

Лекция 2



Способ  
гипсометрической  
окраски



Возникновение и развитие способа гипсометрической окраски связано с развитием полиграфии и, в частности, технологии офсетной печати.

Способ гипсометрической окраски (рис. 1) – оформление рельефа на картах, заключающееся в равномерной окраске ступеней высот между изогипсами (изобатами) в соответствии с выбранной шкалой.

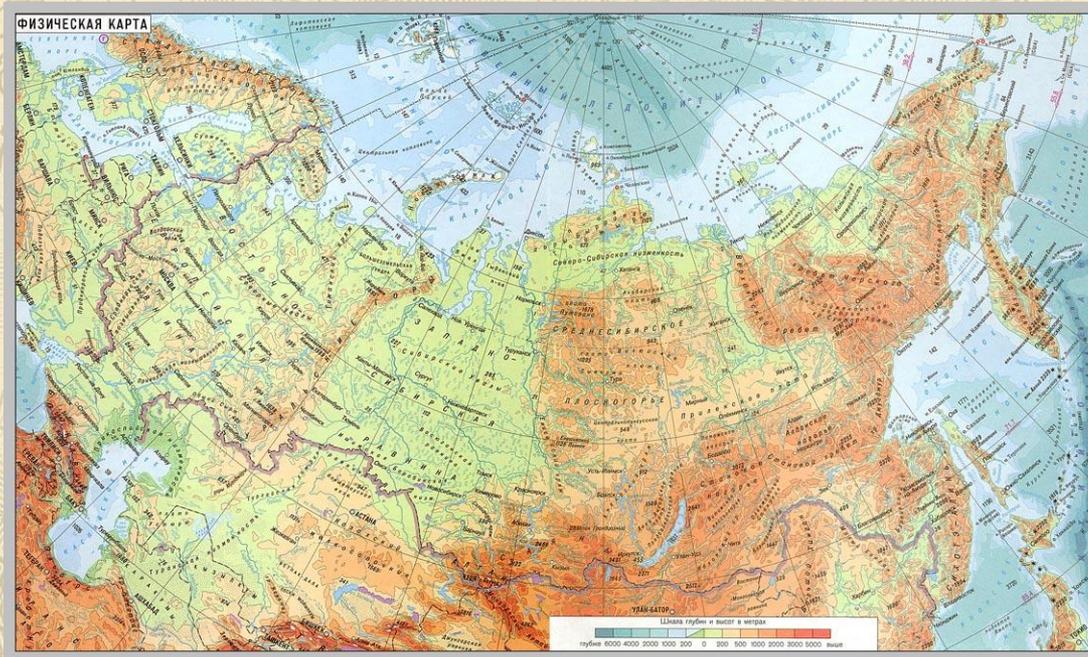


Рис.1

Гипсометрическая окраска значительно улучшает читаемость рельефа на картах по сравнению со способом изогипс. Благодаря цветовым различиям между ступенями шкалы упрощается процесс получения высотных характеристик местности, читаются основные высотные зоны (зоны глубин), хорошо видна изрезанность рельефа и т.д.

Изначально гипсометрические шкалы стоились по принципу рядов сгущения окраски: первая гипсометрическая шкала – «чем выше, тем темнее» – была названа *утемняющейся*. Впервые этот способ в рукописном исполнении был применен в Австрии в 1864 году Ф. Гауслабом. Принцип окраски состоял в постепенном утмнении желто-коричневых оттенков с переходом к темно-коричневым. Шкала обеспечивала ограниченное число хорошо различимых ступеней. Недостатками ее были колористическая бедность, невозможность различать основные высотные зоны и плохая читаемость нагрузки и подписей на фоне верхних темных ступеней. В России утемняющиеся шкалы также были распространены (рис. 2).



Рис.2 - Фрагмент карты «Европейская Россия в орографическом и гидрографическом отношении». – Учебный атлас всеобщей географии. Сост. Ю.Симашко. – Изд. 6-е. - СПб., 1876. Масштаб: 1 : 12 600 000

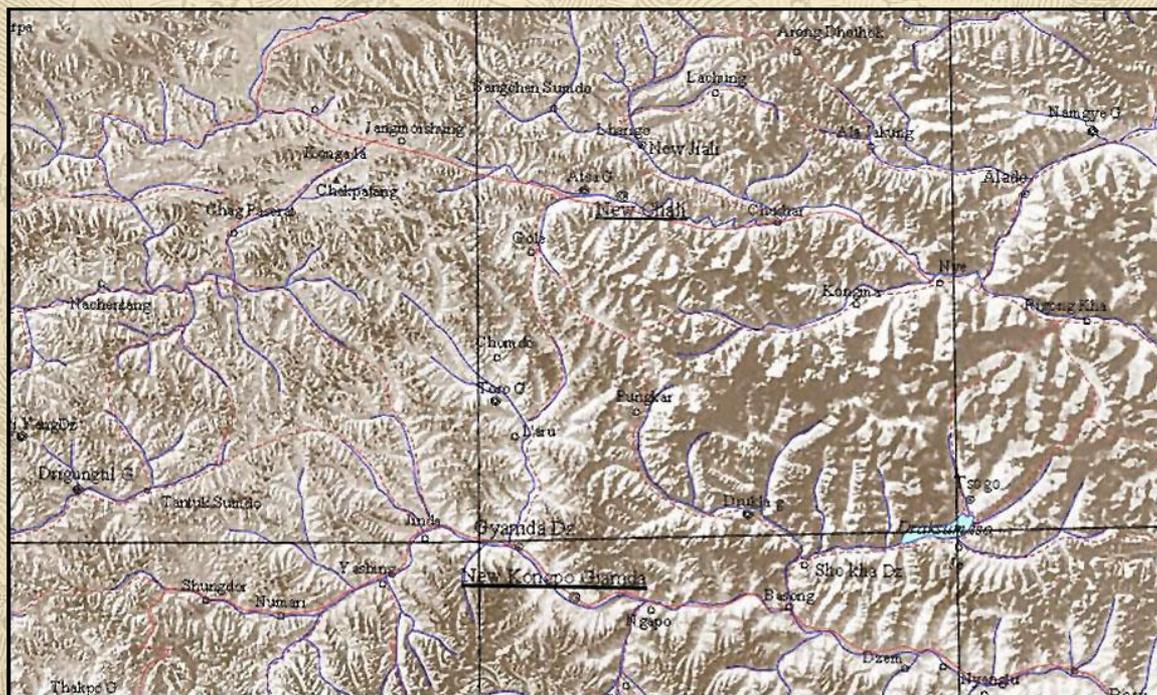
Во второй половине 19 – начале 20 века в отечественной картографии наряду с утемняющимися достаточно широко использовались *осветляющиеся* шкалы, построенные по принципу осветления кверху охристых и коричневых ступеней.

**Недостатками** шкалы являются: сильное затемнение низменностей, отсутствие четких различий между верхними ступенями и, как и в случае с утемняющейся шкалой, колористическая бедность. Впервые осветляющаяся шкала была применена Ю. Симашко: в Атласах издания 1858 и 1862 годов, а также в 1867 году для настенных карт. Московский географ А. Линберг использовал похожую шкалу, но значительно более светлую (рис. 4).



Рис. 4 – Гипсометрическая шкала Учебной карты Европейской России А. Линберга. Масштаб 1:2 500 000. Начало 20 в.

Осветляющиеся одноцветные гипсометрические шкалы, на первый взгляд, сейчас не актуальны, поскольку полиграфические и иные возможности визуализации позволяют создавать многоцветные карты, но именно на эти шкалы стоит обратить особое внимание. Одноцветная осветляющаяся шкала, дополненная светотеневым оформлением рельефа, по внешнему виду приближается к сплошному светотеневому оформлению рельефа. А это тот принцип, который часто используется в современных картографических программах, выполняющих визуализацию на основе цифровых моделей рельефа без использования многоцветной гипсометрической шкалы (рис. 5).



*Рис. 5 – Визуализация рельефа на основе ЦМР, выполненная по принципу сплошной отмывки. Фрагмент карты Тибета масштаба 1:1 200 000. Tibet Map Institute, Франция*

В 1837 году прусский картограф Эмиль Фон-Сидов предложил использовать для нижних ступеней шкалы зеленый цвет по ассоциации с растительным покровом низменностей (рис. 6).

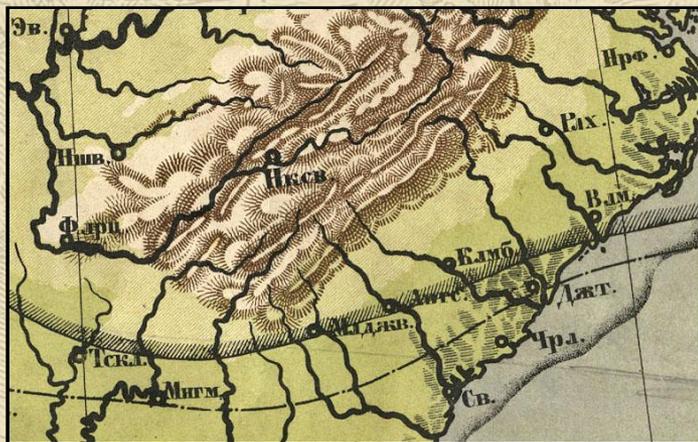


Рис. 6 – Карта Северной Америки. Составитель Эмиль Фон-Сидов. Масштаб 1:8 000 000. 19 в.

Для нижних ступеней гипсометрической Шкалы использован зеленый цвет. Осветляющаяся шкала, дополненная штрихами крутизны

Так появились зелено-коричневые гипсометрические шкалы, которые строятся по принципу расхождения из середины зеленых и коричневых тонов. Первая отечественная гипсометрическая карта, исполненная в метрической системе мер, составлена выдающимся картографом-гипсометристом Ю. М. Шокальским и оформлена в зелено-коричневой шкале (рис. 7).

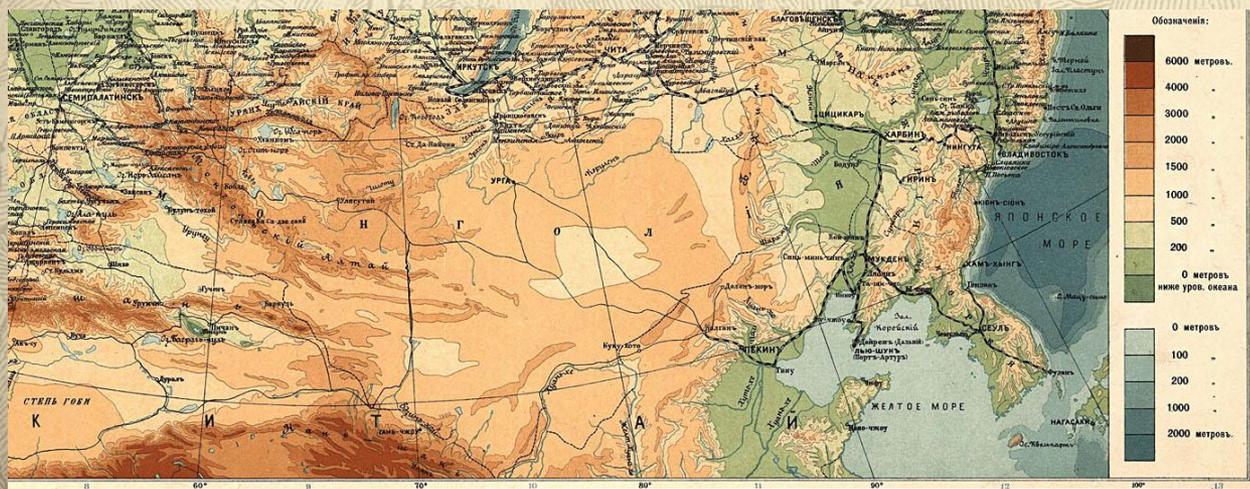


Рис. 7 – Фрагмент Гипсометрической карты Российской империи. Сост. Ю. М. Шокальский. Картографическое заведение Т-ва А. Ф. Маркс, 1910 г.

Примерами мелкомасштабных карт, выполненных в зелено-коричневой гипсометрической шкале, являются карты из БСАМ 1937 года издания, Гипсометрическая карта СССР масштаба 1:5 000 000 1938 года издания, Гипсометрическая карта Европейской части СССР масштаба 1:1 500 000 издания 1941 года, учебные карты того времени. Зелено-коричневые шкалы часто применяются и по настоящее время.

В конце 19-го столетия *принципы цветовой пластики*, широко применяющиеся к тому времени в рисунке и живописи, а также в оформлении уникальных живописных рукописных карт, стали использоваться при проектировании гипсометрических шкал. Так, известно, что теплые цвета выглядят выступающими, а холодные – отступают. Этот принцип был заложен в шкалу, используемую венским издательством *Фрайтага*. Шкала строилась по принципу перехода от холодных голубовато-зеленых тонов через охристые к оранжевым и розовым, при этом светлота и насыщенность ступеней оставались постоянными (рис. 8).

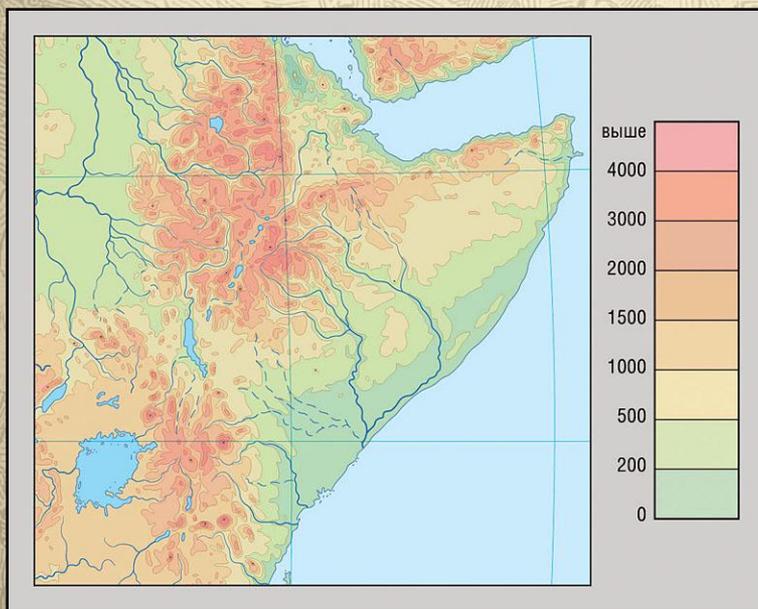


Рис. 8 – Гипсометрическая шкала Фрайтага

В шкале Фрайтага было издано большое количество карт европейских государств, в частности, для балканских стран – на национальных языках. На русском языке были выпущены карты «Части света» и «Европейская часть России». Настенные карты, по оценке П. А. Скворцова, оставляли «вялое» в пластическом отношении впечатление, тогда как настольные издания были достаточно красивы, хотя ступени шкалы различались слабо. Таким образом, использование шкалы Фрайтага требует дополнения отмывкой рельефа.

Несколько позже австрийский картограф Карл Пойкер, известный тем, что в 1902 году высказал мысль о становлении картографии в качестве самостоятельной науки о графическом изображении окружающего мира, предложил использовать гипсометрические шкалы, основанные на соединении двух рядов – осветляющегося ахроматического для низменностей и ряда сгущения теплых тонов спектра для возвышенностей и гор. Такие шкалы были названы *спектральными* (рис. 9).

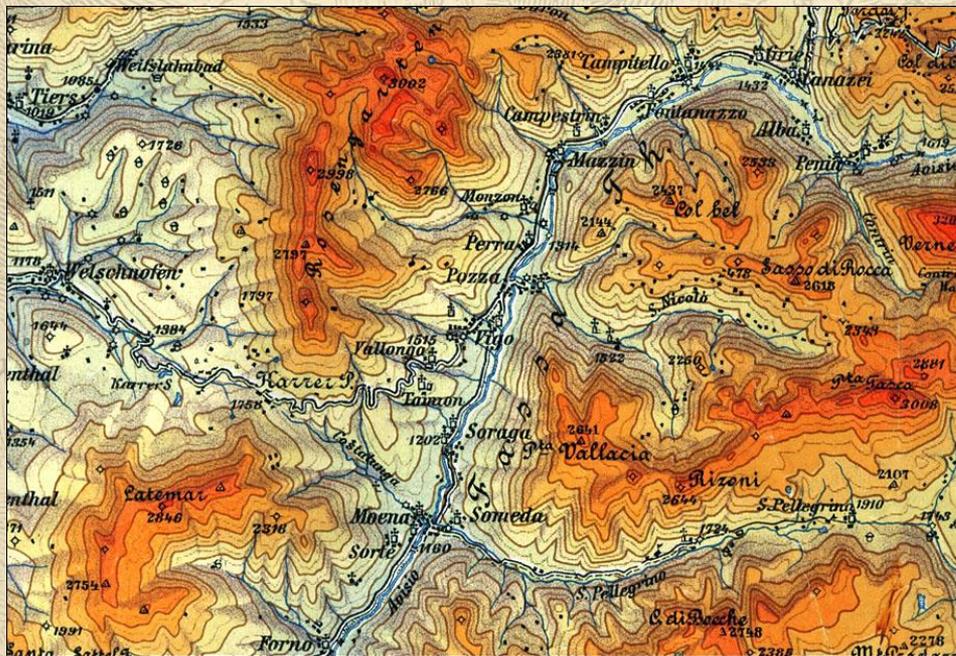


Рис. 9 – Рельеф на карте центральной Европы Карла Пойкера масштаба 1:200 000 оформлен в спектральной шкале

В более поздних модификациях ахроматические нижние ступени были заменены серо-зелеными и зелеными, а в некоторых шкалах ступени верхней части были слегка изменены по цвету. Так, немецкий картограф Кремлинг предложил придать желтым и оранжевым цветам коричневый оттенок, а верхние ступени дать более холодным карминно-красным цветом (*шкала Кремлинга*).

Наиболее широкое применение нашла спектральная шкала, имеющая насыщенные зеленые ступени в нижней части и переход от желтых к оранжевым и оранжево-красным – в верхней. Начало применению этой шкалы положил польский географ *Ромер* в 20-30 гг. 20-го века (рис. 10). В такой шкале были оформлены многие мелкомасштабные карты: справочные, учебные, гипсометрические и другие.

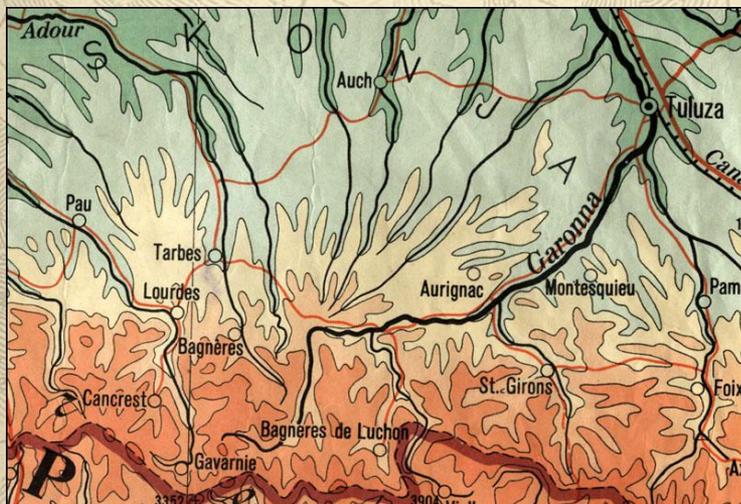


Рис. 10 – Спектральная шкала Ромера

Из-за широкого использования шкала была названа *стандартной спектральной шкалой* (рис. 11).



Рис. 11 – Стандартная спектральная шкала

Успехи развития полиграфии, а также работы выдающихся картографов-художников в области светотеневого и цветового оформления рельефа на картах привели к появлению *живописных гипсометрических шкал*. Объединяющим признаком для всей группы этих шкал служат природные цветовые тональности зон высокогорного склона. Наибольшую известность приобрели работы швейцарских картографов Э. Имгофа и Г. Кюммерли (рис. 12).

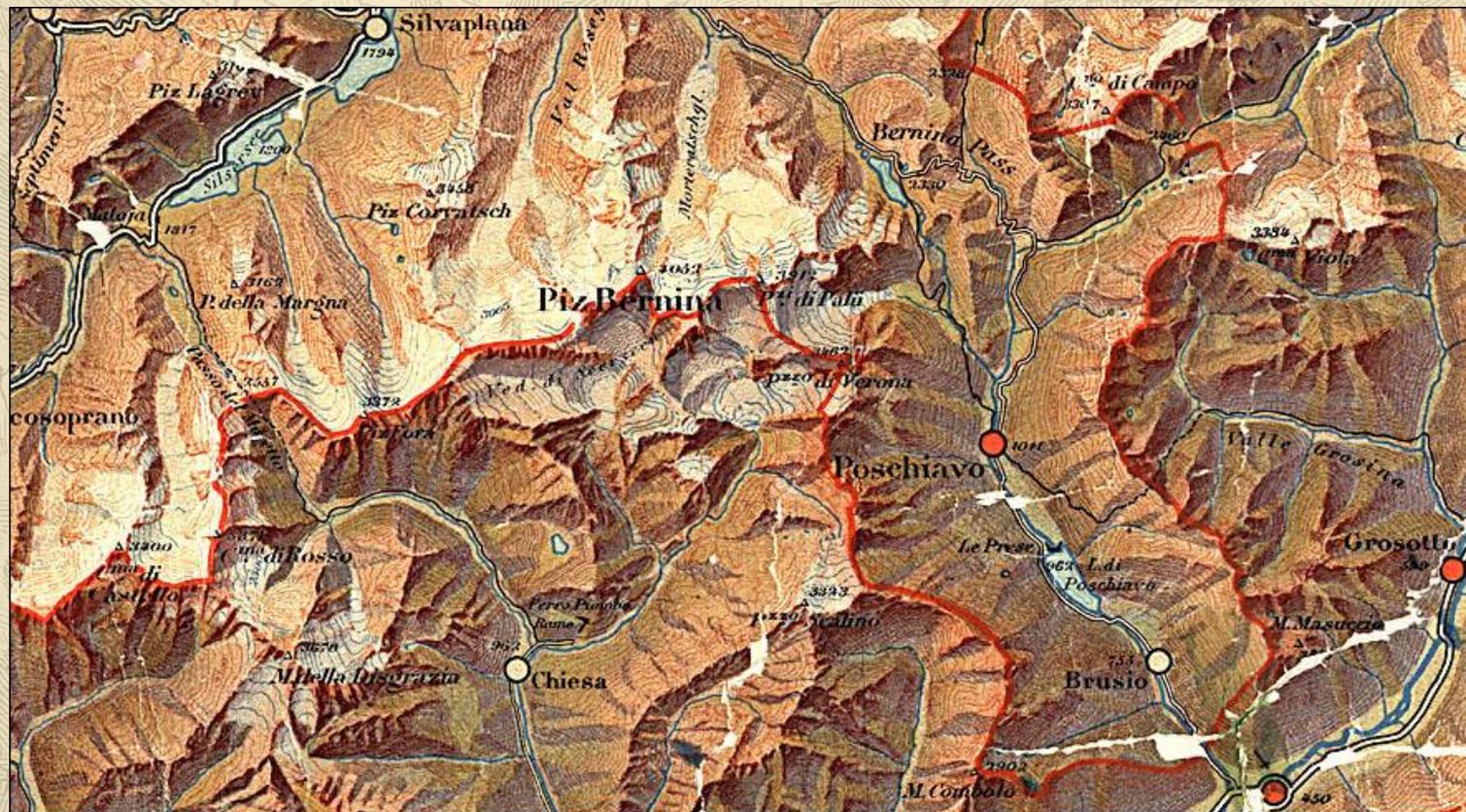


Рис. 12 – Фрагмент школьной настенной карты Швейцарии масштаба 1:200 000, выполненной в живописной осветляющейся шкале. Герман Кюммерли, 1896 г.

Из отечественных ученых разработкой живописных шкал занимались В. Н. Адрианов, П. К. Колдаев, С. Г. Тихомиров и П. А. Скворцов. В середине 20 века издан ряд настенных карт (рис. 13) и региональных атласов, в которых использовались живописные шкалы (Атлас Сахалинской области, Душанбе-Москва, 1967 г., Атлас Таджикской ССР, М., 1968 г. и др.).

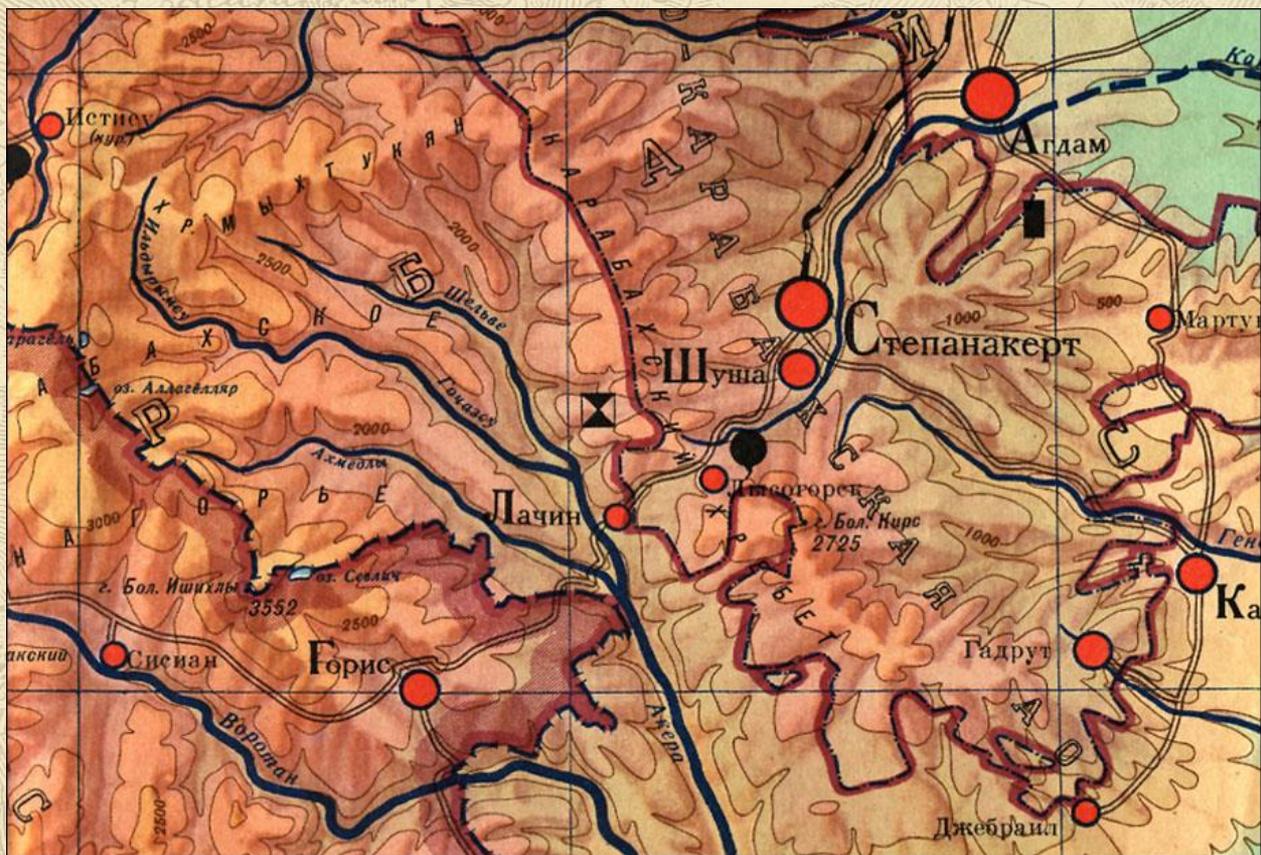


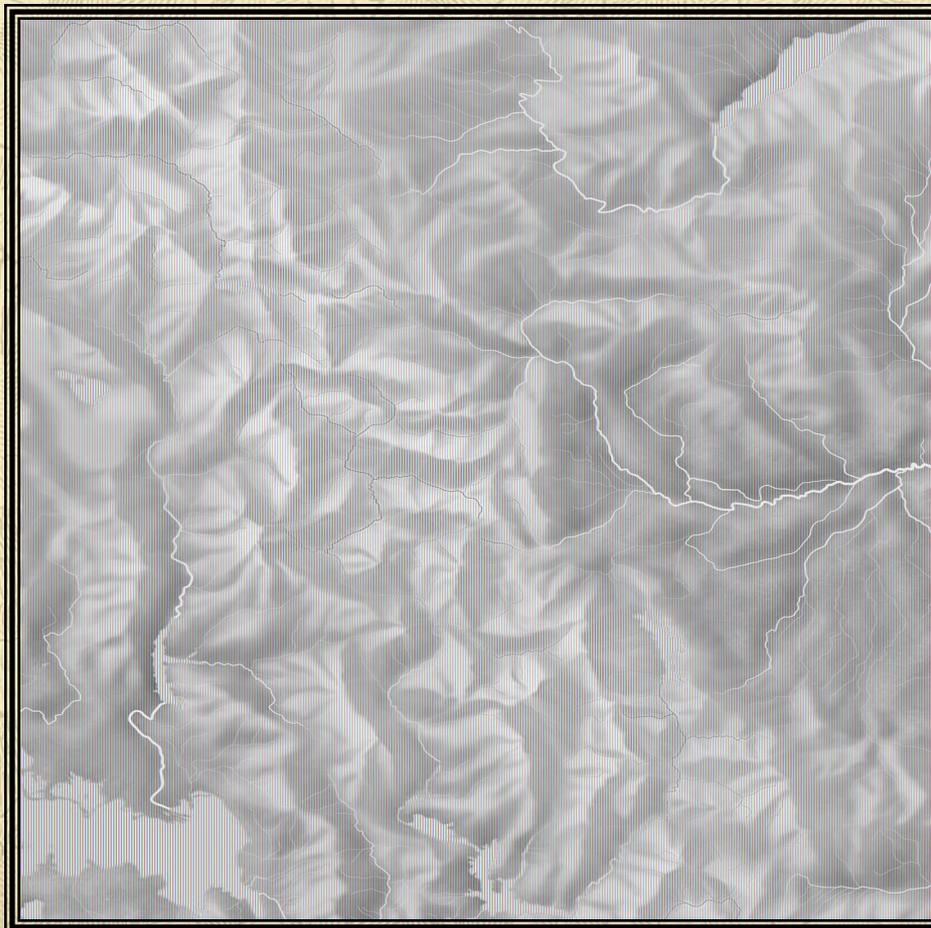
Рис. 13 – Фрагмент настенной карты Азербайджана масштаба 1:600 000. Тбилисская картографическая фабрика ГУГК, 1955г.

При всем многообразии живописные шкалы наилучшим образом соответствуют реальной окраске ландшафта, поэтому чаще всего используются в сочетании со светотеневым оформлением рельефа. Это позволяет выполнять не только одноцветную, но и *многоцветную отмывку рельефа*, что является основой *живописного*, или *ландшафтного оформления карт*, при котором изображение рельефа на карте дополняется различными текстурами, имитирующими ландшафт (в частности, растительный покров) картографируемой территории (рис. 14).



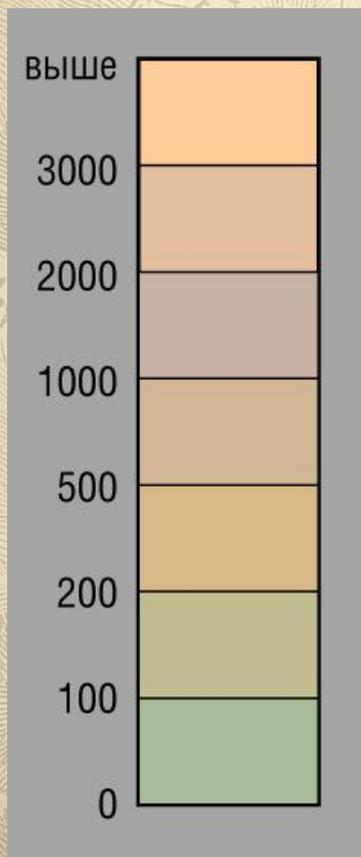
Рис. 14 – Фрагменты карты Греции с оформлением рельефа в многоцветных гипсометрических шкалах («утро», «день», «вечер», «ночь»).

Большинству карт свойственен *комбинированный* подход к изображению рельефа. Яркий пример – *живописный*, или *ландшафтный*, способ оформления карт, при котором изображение рельефа, выполненное в градиентной гипсометрической шкале с цветной отмывкой, дополняется различными текстурами, имитирующими ландшафт (мелкие формы рельефа, растительный покров и грунты).



**Рис. 15 –**  
**Комбинированный**  
**подход к**  
**изображению**  
**рельефа: сочетание**  
**градиентной**  
**цветной отмывки и**  
**текстур**

Рельеф при живописном оформлении карт может быть показан различными способами: гипсометрическим в сочетании со светотеневым оформлением (одна из разновидностей данного способа, не обладающая метричностью, но показывающая рельеф наглядно и натуралистично – это сочетание градиентной гипсометрической шкалы с цветной отмывкой), сплошной отмывкой – монохромной или цветной в сочетании со штриховым рисунком скал, текстурами и т.д.

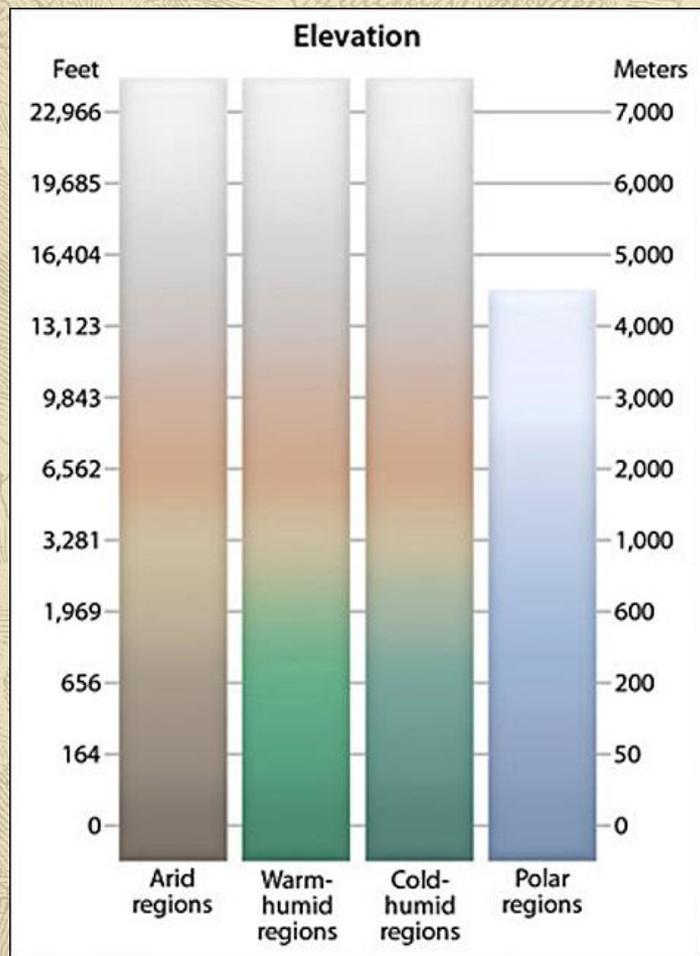


Возможность использования градиентных гипсометрических шкал предусмотрена в большинстве современных картографических программ. Кроме того, гипсометрические шкалы, разработанные применительно к ГИС-технологиям, помимо традиционных, обладают некоторыми новыми свойствами. Так, известны карты, где применяется одновременно несколько гипсометрических шкал.

Если в докомпьютерный период цвета ступеней гипсометрических шкал, предназначенных для ландшафтного оформления, проектировались с учетом высотной поясности (рис. 16), то при использовании нескольких шкал проводится районирование всей местности по типам ландшафта, и для каждого из районов принимается своя гипсометрическая шкала.

Рис. 16 – Живописная шкала Скворцова

Например, в работе Тома Паттерсона для карты мира выделены четыре типа регионов: аридные, с теплым и влажным климатом, с холодным и влажным климатом, полярные (рис. 17, 18).



Шкалы для первых трех типов регионов в зоне выше 1 000 м имеют одинаковые по цвету ступени, различаясь лишь в нижней части. Полярные области отличаются от первых трех по цвету, кроме того, шкала короче, поскольку в этих районах нет высот более 5 000 м.

*Рис. 17 – Гипсометрические шкалы, построенные по принципу зависимости цвета нижних ступеней от колорита ландшафта местности*



Рис. 18 – Карта мира Тома Паттерсона с использованием гипсометрических шкал, построенных по принципу зависимости цвета нижних ступеней от колорита ландшафта местности



*Katmai National Park, Alaska*

*Рис. 19 – Карта Национального парка Катмай, Аляска. Том Паттерсон*

## Требования, предъявляемые к гипсометрическим шкалам:

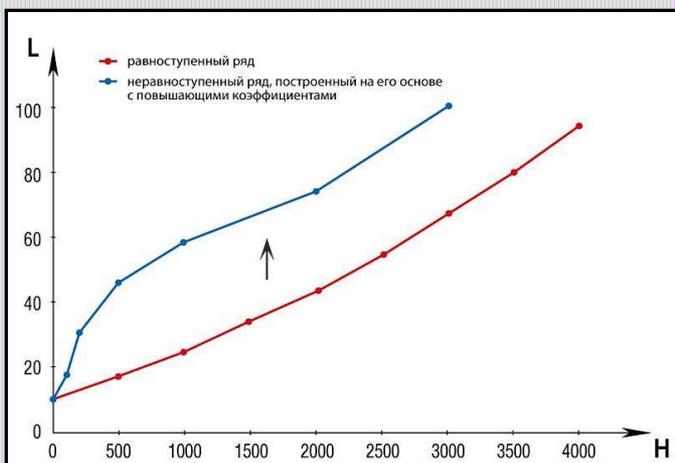
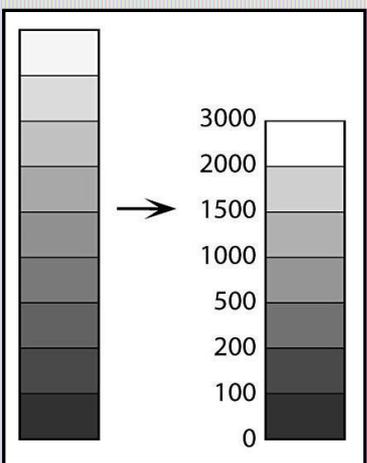
1. Цветовые характеристики ступеней шкалы должны соответствовать поперечному профилю рельефа местности.
2. Несмотря на ступенчатый характер окраски, должно создаваться впечатление единой поверхности рельефа.
3. Вблизи ступени должны хорошо различаться и опознаваться по шкале в легенде, а с расстояния – должны легко читаться основные высотные зоны.
4. Ступени шкалы не должны быть темными, чтобы не затруднять чтение остальной нагрузки карты.
5. Окраска шкалы должна обладать гармоничностью цветовых сочетаний и быть эстетически привлекательной.

Для грамотного проектирования гипсометрических шкал очень важны вопросы различимости ступеней, соответствия цветовых параметров ступеней основному закону зрительного восприятия и поперечному профилю рельефа местности. В градиентных шкалах будем говорить о соответствии «переломов» цвета в шкале «переломам» в рельефе местности. В равноступенных и неравноступенных по высоте сечения шкалах встает задача определения количества хорошо различимых ступеней. Для решения указанных задач были проведены экспериментальные исследования цветовых рядов.

Получить многоступенную шкалу со значениями светлот, находящимися в прямой зависимости от приращений высот, невозможно. С целью решения данной проблемы предлагается алгоритм перехода от равноступенного ряда к неравноступенной шкале с использованием повышающих коэффициентов: например, прологарифмировать высотные интервалы неравноступенной шкалы и, получив относительные коэффициенты, ввести поправку в каждое из значений светлот (рис. 20).

*Получение значений светлоты с помощью повышающих коэффициентов*

H, м	0	100	200	500	1000	1500	2000	3000	4000	5000
$\Delta h, м$	100	100	300	500	500	500	1000	1000	1000	
$\ln \Delta h$	4,6	4,6	5,7	6,2	6,2	6,2	6,9	6,9	6,9	
$k = \frac{\ln \Delta h_i}{\ln \Delta h_1}$	1,00	1,00	1,24	1,35	1,35	1,35	1,50	1,50	1,50	
$L_i$	10	17	25	34	44	55	67	80	94	
$k \times L_i$	10	17	31	46	59	74	100	–	–	



*Рис. 20 – Неравноступенная шкала, полученная из равноступенного ряда Оствальда путем введения повышающих коэффициентов и ее графическое представление*

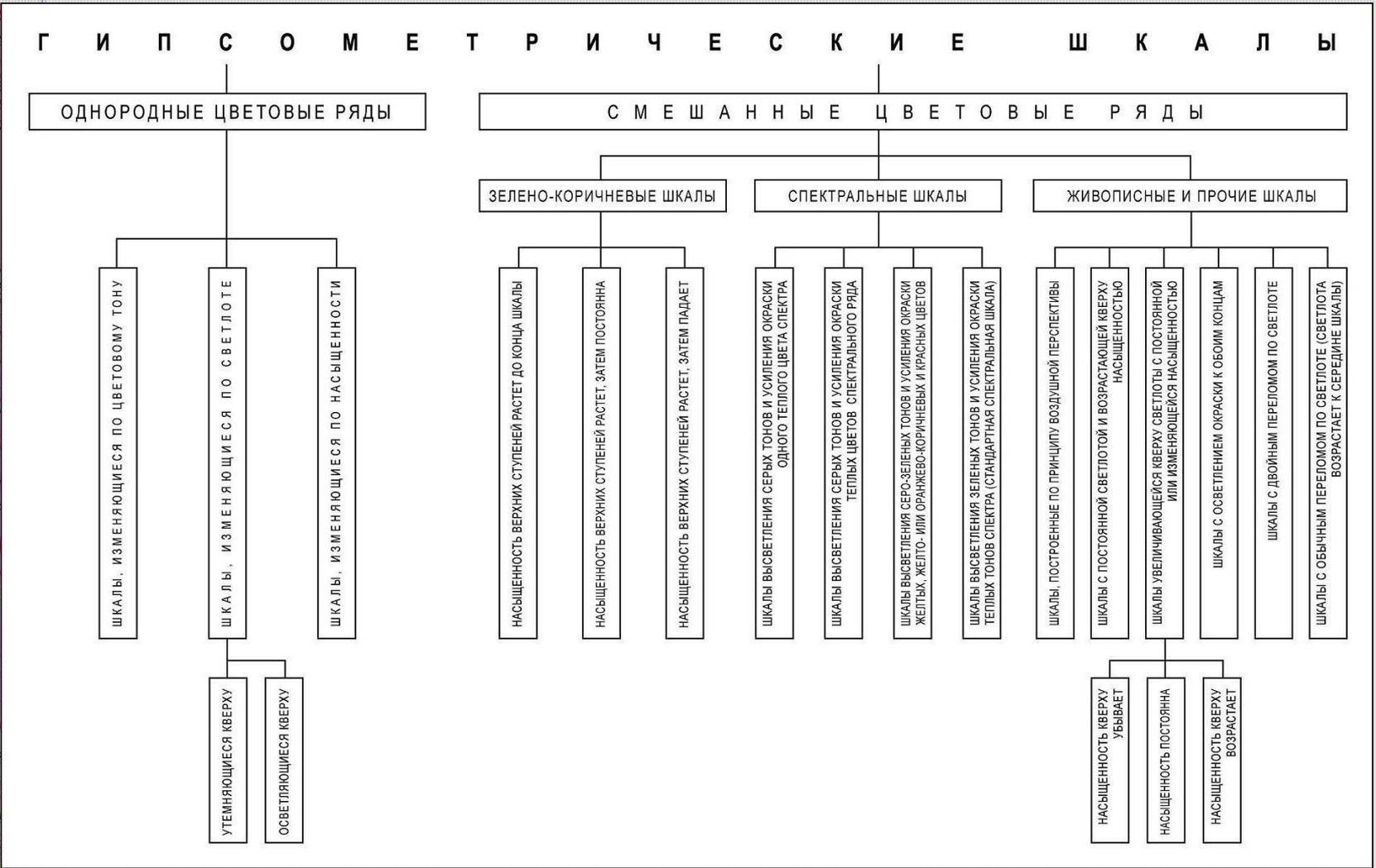


Рис. 21 – Классификация гипсометрических шкал П.А.Скворцова



Действующая классификация гипсометрических шкал сложилась исторически. В полном обобщенном варианте она представлена П. А. Скворцовым. В основу классификации положены принципы изменения цветовых характеристик ступеней: светлоты, насыщенности и цветового тона.

Согласно классификации (рис. 21), все гипсометрические шкалы подразделяются на две группы:

- однородные цветовые ряды;
- смешанные цветовые ряды.

Однородные цветовые ряды, в свою очередь, подразделяются на изменяющиеся по цветовому тону, светлоте (утемняющиеся и осветляющиеся) и насыщенности.

Смешанные цветовые ряды подразделяются на три большие группы:

- I – зелено-коричневые,
- II – спектральные,
- III – живописные и прочие шкалы.

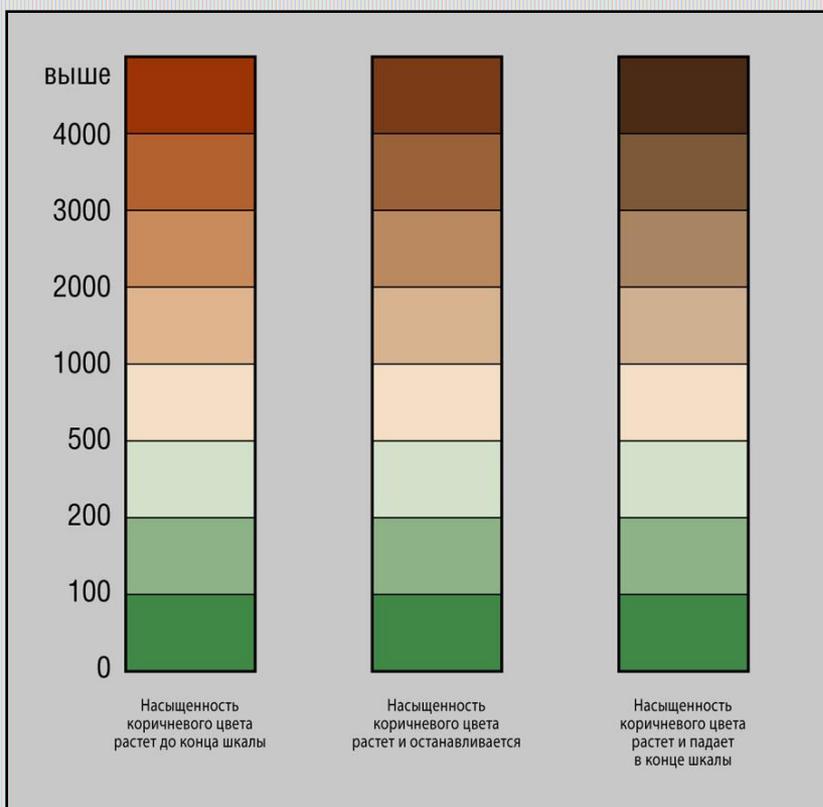
Следует отметить большой вклад отечественных и зарубежных картографов в проектирование гипсометрических шкал, вошедших в классификацию Скворцова:

- однородные ряды и ряды сгущения окраски: Гауслаб, Симашко, Линберг, издательство Фрайтага;
- зелено-коричневые шкалы: Фон-Сидов, Шокальский;
- спектральные шкалы: Пойкер, Кремлинг, Ромер;
- живописные шкалы: Кюммерли, Беккер, Имгоф, Шелтон, Скворцов, Адрианов, Колдаев, Тихомиров, Лебедев и другие представители отечественной школы живописного оформления карт.

## ЗЕЛЕНО-КОРИЧНЕВЫЕ ШКАЛЫ

**Достоинствами** шкал является хорошая различимость основных высотных зон: низменностей, возвышенностей и гор.

**Недостатками** – темные верхние ступени и плохая их совместимость с отмывкой рельефа (рис. 22).



*Рис. 22 – Зелено-коричневые шкалы по классификации П.А.Скворцова*

# СПЕКТРАЛЬНЫЕ ШКАЛЫ

**Достоинствами** шкал являются яркость (хотя для некоторых тематических карт яркость превращается в недостаток: рельеф на них должен читаться «вторым» планом), хорошая читаемость высотных зон, совместимость со светотеневым оформлением, а также соответствие принципам цветовой пластики.

**Недостаток** – условность окраски: цветовая гамма верхних ступеней не соответствует природному колориту (рис. 23).

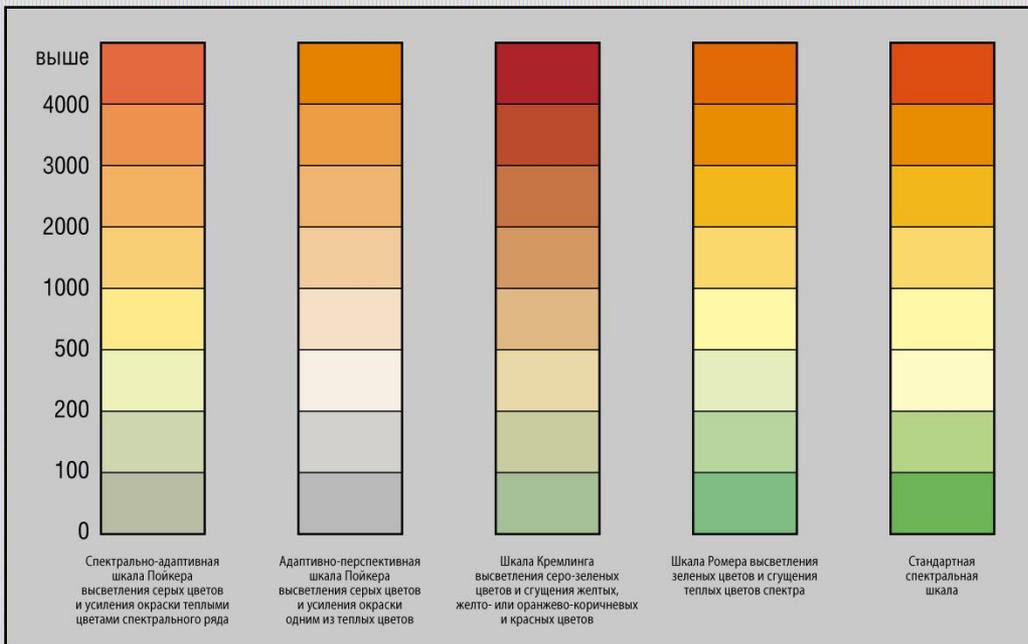


Рис. 23 –  
Спектральные  
шкалы  
по классификации П.  
А.Скворцова

# ЖИВОПИСНЫЕ ШКАЛЫ

**Достоинствами** шкал являются соответствие природному колориту, гармоничность цветовых сочетаний, наглядность, ясное визуальное восприятие объемности форм рельефа при сочетании с отмывкой.

**Недостаток** – слабая различимость верхних ступеней в шкалах с осветлением кверху (рис. 24).

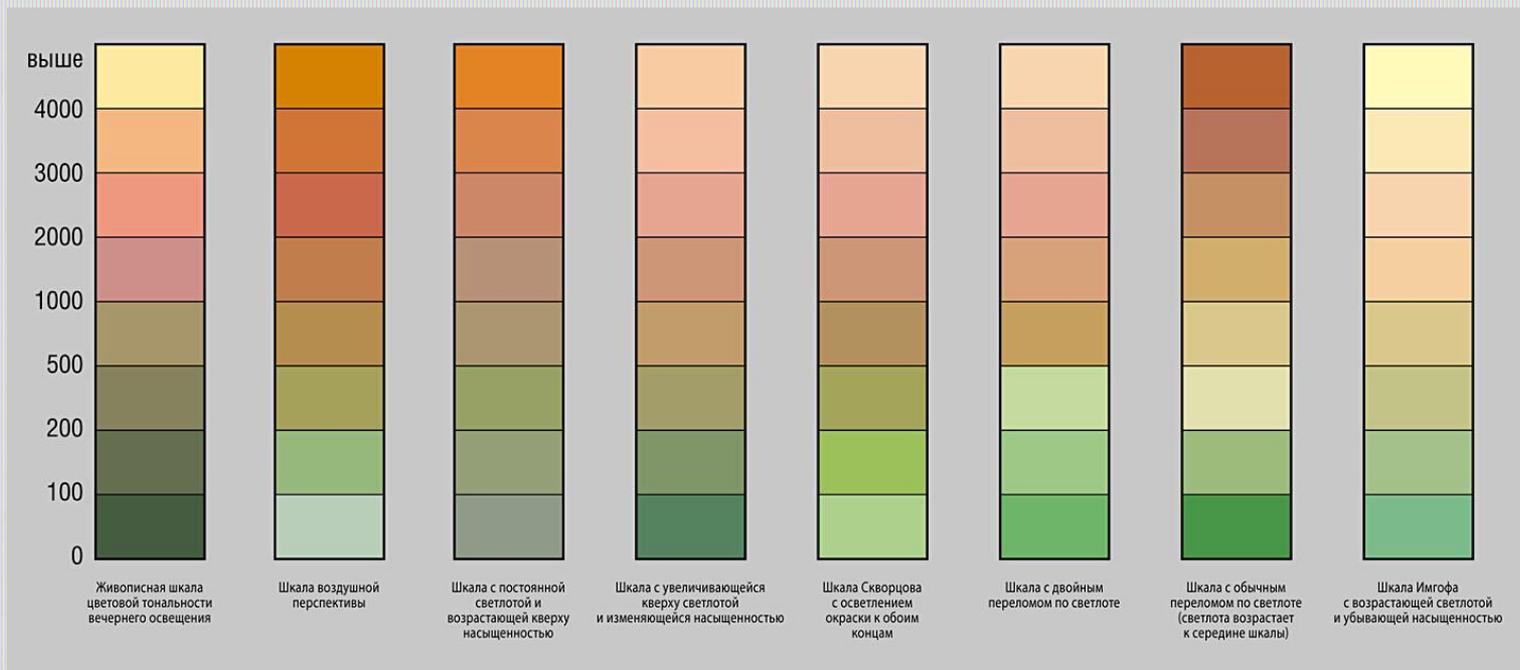


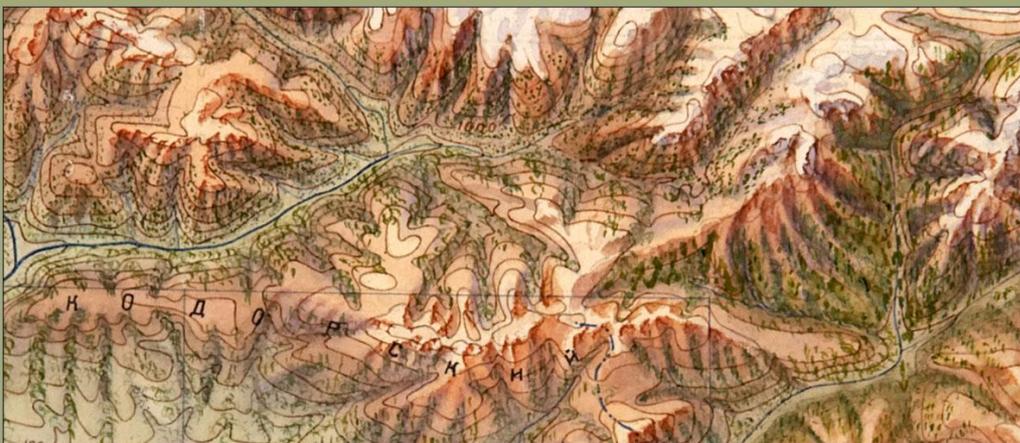
Рис. 24 – Живописные шкалы по классификации П.А.Скворцова



Достоинством классификации в целом является научный подход к ее проектированию, заключающийся в учете принципа цветовой пластики и других законов цветоведения. Классификация является результатом обобщения опыта картографирования рельефа как отечественными, так и зарубежными специалистами на протяжении нескольких сотен лет. Следует отметить большой личный вклад П. А. Скворцова в разработку не только классификации, но и шкал из группы живописных. Но классификация не лишена недостатков, а именно:

- отсутствие «привязки» шкал к картам различного назначения;
- неоднозначность в использовании терминологии, касающаяся названий шкал;
- отсутствие четкой границы между шкалами различных групп;
- в классификации не отражены ряды сгущения окраски.

Трудности применения действующей классификации (П. А. Скворцова), особенно при отсутствии опыта оформления карт, а также необходимость учета современных технологий, вызывают необходимость ее пересмотра и обновления.



Г И П С О М Е Т Р И Ч Е С К И Е Ш К А Л Ы

по цветовым характеристикам шкал  
в зависимости от назначения карты

по типу  
ступеней

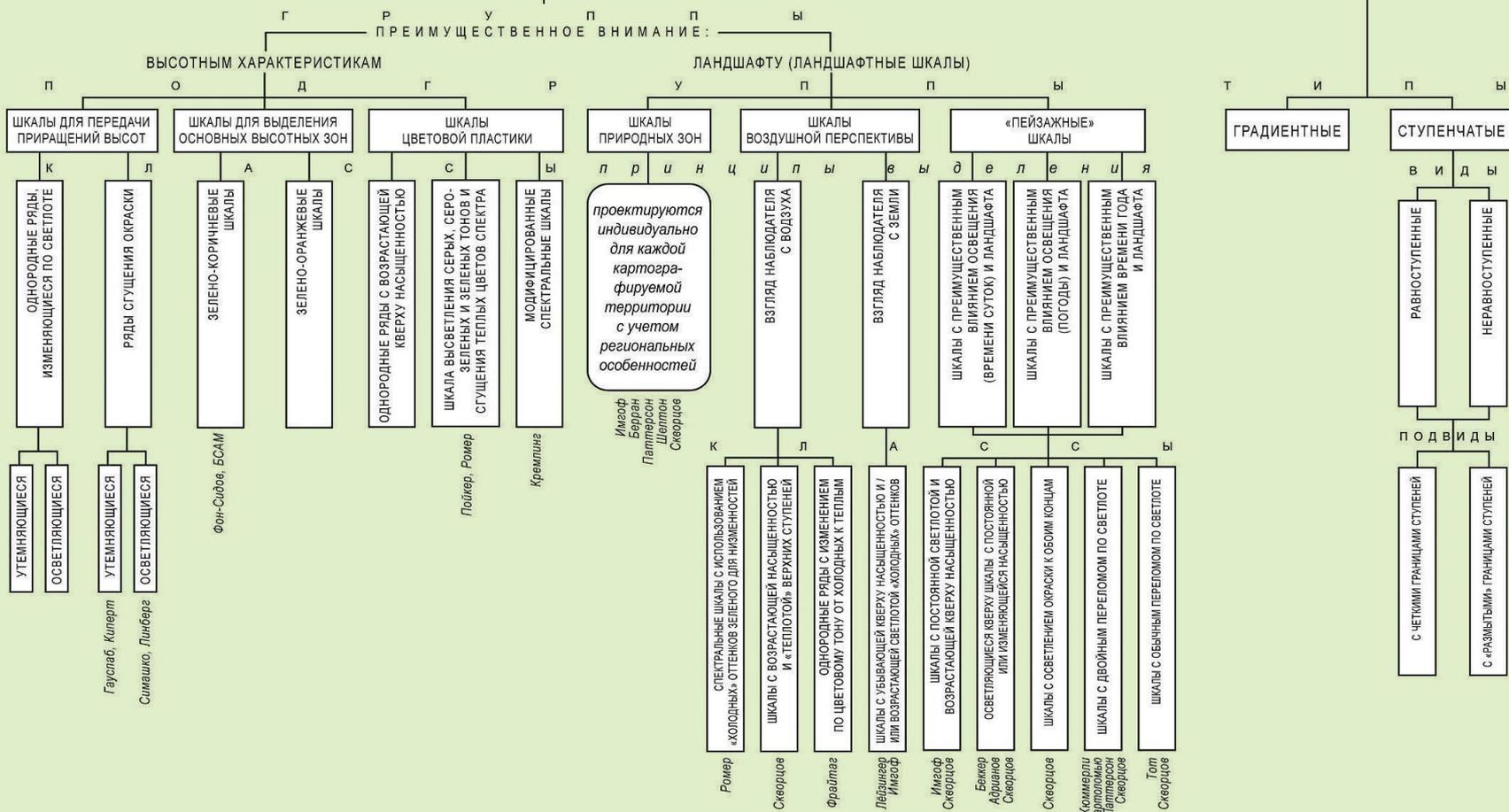
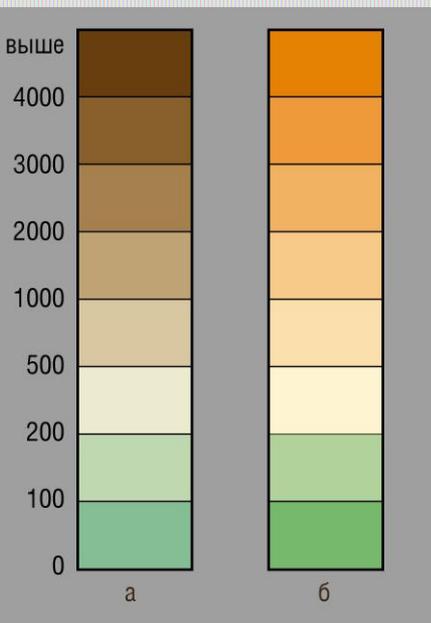


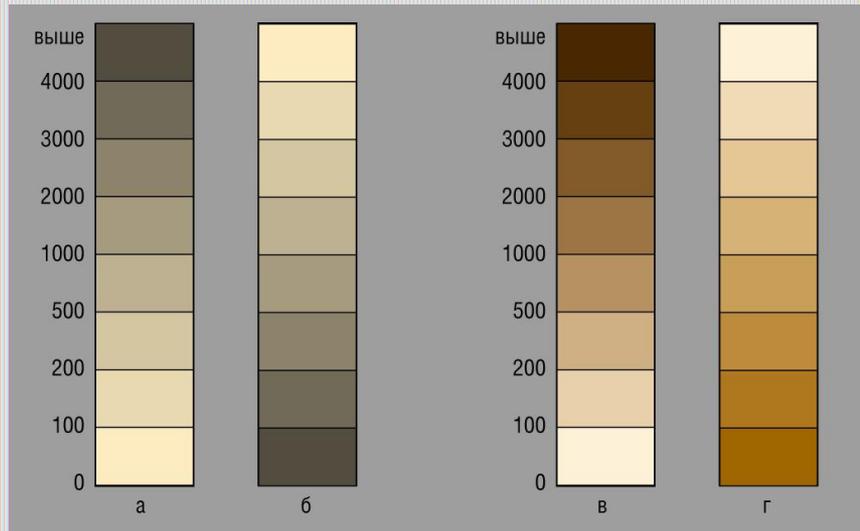
Рис. 25 – Современная классификация гипсометрических шкал

**Гипсометрические шкалы с преимущественным вниманием высотным характеристикам**

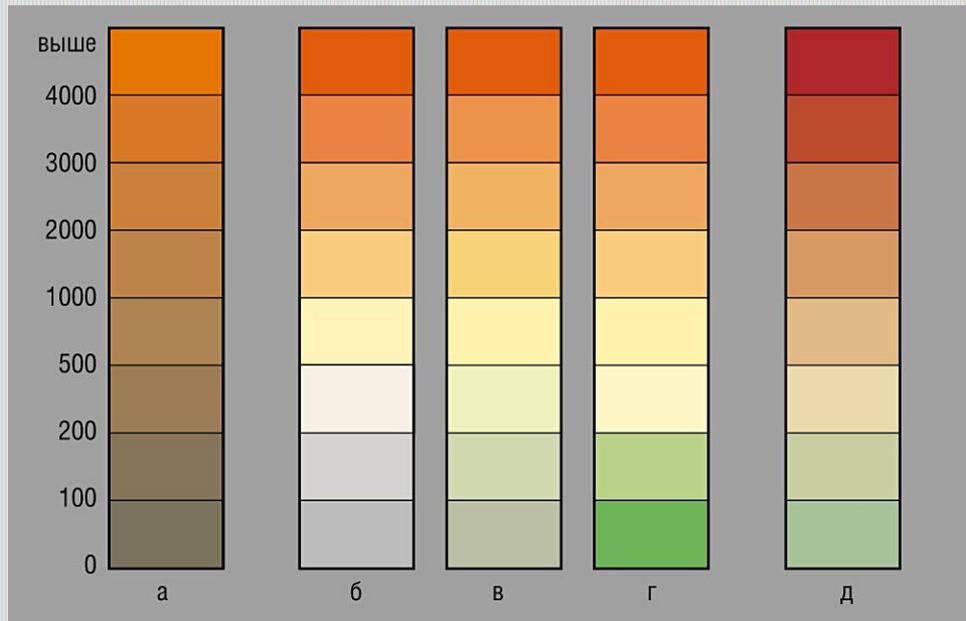


**2 - Шкалы для выделения основных высотных зон (низменности, возвышенности, горы)**

**Рис. 26 – Гипсометрические шкалы по группам**



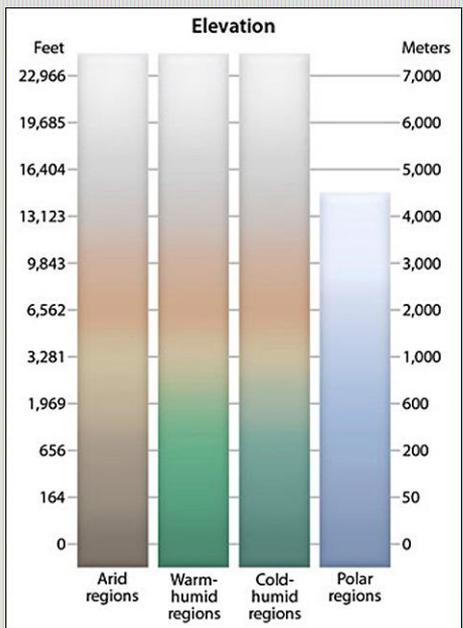
**1 - Шкалы для передачи приращений высот**



**3 - Шкалы цветовой пластики**

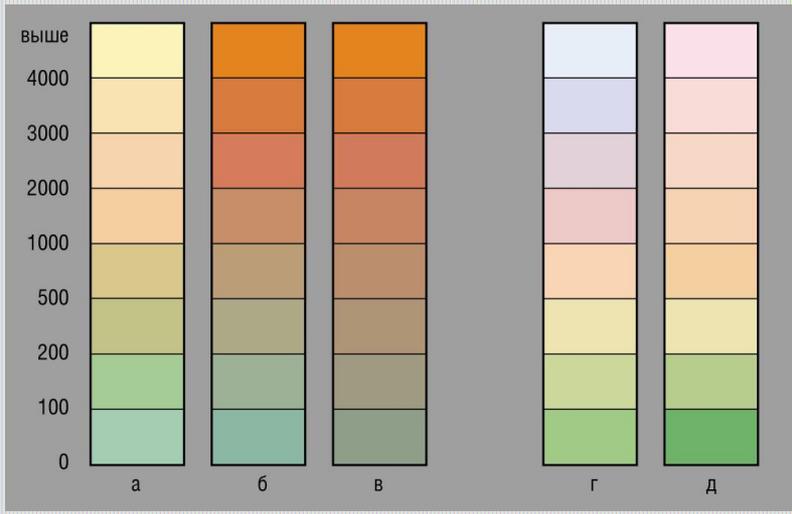


Гипсометрические шкалы с преимущественным вниманием ландшафту (ландшафтные шкалы)

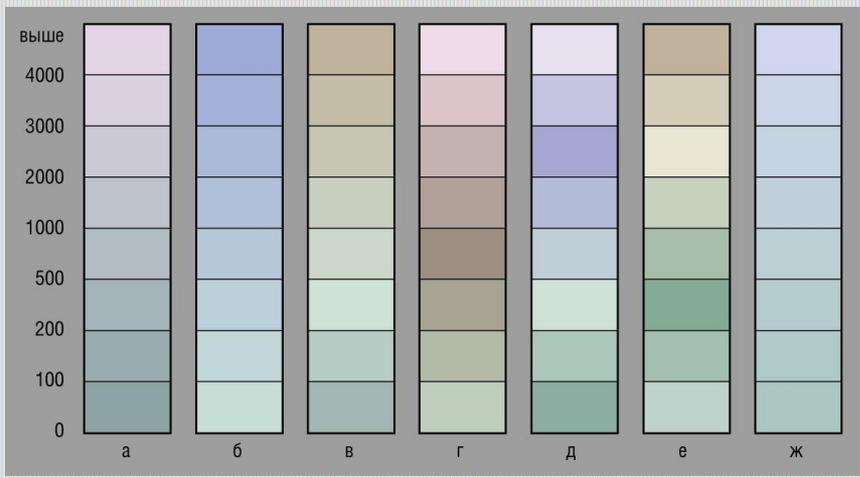


1 – Шкалы природных зон (Том Паттерсон)

Рис. 27 – Гипсометрические шкалы по группам



2 – Шкалы воздушной перспективы (а-в – взгляд с воздуха, г-д – взгляд с поверхности Земли)



3 - «Пейзажные» шкалы (преимущественное внимание ландшафту и условиям освещения: цветовая гамма шкал соответствует пасмурной или туманной погоде)

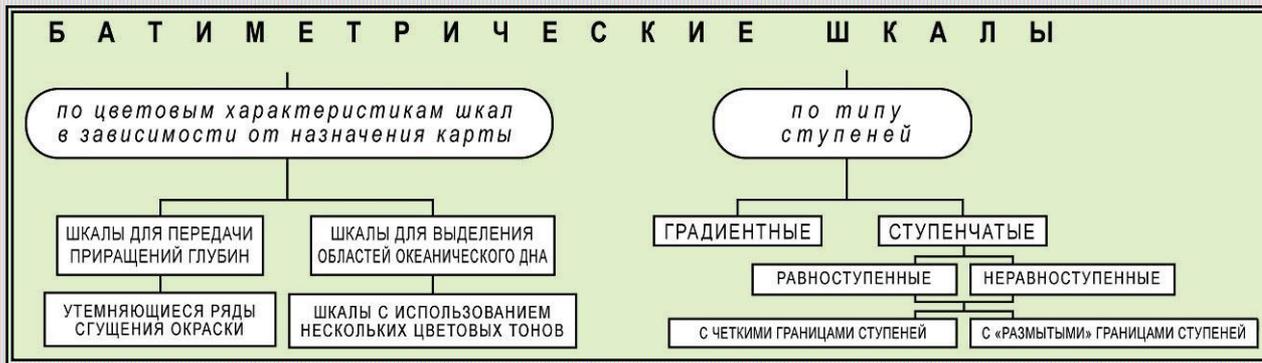


Рис. 28 – Классификация батиметрических шкал

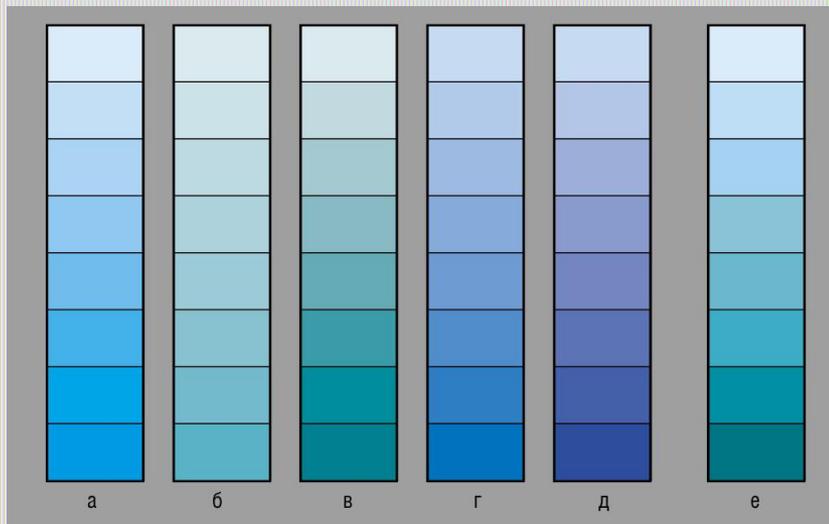


Рис. 29 – Варианты цветового решения батиметрических шкал:  
 а - д – шкалы сгущения окраски одного цветового тона;  
 е – шкала с использованием нескольких цветовых тонов

# Аналитический подход к проектированию гипсометрических шкал

основан на использовании количественных параметров цвета ступеней шкал и закономерностей их изменения в различных цветовых моделях. Его достоинство – объективность, математически обусловленная характеристиками цвета, пригодность для использования в компьютерных технологиях. В рамках аналитического подхода предложен оригинальный алгоритм проектирования шкал (рис. 30-34).

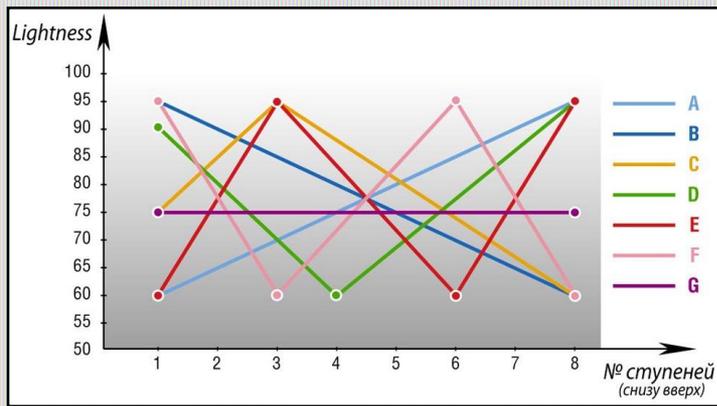
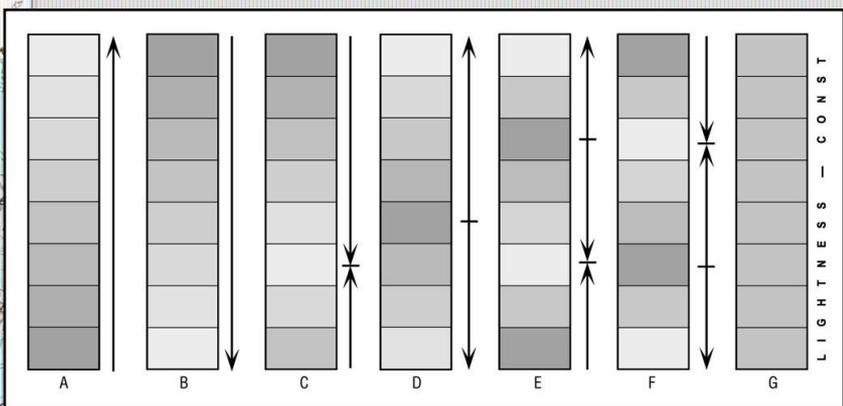


Рис. 30 – Возможные варианты изменения светлоты ступеней гипсометрических шкал

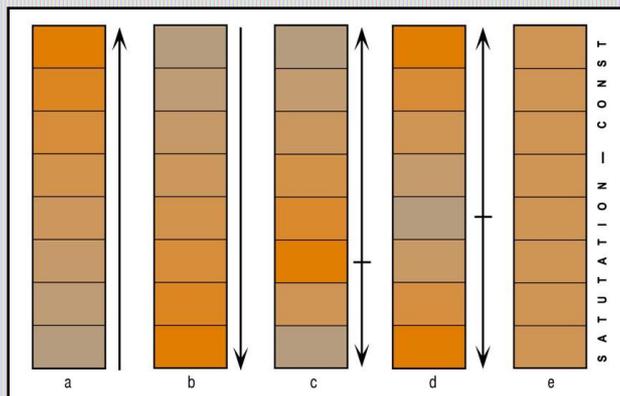
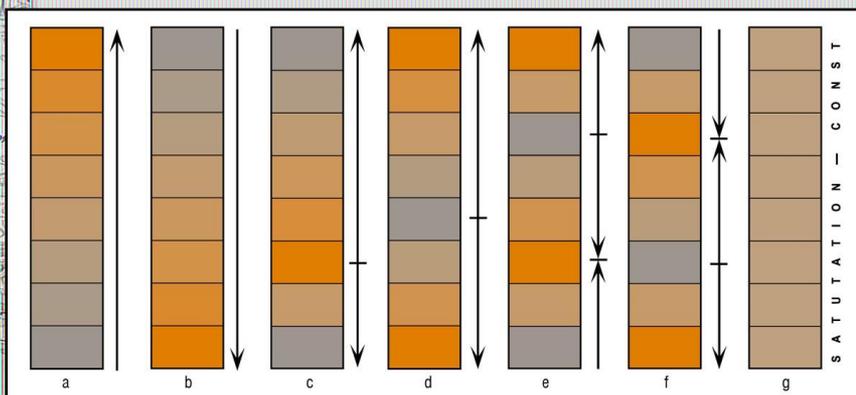


Рис. 31 – Возможные варианты изменения насыщенности ступеней гипсометрических шкал

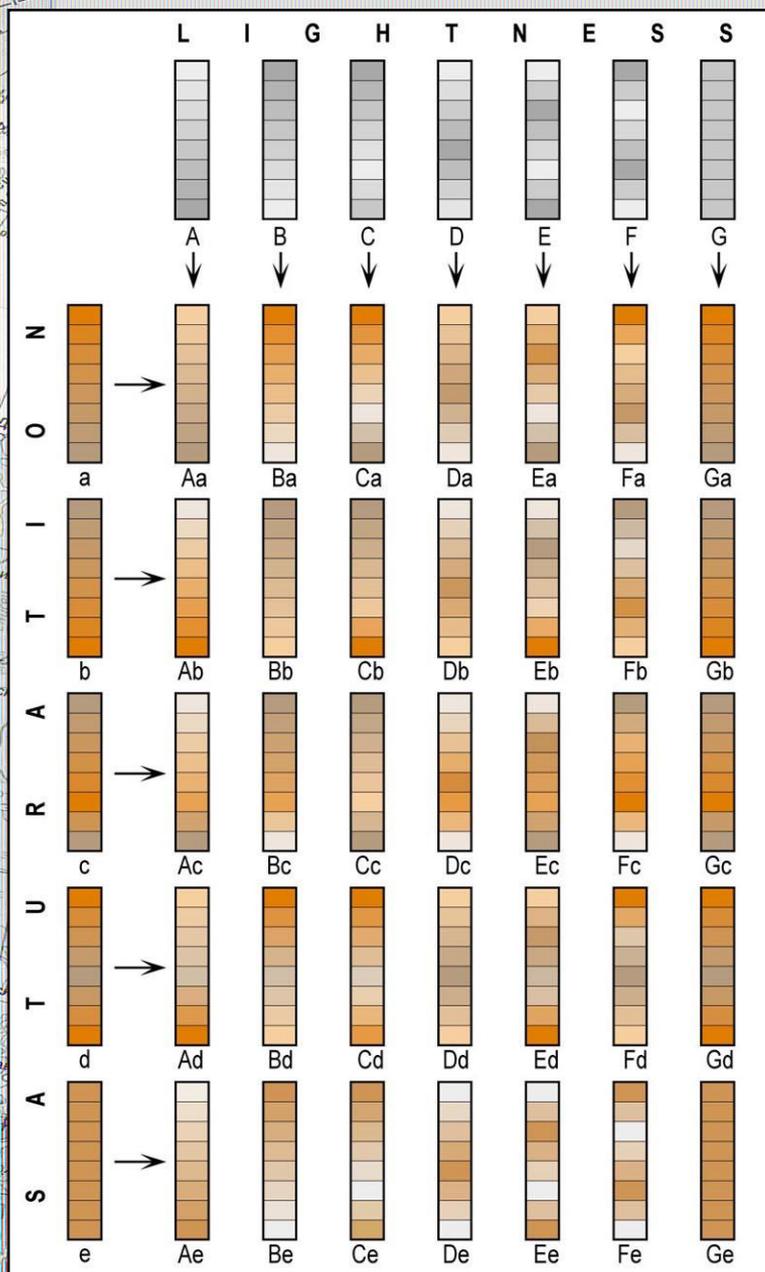


Рис. 32 – Возможные варианты сочетания светлоты и насыщенности ступеней

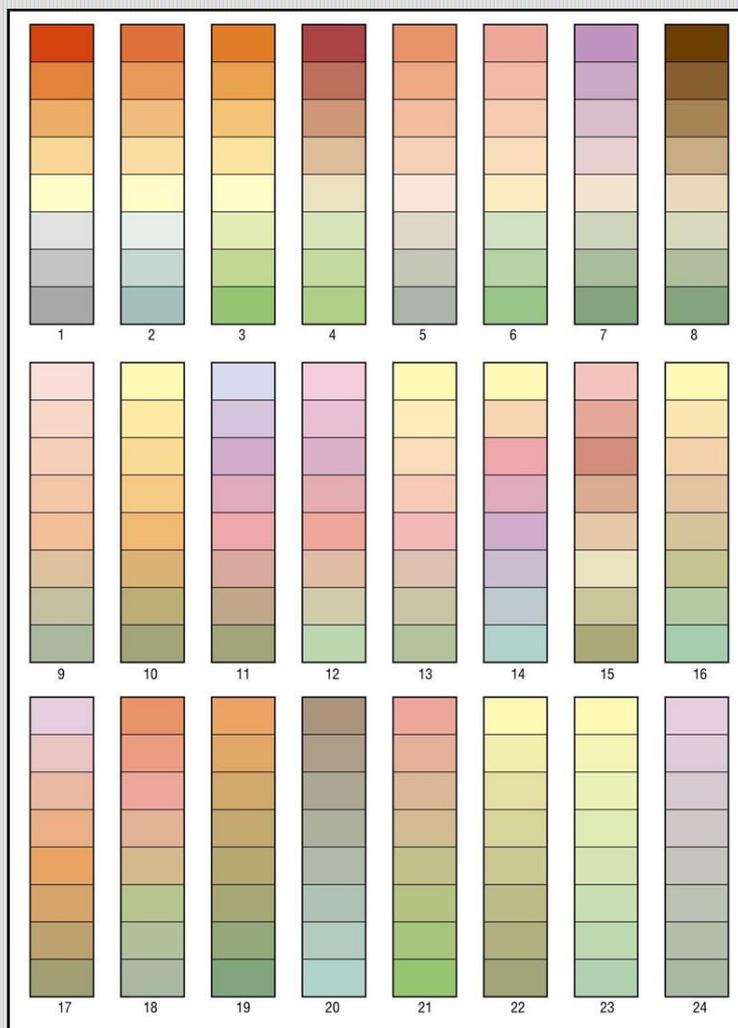
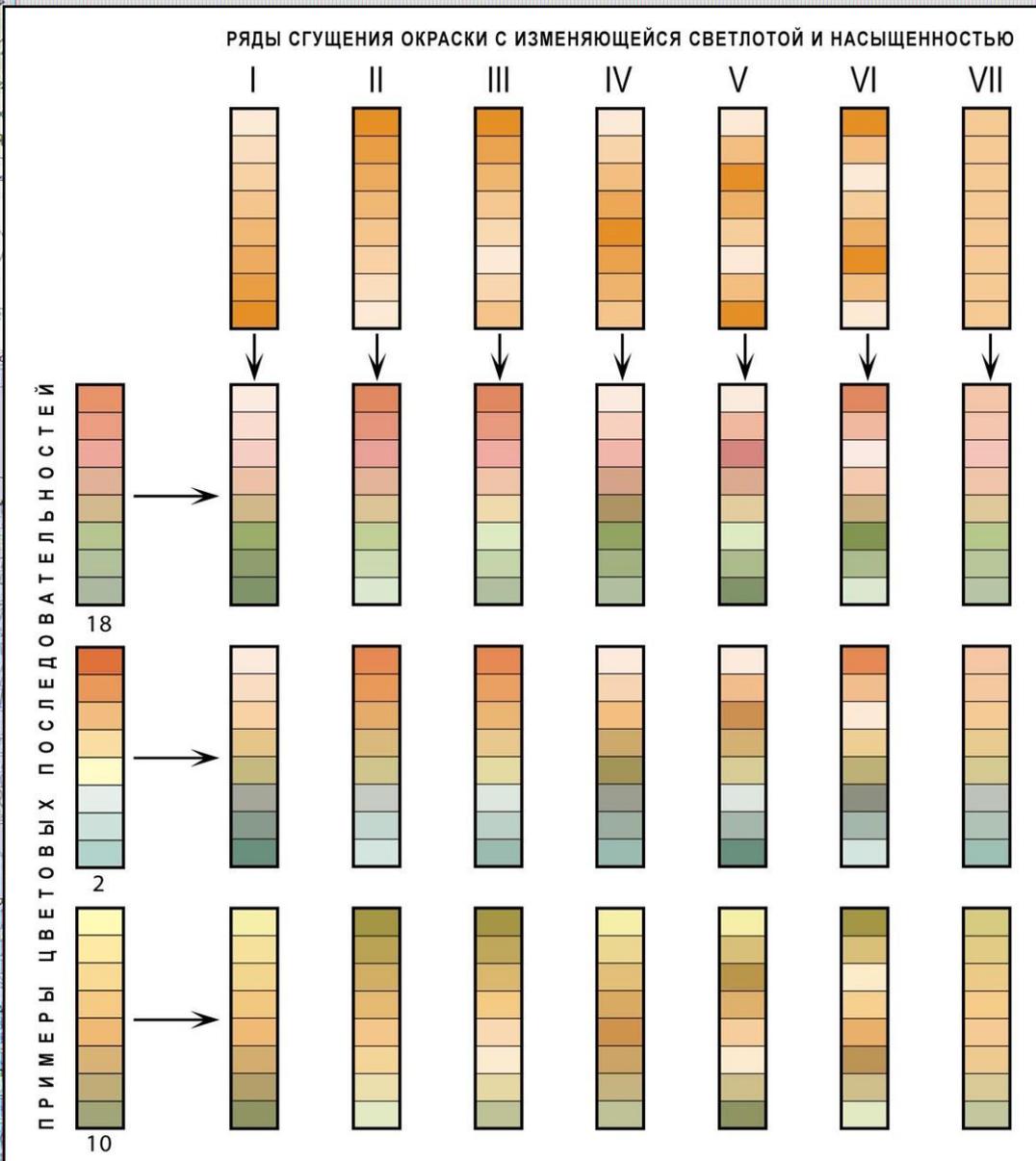


Рис. 33 – Наиболее часто используемые цветовые последовательности



В рамках аналитического подхода возможен алгоритм получения гипсометрических шкал путем наложения цветовых последовательностей на ряды сгущения окраски с изменяющейся светлотой и насыщенностью. Алгоритм дает большое количество разнообразных шкал, некоторые из которых, в силу формального подхода, требуют интерактивной доработки.

*Рис. 34 – Алгоритм проектирования шкал: наложение цветовых последовательностей №№ 2, 10 и 18 на шкалы с изменяющейся густотой окраски (I-VII)*

## Интегрирование теневой пластики с гипсометрической окраской

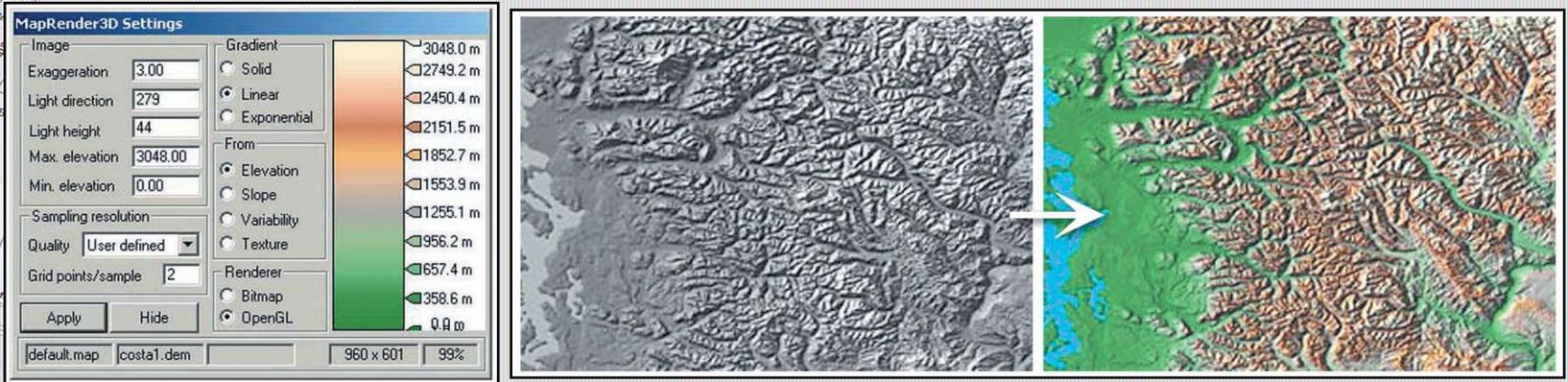


Рис. 35 – Алгоритм получения гипсометрической окраски и ее интеграция с аналитической отмывкой в ГИС-программах (MapRender 3D)

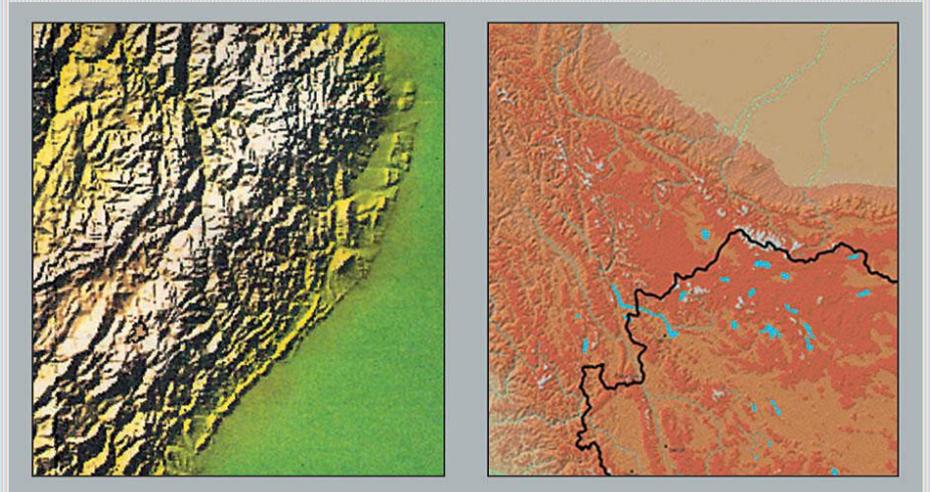
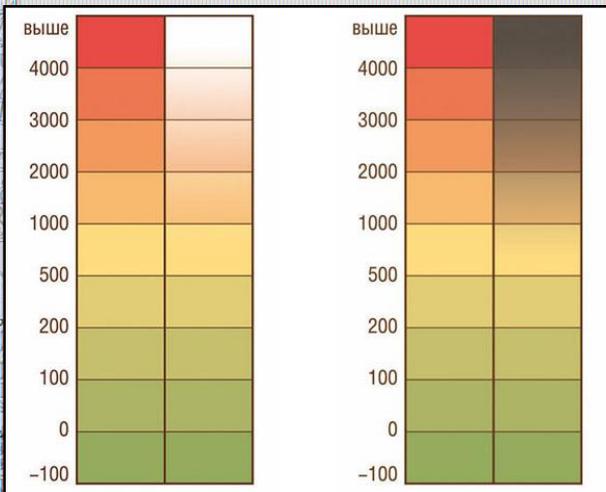


Рис. 36 – Неудачные варианты интегрирования теневой пластики с гипсометрической окраской

Новый тип гипсометрических шкал – «составные», в которые включено светотеневое оформление. Они позволяют выполнять цветную отмывку рельефа и могут быть получены из уже известных и широко применяемых шкал (рис. 37).

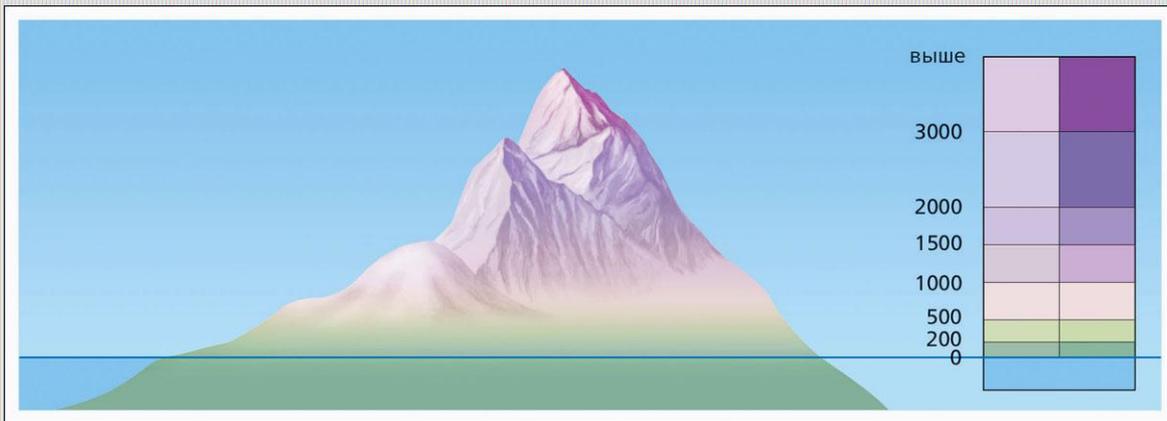


Рис. 37 – Составная гипсометрическая шкала

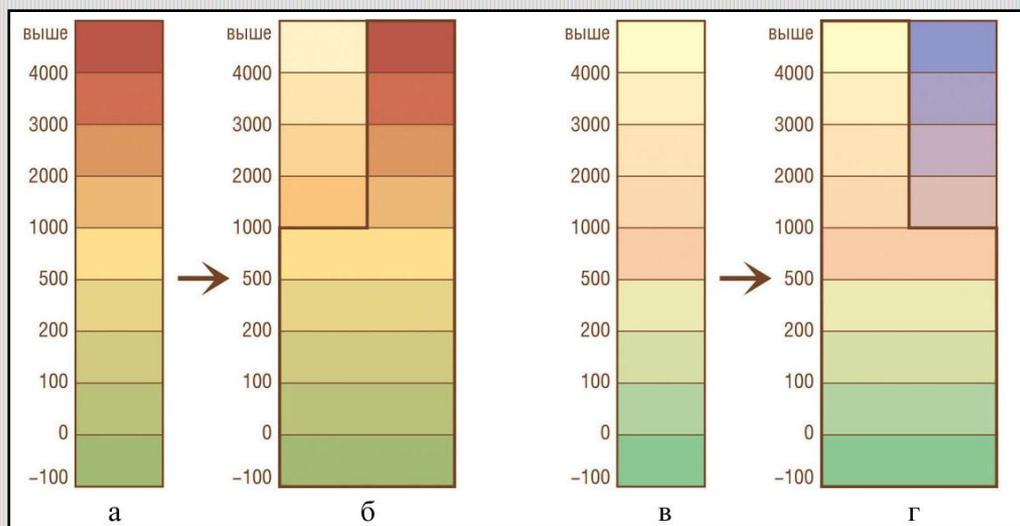


Рис. 38 – Алгоритм проектирования составных гипсометрических шкал (а,б – получение составной шкалы из утемняющейся, в,г – из осветляющейся)



## Перспективы автоматизации процесса получения цветной отмывки с использованием составных гипсометрических шкал

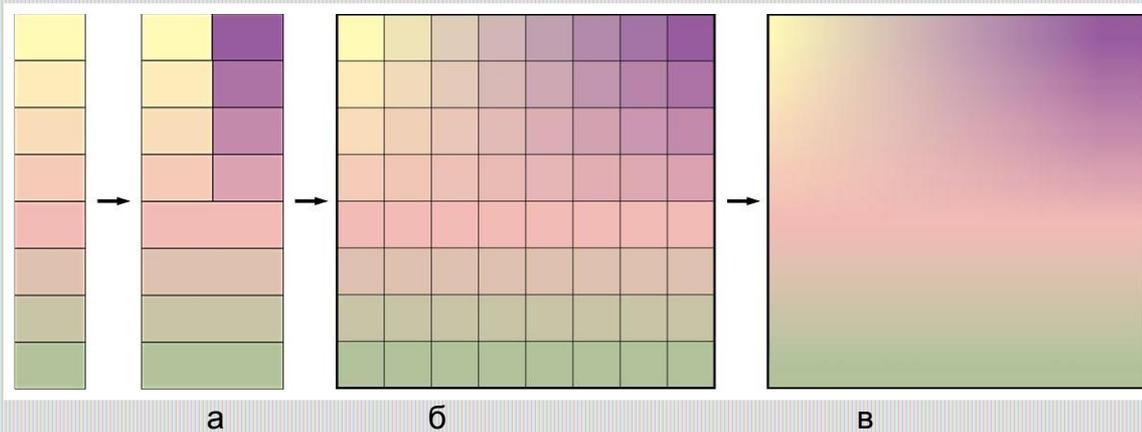


Рис. 40 - Пример проектирования составной (а) и аппликативной (трехмерной) шкал – ступенчатой (б) и градиентной (в)

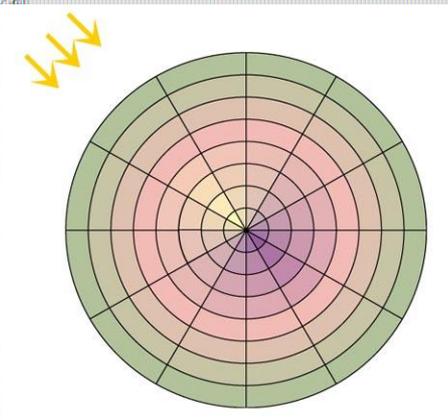


Рис. 41 – Аппликативная шкала на конусообразной модели

На первом этапе проектируется составная шкала: в зоне низменностей она единая, а в горной делится на две части – свет и тень. Далее для целей автоматизированного получения изображения такая шкала может быть представлена в виде аппликативной (ступенчатой или градиентной плашки), по вертикали которой откладываются высоты (слева – для освещенного склона, справа – для теневого), по горизонтали – оттенки цвета, соответствующие различной экспозиции склонов (рис. 40, 41).



5360

6006

7589

Phalong Karpo

Lobache Chubur

Phariche

Ducapcho

Imja-Gletscher

Lhotse Shar-Gletscher

8620

Использование интегрированных с отмывкой гипсометрических шкал позволяют имитировать цветную отмывку в «швейцарском» стиле и создавать живописно оформленные картографические произведения для решения разнообразных задач (рис. 37, 38).

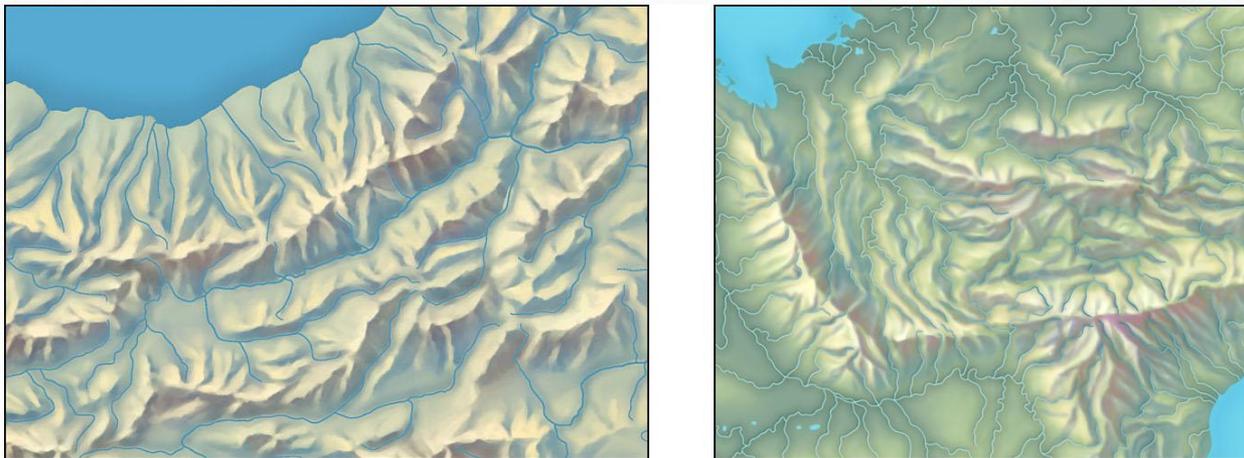
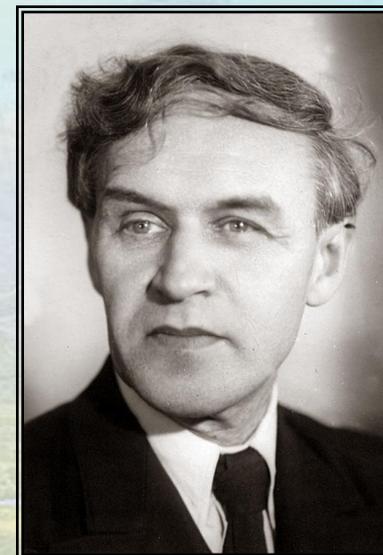


Рис. 42 – Отмывка рельефа с использованием составных шкал



*«...мы стремились показать, что картографическое оформление может подниматься до подлинного живописного и графического мастерства и этим способствовать значительному повышению качества карт. Мы стремились показать, что оформление требует в ряде случаев широких научных познаний.*

*Спрашивается, почему генерализацию рельефа мы все признаем за один из сложных элементов науки, а когда исполняем ландшафтное оформление какой-либо сложной карты, то некоторые высказывают свое недоумение и говорят: «А где же здесь картография? Где наука? Ведь это сплошная живопись!» Они совершенно не учитывают, что художнику-инженеру для соблюдения и отражения выставленных нами требований живописного оформления карт необходимо проделать ту же генерализацию материалов, изучить фотоматериалы, обширную и разнообразную географическую литературу и, быть может, непосредственный ландшафт, затем из анализа вывести синтез закономерностей, т. е. провести ту же научную генерализацию и отразить ее результаты, но только не в горизонталях, а еще гораздо более сложными методами светотеневого и цветового оформления».*



*Петр Алексеевич Скворцов, 1950*



An aerial topographic map of a region, likely in the Balkans, showing a complex network of rivers and a city. The terrain is color-coded by elevation, with greens and yellows for lower elevations and browns and oranges for higher elevations. A major river system is visible, with several tributaries. A city is located in the lower right quadrant, near a confluence of rivers. The text "СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!" is overlaid in the center of the map.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**