок четко выделяются элементами светотени на светлом фоне равнинной поверхности.

При косом освещении в практике оформления карт наибольшее применение получило светотеневое изображение рельефа. В этом случае распределение света и тени зависит в основном от направления световых лучей. При косом освещении направление светового луча не совпадает с направлением луча зрения, что обеспечивает больший пластический эффект светотеневого изображения. Косое освещение дает резкие контрасты света и тени, подчеркивая тем самым направление крупных орографических структур и их расчлененность.

Но этот метод не дает правильного отображения крутизны склонов; увеличение тени с высотой носит условный характер. Интенсивность светотени и ее объективное распределение на поверхности могут быть определены через освещенность, пропорциональную косинусу угла между направлением светового луча и нормалью к поверхности.

Получив значения освещенности в разных точках поверхности, построив изофоты (линии равной освещенности), можно дать правильное распределение светотеней на различных элементах рельефа. Но трудоемкость подобной работы делает ее малореальной.

Использование средств автоматизации позволяет разработать более рациональные методы выполнения светотеневого изображения рельефа на географических картах. При использовании косого (бокового) освещения необходимо определить азимутальное направление света, учитывая, что источник света, подобно солнцу, меняет не только высоту, но и положение относительно сторон горизонта. Естественные условия положения солнца, которое в Северном полушарии находится большую часть дня в южной стороне небосклона и продолжительнее освещает склоны южной экспозиции, дают основание для применения южного, юго-восточного или юго-западного освещения. Например, рельеф морского дна показан при юго-восточном освещении.

Однако в картографической практике принято северо-западное освещение. Это связано с традиционным и наиболее удобным положением

источника света при чтении, черчении и т.п., когда свет падает слева (или сверху). Такое постоянство направления световых лучей упрощает нанесение теней.

Наибольшая пластичность при северо-западном освещении достигается при высоте источника света около 30° . Но это не означает, что луч света должен иметь строго установленное направление. Оно может колебаться (иногда даже в диапазоне $70\text{—}80^\circ$) в зависимости от расположения изображаемых форм и их отношения друг к другу, оставаясь в пределах северо-западного направления и не нарушая его закономерного действия на светотень.

Комбинированное освещение основано на применении нескольких направлений света. Оно сочетает в себе принципы отвесного и косого освещений, а также воздушной перспективы. Суть последнего состоит в изменении цвета, понижении четкости и контрастности предмета с его удалением от глаза наблюдателя под влиянием воздушной дымки (мутные среды).

Прием воздушной перспективы, широко применяемый в живописи для отражения дали, пространства, дает хороший пластический эффект в светотеневом оформлении рельефа. Он достигается усилением контрастности светотеней неосвещенных склонов в верхней части и некоторым подтением освещенных склонов у подошвы (при рассматривании сверху). Широкий диапазон изменения направления света при комбинированном освещении позволяет сохранить большее географическое подобие рельефа. Но в практике оформления комбинированное освещение используется редко ввиду сложности учета всех светотеневых изменений отвесного и косого освещения на многообразных формах рельефа.

Для получения светотеневого изображения используют различные *графические приемы*: штрихи, тушевку, отмывку, фоторельеф (фотография с рельефной модели), освещенные горизонталы.

Их применение обусловлено развитием техники картоиздания. До середины XIX века единственным способом печатания карт была гравюра,

которая допускала лишь воспроизведение штрихового рисунка. В этот период изображение рельефа штрихами получило широкое развитие.

Использовались два принципа построения штрихов:

- штрихи крутизны строились по принципу отвесного освещения поверхности земли. Вычерчивание штрихов производилось, как указывалось выше, по правилу «чем круче, тем темнее». Короткие штрихи разной длины и толщины, направленные вдоль склона, принимались за элемент тени, а просветы между ними — за элемент света;

- теневые штрихи строились по принципу косо́го (бокового) освещения. Построение штрихов, направленное на передачу относительной освещенности и затемненное склонов различной ориентировки, выделение крупных и мелких форм рельефа, обеспечивало хороший пластический эффект.

Самый крупный опыт использования теневых штриховых — «Топографическая карта Швейцарии», 1:100 000, которая до сих пор является шедевром художественного исполнения рельефа. С введением литографии (в середине XIX в.) освоен в печати способ светотеневого изображения рельефа — отмывка кистью или тушевка карандашом. Он является наиболее распространенным способом в оформлении рельефа на современных картах.

Тушевка — средство художественного непрерывного полутонового изображения. Наиболее широкое применение она нашла в живописи в изготовлении художественных иллюстраций. Совершенствование технологии создания карт, использование прозрачных пластиков в составительских работах при изготовлении полутоновых оригиналов значительно расширило применение тушевки в картографическом производстве. Выполнение тушевки рельефа на пластиках — достаточно легкий и экономичный способ. Практика воспроизведения рельефа в печати, изготовленного этим способом, показала хорошее качество и подтвердила его рациональность.

Отмывка — наиболее выразительный прием светотеневого изображения, широко внедрившийся в оформление географических карт. Изображение может быть ахроматическим и цветным. На географических картах отмывка

используется как самостоятельный способ изображения рельефа в основном на мелкомасштабных картах (общегеографических и тематических), а также на туристских разных масштабов. Во многих современных комплексных атласах в содержание топографической основы тематических карт включается рельеф, выполняемый отмывкой, как правило, в серо-голубых тонах (карты Атласа Забайкалья, 1967; национальных атласов: Атласа Швейцарии; 1965; Атласа Великобритании; 1963; Румынии, 1977; Атласа Природа и ресурсы мира, 1999 и др.).

Для повышения точности и пластичности изображения рельефа применяют *сочетание отмывки с горизонталями и послойной окраской*, что особенно эффективно на общегеографических картах горных территорий. Большой художественностью, наглядностью и тонкостью исполнения сочетаний отмывки с горизонталями отличаются топографические карты Швейцарии, Австрии, Франции и др. При использовании сочетаний способов пластичность изображения рельефа, его читаемость во многом зависит от выбора цветовой шкалы послойной окраски.

Как указывалось ранее, наиболее удачными являются цветовые шкалы, осветляющиеся с высотой. Шкалы, построенные по принципу: «чем круче, тем темнее» в сочетании с отмывкой, дают небольшой пластический эффект и, кроме того, из-за низкой светлоты в верхних ступенях снижают читаемость других элементов содержания карты. Поэтому для совместного применения с отмывкой разрабатывают цветовые шкалы с постоянной светлотой, обеспечивая прозрачность цветов во всей шкале. Светотеневое изображение рельефа на карте можно получить фотографированием рельефной модели местности — фоторельефом.

Фоторельеф может быть основным содержанием карты с незначительным нанесением других элементов, как это дано на карте рельефа в Атласе США (1970). В других случаях фотография с рельефной модели впечатывается в карту с тематическим содержанием и служит его основой.

Получение светотеневого изображения подобным методом при высококачественном его изготовлении обеспечивает на карте хороший пластический эффект, читаемость и наглядность форм рельефа. Это особенно можно видеть на картах в национальном Атласе Болгарии (1973). Использование моделей для получения фоторельефа представляется вполне целесообразным, однако требует разработки рациональной технологии процесса изготовления. Возможно пластическое оформление рельефа при отображении его горизонталями (изобатами).

Один из приемов — *изменение толщины линий горизонталей на освещенных и затененных склонах* (тонкие линии на освещенных, утолщенные — на затененных). Линии разной толщины создают эффект распределения света и тени, усиливают наглядность изображения. Этот прием применил русский военный инженер Э. И. Тотлебен при составлении карт во время обороны Севастополя (1854-1855).

Другой прием — *оформление горизонталей в два цвета по принципу косого освещения*: белый — на освещенных склонах, черный — на затененных с плавным изменением толщины линий в зависимости от направления светового луча. Этот способ получил название — освещенные горизонталы (изобаты). Впервые его применил японский картограф И. Танака для отображения рельефа дна Тихого океана. Оформление белым цветом освещенных и синим — затененных участков рельефа на голубом фоне окраски моря создает наилучший пластический эффект и отражает реалистическую картину многообразия форм и типов рельефа морского дна.

Способ освещенных изобат нашел широкое применение на многих современных картах рельефа дна Мирового океана и Атласов океанов. К другим художественным приемам относится *перспективное изображение рельефа*, применяемое ранее на старинных картах и вновь появившееся на современных в виде наглядных перспективных изображений основных морфологических ландшафтов (типов рельефа).

Перспективный способ используется также на современных картах для оформления рельефа морского дна, где он в сочетании со светотенью создает хорошую пластичность и наглядность в передаче крупных структур и отдельных форм рельефа. Перспективное изображение (иногда в сочетании со светотеневой пластикой) широко используется на туристских картах и в атласах. Ярким примером является Ski Atlas (Атлас для горнолыжников), изданный в Швейцарии (1978).

ГРАФИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ СВОТОНЕВОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ И ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ СВОТОНЕВОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ РЕЛЬЕФА

Отмывка как один из методов изображения рельефа должна отвечать общим требованиям, предъявляемым к его отображению на географических картах. Эти требования базируются на научно разработанных методах и приемах составления рельефа, основанных на глубоких географических знаниях территории, в частности структуры земной коры, рельефообразующих факторов, характера развития рельефа и т.п. Поэтому выполнение рельефа отмывкой должно обеспечивать на карте:

- географически правильную передачу рельефа в целом, его орографическую структуру, относительные высоты главных объектов и др.;
- отображение типов рельефа, закономерностей их размещения и взаимосвязей с другими явлениями природы (для мелкомасштабных карт);
- выделение основных форм рельефа, их морфологическую специфику (для карт средних масштабов).

Важным этапом являются подготовительные работы, цель которых состоит в географическом изучении картографируемой территории, выявлении главных орографических направлений; общей картины рельефа, особенностей морфологии его типов и отдельных форм. Источниками изучения могут быть гипсометрические карты с подробной шкалой сечения, карты с перспективным

и пластическим изображением рельефа, различные тематические карты (тектонические, геоморфологические и др.); аэро- и космические снимки, дающие объективное и весьма наглядное отображение рельефа (особенно горных территорий), а также разнообразные литературные источники, картины и фотографии.

Основной результат подготовительных работ — составление орографической схемы в масштабе будущего оригинала карты с кратким описанием. Содержание орографической схемы зависит от характера рельефа территории. Такая схема особенно важна для выполнения отмывки горных районов, где рельеф имеет сложное строение. Орографическая схема обеспечивает:

- сохранение географического правдоподобия рельефа на карте (направление горных хребтов, их протяженность, степень расчленения, относительные высоты);
- правильное отображение типа рельефа и его крупных форм;
- выявление закономерностей и характера распределения светотени (резкость границ света и тени, плавность переходов, интенсивность тени и т.д.) для отображения характерных черт рельефа территории.

ОСОБЕННОСТИ ОТМЫВКИ ОСНОВНЫХ ФОРМ И ТИПОВ РЕЛЬЕФА

Светотеневой способ изображения рельефа используется главным образом на мелкомасштабных картах (мельче масштаба 1:1 000 000) . Исключение составляют обзорно-топографическая карта масштаба 1:500 000, где рельеф показан сочетанием горизонталей, послойной окраски и отмывки, некоторые зарубежные топографические карты, а также туристские, где рельеф дается с большим обобщением. На картах мелкого масштаба ставится задача отображения крупных типов и форм рельефа. Их можно объединить в два комплекса: равнинный и рельеф гор и плоскогорий.

Наибольшую сложность представляет *отмывка горного рельефа*, имеющего большее разнообразие типов, структуры и характера расчленения. Многие типы горного рельефа (например, горные хребты, нагорья, плоскогорья, горноостанцовый рельеф, куэсты), вулканический рельеф требуют различного подхода в их оформлении отмывкой. Рассмотрим некоторые из них.

При отображении горных хребтов светотенью передаются массивность и монолитность крупных орографических единиц. Наиболее интенсивные тени даются у гребней, острые скалистые гребни показывают линией зубчатого рисунка при резком разграничении *света* и *тени*. На определение направления освещения и характер распределения светотени и применение различных ее элементов (падающая тень, рефлекс и др.) влияет взаимное расположение горных хребтов, своеобразие их расчленения.

Известны, например, параллельная, перистая, решетчатая, радиальная и другие системы расчленения. Параллельное расположение горных хребтов и отрогов не оказывает больших затруднений на выбор направления освещения. Свет обычно направляется перпендикулярно к большей части хребтов. Но для выявления главных и второстепенных элементов направление света избирается таким образом, чтобы второстепенные отроги закрывались падающей тенью от главного хребта. Перистое расчленение требует определения направления света, подчеркивающего вначале главный хребет, а затем второстепенные отроги.

Решетчатое и радиальное расчленения представляют более сложные случаи светотеневого изображения. Для некоторых хребтов необходимо широко варьировать направление света от северного до западного с целью сохранения эффекта пластики и выразительности отдельных форм.

Плоскогорья с плосковершинным характером поверхности при изображении отмывкой должны сохранить свою специфику. При этом необходимо отобразить расчлененность поверхности (трещины, разломы, уступы) и характер склонов. В этом случае применяется дополнительно отвесное освещение.

Горноостанцовый рельеф имеет своеобразный рисунок: вид от дельных сопок, скалистых гряд, расчлененных равнинами. Особенно специфичен мелкосопочник, который наиболее выразительно показывается отмывкой при косом освещении. Поскольку этот тип относится к низкогорному рельефу, интенсивность теней небольшая, причем они наносятся на все формы, чтобы отразить характерную разбросанность мелких сопок, не объединенных в крупные массивы.

Вулканический рельеф близок к форме конических поверхностей. При северо-западном освещении наибольший контраст света и тени создается у вершины вулкана. Подножие освещенного склона обычно подтенеется за счет влияния воздушной перспективы, а подножие теневого склона соответственно слегка осветляется. Очень важно передать светотенью степень расчлененности склонов, остроту врезания барранкосов.

Куэсты представляют собой асимметричные гряды наклонной моноклиальной структуры, у которых один склон крутой, другой — пологий. Интенсивностью светотени подчеркивается асимметрия гряды характерная для них параллельность. При сильном поперечном расчленении куэст важно сохранить наглядность направления основных структурных линий. Резкой сменой света и тени передается большая крутизна скалистых участков и обрывов.

Равнинный рельеф в изображении отмывкой не представляет трудностей. Для равнинно-эрозионного рельефа более целесообразно, например, использование отвесного освещения, при этом тени дают лишь в эрозионных формах (овраги, балки, долины), подчеркивая степень расчленения, а остальные формы не показывают.

Отмывку *моренно-холмистого рельефа* производят при косом освещении, причем светотенью передают все формы (склоны террас, овраги — интенсивной тенью, холмы — мягкими полутонами, обрисовывающими их округлую форму). Такой прием отмывки эффективен для карт крупного

масштаба, позволяющий в деталях выразить особенности поверхности, тип рельефа.

Оформление светотеневым способом территорий большого охвата с различными типами *горного и равнинного рельефа* может производиться различным образом. Для получения полной картины об особенностях рельефа выполняется отмывка всех типов и форм горного и равнинного рельефа, выражающихся в масштабе карты. Этот вариант носит название «сплошной отмывки», он позволяет создать эффект солнечной освещенности и повышает эстетическое восприятие карты.

Сплошная отмывка используется на многих современных картах, в частности картах Морского атласа (Т. II, 1953); картах рельефа суши и моря в Атласе Антарктики (1966); учебных картах, на которых красочное оформление рельефа в сочетании со сплошной отмывкой дает великолепную пластичность и художественность изображения. Нередко такая отмывка выполняется в несколько цветов.

Другой вариант — отмывка только горных районов. Светотень распределяется от вершин до подножия гор, равнины остаются чистыми. Такой прием применяется при отображении рельефа послойной окраской по ступеням высот, а для большей выразительности и наглядности горный рельеф усиливается отмывкой. При этом интенсивность светотени дают вне соответствия с крутизной и высотой рельефа; отмывка выполняется в полутонах в целях сохранения прозрачности цветовой шкалы и обеспечения читаемости элементов содержания карты.

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СВОТТЕНЕВОЙ ПЛАСТИКИ

Получение правильного объемного изображения рельефа светотеневым способом требует высокой квалификации исполнителя, владеющего методами картографирования рельефа, основами светотеневой пластики и художественными данными. Поэтому выполнение оригиналов отмывки

(полутоновых оригиналов) с давних пор и до настоящего времени производится главным образом картографами-художниками. Последовательность рукописного исполнения отмывки на бумаге и пластике одинакова. Руководствуясь основой с горизонталями и орографической схемой, составленной после предварительного изучения рельефа, первоначально делают тенями набросок изображения всей территории.

Вначале накладывают собственные тени, отчленяющие крупные формы, намечают направления основных хребтов. При отмывке рельефа со сложным характером строения, многообразием типов и форм в картографическом производстве нередко проводится предварительное распределение светотени тушевкой на прозрачном пластике. Проработка рельефа карандашом избавляет в дальнейшем от ошибок и неточностей отмывки, облегчает и ускоряет ее исполнение, повышая выразительность и художественность изображения.

На втором этапе прорисовывают детали форм и типов рельефа, подчеркивают специфические черты морфологии отдельных форм, используя всевозможные элементы светотени.

На конечном этапе усиливают тени и полутени, более четко выделяют направления структурных линий в рельефе, приводят в соответствие с высотой и крутизной интенсивность теней, выполняют отделку всего изображения в целом. Для воспроизведения полутоновых многоцветных карт (со сплошной отмывкой или гипсометрическим изображением рельефа) разработан ряд способов с использованием фотомеханического и электронного цветоделения.

Первый способ основан на изготовлении с оригинала сплошной отмывки рельефа двух полутоновых негативов с определенными градационными характеристиками, а именно одного негатива с точной передачей изображения, необходимого для получения общей отмывки рельефа, и второго — более слабого для цветowych гипсометрических ступеней с последующим контактным растриванием обоих негативов. Изображение второго растрового диапозитива расчленяется по гипсометрическим ступеням с помощью диапозитивных масок в процессе изготовления печатных форм или на

прозрачной пленке. Этот способ позволяет получить пластическое изображение рельефа с хорошей читаемостью послойной или другой окраски в три-четыре печатных краски без проведения ручной ретуши.

Второй способ состоит в изготовлении двух оригиналов: сплошной отмывки и специального оригинала послойной окраски по ступеням высот с последующим воспроизведением фотомеханическим или электронным цветоделением. Применение этой технологии воспроизведения многоцветных карт с полутоновым изображением предъявляет высокие требования к оформлению оригинала изображения рельефа, его пластичности, выразительности и четкой читаемости гипсометрической цветовой шкалы.

С внедрением средств автоматизации в картографическое производство стали развиваться цифровые методы светотеневого оформления рельефа, получившие название аналитической отмывки. Первые практические работы в этом направлении относятся к началу 60-х годов XX в., когда были сделаны попытки применить теоретические и практические разработки из области машинной графики, предназначенные для создания реалистических изображений.

В ходе экспериментов выяснилось, что для целей светотеневой пластики наиболее подходит простейшая модель освещенности Ламберта, в которой предполагается диффузное отражение света (т.е., отражающая поверхность является идеальным рассеивателем), а интенсивность отраженного света прямо пропорциональна косинусу угла между нормалью к поверхности и направлением на источник освещения. Более сложные модели освещения, включающие зеркальное отражение, зависимость интенсивности отраженного света от длины волны падающего света и свойств отражающей поверхности, не нашли применения в методах аналитической отмывки и используются в основном для создания спецэффектов.

Основой для создания аналитической отмывки является цифровая модель рельефа (ЦМР). В ГИС приняты две основные формы хранения ЦМР: триангуляционная (TIN) и сеточная (GRID) .

Триангуляционная модель представляет собой набор произвольно расположенных точек со значениями высот в них вместе со структурой триангуляции, построенной по этим точкам (как правило, это триангуляция Делоне). Поверхность в этой модели представляется в виде многогранника, т.е. на каждом треугольнике это линейная функция, которая, как известно, определяется однозначно по трем точкам в пространстве. Областью определения триангуляционной модели является выпуклая оболочка множества исходных точек.

Сеточная модель представляет собой матрицу значений высот в узлах регулярной прямоугольной сетки на плоскости. Областью определения такой модели является прямоугольник. Расстояния между узлами сетки по горизонтали и вертикали называют шагом сетки.

Для создания цифровых моделей рельефа используется специализированное программное обеспечение, которое может быть самостоятельным или входить отдельным модулем в какую-либо ГИС. Исходными данными для моделирования служат значения высот в отдельных точках, полученные путем полевых измерений или фотограмметрическими методами, либо горизонтали, оцифрованные с топографических карт.

Для цифрового графического представления *аналитической отмывки* используется растровое изображение в черно-белой шкале. Стандартным является формат, в котором используется 8 бит (1 байт) для кодировки цвета в одном пикселе, что позволяет отобразить 256 оттенков серого цвета. Как правило, размер результирующего растрового изображения может быть выбран пользователем произвольно, исходя из предполагаемого устройства вывода (дисплей или печатающее устройство), хотя некоторые программы, работающие с сеточными ЦМР, позволяют создавать изображение только того же размера, что и цифровая модель.

Существующие на настоящий момент методы аналитической отмывки можно разделить на четыре основных класса, пронумерованных по

возрастанию сложности реализующих их алгоритмов (все методы основаны на Ламбертовой модели освещения):

- с единственным постоянным источником освещения;
- с несколькими постоянными источниками освещения разной интенсивности;
- с несколькими постоянными источниками освещения, интенсивность которых для каждой точки поверхности меняется в зависимости от экспозиции склона в этой точке;
- с единственным источником освещения, положение которого локально изменяется согласно карте структурных линий (хребтов и тальвегов).

В большинстве ГИС и программ для автоматизированного картографирования используется только простейший первый метод, представляющий собой непосредственную реализацию модели освещенности Ламберта. Параметром здесь является вектор направления на источник освещения, который задается, как правило, с помощью горизонтального (азимут) и вертикального углов. Азимут может отсчитываться либо от направления на север по часовой стрелке (как принято в геодезии), либо от направления на восток против часовой стрелки (как принято в математике). В дальнейшем при указании значений азимута будет использоваться математический способ.

Вертикальный угол принимает значения от 0° до 90° . Значение вертикального угла 90° соответствует отвесному освещению. Чаще всего используют значения 135° для азимута и 45° — для вертикального угла.

Процесс создания аналитической отмывки выглядит следующим образом. Вначале вычисляют вектор нормали к поверхности для каждой точки растра, затем направление на источник света и определяют косинус угла между ними. Следует заметить, что для всех точек направление на источник света остается постоянным, а положение нормали меняется. Построение для обеих форм представления ЦМР проводится одинаково, за исключением вычисления

вектора нормали, где требуется найти частные производные от функции, задающей поверхность.

Для триангуляционных ЦМР частные производные вычисляются непосредственно на каждом треугольнике, исходя из представления поверхности в виде линейной функции.