

высокую точность угловых измерений по сравнению с линейными. В результате этого замыкающая имеет ориентировку, обратную ее ориентировке при линейной засечке. Следовательно, α_1 и α_2 вычисляются непосредственно по величине $2\varphi_0$, полученной по формуле (8).

$$\gamma = \arccos \frac{2,119}{9,042} = 76^\circ 30' \quad (76^\circ 30'),$$

$$\alpha_1 = \frac{78^\circ 00' - 76^\circ 30'}{2} = 0^\circ 45' \quad (0^\circ),$$

$$\alpha_2 = \frac{78^\circ 00' + 76^\circ 30'}{2} = 77^\circ 15' \quad (76^\circ 30').$$

Контроль: $0^\circ 45' + 77^\circ 15' = 78^\circ 00'$.

Зная, что $\mu = 7,9$ см, и приняв, по аналогии с [1], $m_{\alpha_1} = m_{\alpha_2} = 2'',9$, находим по формуле (7)

$$S_1 = S_2 = \frac{7,9 \times 206265}{2,9 \sqrt{1 + 4,521}} = 2391 \text{ м.}$$

Таким образом, многократная линейно-угловая засечка (рис. 2, а) может быть заменена эквивалентной простой линейно-угловой (рис. 2, б), в которой S_1 и S_2 измерены с погрешностью 7,9 см, а β_1 и β_2 с погрешностью $2'',9$.

В заключение отметим, что угловые элементы простой эквивалентной засечки могут быть измерены непосредственно на схеме, построенной по принципу, показанному на рис. 1. Для каждой засечки результаты таких графических определений даны в скобках. Точность графического способа в конечном итоге не уступает аналитическому.

Для вычерчивания подер по известным A_0 , B_0 и φ_0 можно использовать специальный прибор [4]. Подеры простых эквивалентных засечек могут быть вычерчены и без предварительного вычисления их элементов, например, по методике, описанной в работах [2, 3] или с помощью прибора «Подерограф» [5].

Список литературы: 1. Шеховцов Г. А. Графическая оценка точности засечек с учетом погрешностей исходных данных. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1981, вып. 34. 2. Шеховцов Г. А. Построение подеры прямой угловой засечки. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1978, вып. 27. 3. Шеховцов Г. А. Оценка точности линейной засечки графическим способом. — Геодезия и картография, 1979, № 2. 4. Шеховцов Г. А. Прибор для построения подеры эллипса погрешностей. — Горьковский межотраслевой территориальный ЦНТИ. Информ. листок, 1980, № 390—80. 5. Шеховцов Г. А. Подерограф. — Горьковский межотраслевой территориальный ЦНТИ. Информ. листок, 1981, № 31—81.

Статья поступила в редколлегию 20.09.81.

А. В. БРЮХАНОВ, В. С. ТИКУНОВ

ФОТОГРАФИЧЕСКИЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОСТЫХ АНАМОРФИРОВАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Анаморфозами в современной географической литературе называют изображения, производные от традиционных карт, линейный масштаб которых трансформируется и варьирует в зависимости от величины плотности (интенсивности) явлений на исходной карте. На анаморфозе плотность (интенсивность) явления распределена равномерно в плоскости изображения, за счет чего трансформируются плановые координаты исходного пространства. Иначе, анаморфоза — изображение в пространстве выровненного явления.

Практика создания анаморфоз насчитывает несколько десятилетий. Однако большинство известных анаморфоз строятся вручную с весьма низкой точностью. Кроме того, очевидно, что решений в таких случаях столько, сколько составителей. В некоторых случаях производное изображение теряет топологическое сходство с оригиналом. Узлы (точки) пересечения границ превращаются в линии, из-за чего сопредельные территории теряют свойство соседства. Такой способ скорее статистический, он ближе к диаграмме, чем к картографическому изображению.

Первая попытка придать анаморфированию математическую строгость выполнена Л. И. Василевским [1], предложившим формулы для перехода от эквивалентных изображений к «вариантным». Но его анаморфозам свойственны строгость и однозначность только при однозначно определенной точке начала отсчета и направления осей X и Y . Для простой геометрической фигуры такую точку можно оговорить и найти (например, центр распределения явления или центр фигуры), однако для картографического изображения это самостоятельная, достаточно сложная проблема. При смене начала отсчета меняется все изображение.

Предлагаемый нами способ анаморфирования свободен от этого недостатка, однако при существующей технологии его реализации он может применяться лишь для анаморфирования изображений с небольшой вариацией плотности (интенсивности) явлений. Это связано с технической трудностью изготовления и использования моделей с большим и резким перепадом плотностей явлений. Однако большим преимуществом способа является простота его осуществления.

Суть способа заключается в оптическом проектировании исходного картографического изображения на поверхность рельефной

модели с последующим фотографированием получаемой при этом трансформированной картины. В результате исходное изображение воспроизводится в центральной проекции со свойственными ей масштабными искажениями, создаваемыми преднамеренно в целях получения анаморфозы.

Для реализации предлагаемого способа может быть использована установка из двух оптических проекторов (типа проекторов мультиплекса), один из которых предназначается для проектирования исходного изображения на рельефную модель, а другой — для фотографирования воспроизводимой на модели картины. Возможно также использование и одного проектора, если проектируемое изображение вначале прочертить на модели, а затем его фотографировать.

Второй путь не требует устранения искажения, получаемого при фотографировании модели вторым проектором при его необходимом пусть даже и небольшом наклоне.

Для расчета высот отдельных форм рельефной модели в зависимости от заданного диапазона изменений плановых размеров соответствующих участков на анаморфозе можно воспользоваться известной из аэрофотогеодезии зависимостью между разномасштабностью аэроснимка и перепадом высот точек местности:

$$\Delta m = \pm \frac{h}{f},$$

где Δm — разность знаменателей масштабов участков аэроснимка, относящихся к различным высотным уровням местности; h — превышение между высотными уровнями местности; f — фокусное расстояние съёмочной камеры.

По этой формуле нетрудно определить, какими должны быть превышения h между отдельными участками рельефной модели, если заданы масштабы их результирующих изображений на анаморфозе, которые определяются величинами плотности (интенсивности) явления, а также известно фокусное расстояние оптического проектора, приспособленного для фотографирования. При этом для создания рельефной модели по карте с равномерным интервалом изолиний, ступеней картограммы и т. д. достаточно задать лишь минимальные и максимальные значения масштабов, в которых на снимке должны изображаться самые низкие и самые высокие участки модели. Все промежуточные значения перепадов высот других частей модели можно получить простым интерполированием.

Для примера проведем анаморфирование карты сумм температур воздуха за период со средней суточной температурой выше 10° Цельсия для территории Северного Казахстана. В зависимости от значений каждой изолинии исходного изображения (рис. 1, А) были рассчитаны требуемые высоты участков будущей модели, которая изготовлялась нами из пенопластовых пластин. Для этого через проектор на пластины проектировалось изображение изолиний и как бы по слоям оно вырезалось с помощью

тонкого жала паяльника. Наложение слоев по изолиниям позволяет воспроизвести модель требуемого размера. Резкие перепады между слоями сглаживались белой шпаклевкой. Для этих же целей может использоваться белый пластилин, порошок гипса и т. д.

Для получения анаморфированных изображений предлагаемым способом также возможно применение горных трансформаторов, некогда использовавшихся в фотограмметрии для построения и фотографирования макетов обратного рельефа местности, изготовляемых непосредственно по увеличенным отпечаткам с аэро-негативов. Фотографирование макета, форму которого принимает и наложенный на него увеличенный аэрофотоснимок, позволяет получить новое негативное изображение местности, свободное от искажений за рельеф. Горный фототрансформатор имеет устройство для создания требуемой модели с помощью набора равномерно размещенных по площади специальных стержней, которые могут выдвигаться на различную длину. Это устройство и сама проекционная камера горного фототрансформатора могут использоваться и для непосредственного получения анаморфированных картографических изображений.

После того как модель тем или иным способом изготовлена остается лишь сфотографировать ее с требуемой высоты. Если на модель при этом предварительно спроектировать и нанести исходное изображение изолиний и границ, то их фотографирование сразу же позволяет получить требуемое анаморфированное изображение. Отметим также, что на модель можно проектировать не только исходное изображение, но и любое другое, взаимосвязанное с данным, явление. Так, в нашем примере изготовление модели производилось на основе карты, изображенной на рис. 1, А, а на полученную модель проектировались изображения рис. 1, В, и 1, С. Такое построение анаморфоз, когда в пространстве одного выровненного явления воспроизводится изображение другого явления, взаимосвязанного с первым, позволяет изучать взаимосвязи явлений, представив одно из них в виде константы, заложенной в основу анаморфозы.

Процесс анаморфирования при изучении взаимосвязей должен определяться их содержательными особенностями. Например, участки территории, где связь между явлениями проявляется наиболее сильно, можно смоделировать такой высотой на модели, которая позволит не исказить их площадей на анаморфозе. Тогда все отклонения как в сторону уменьшения, так и увеличения площадей будут передавать характер отклонений в связях двух явлений, причем причины этих отклонений будут различны. Поэтому для любой сельскохозяйственной культуры зоны, где сумма активных температур (или других экологических характеристик) наиболее благоприятна для ее выращивания, можно изображать на анаморфозе без трансформирования площадей. В этом случае для каждой сельскохозяйственной культуры, имеющей свою оптимальную сумму температур, следует создавать и использовать особую анаморфозу.

С целью отображения взаимосвязей урожайности зеленой массы кукурузы с суммой активных температур следует выбрать их оптимальное значение. Известно, что для получения высокой урожайности зеленой массы кукурузы необходима сумма температур, большая 2000°, что наблюдается на всей территории Северного Казахстана. В этом случае на результирующем анаморфированном изображении все ее части только увеличивали бы свои площади в зависимости от сумм активных температур. Однако для

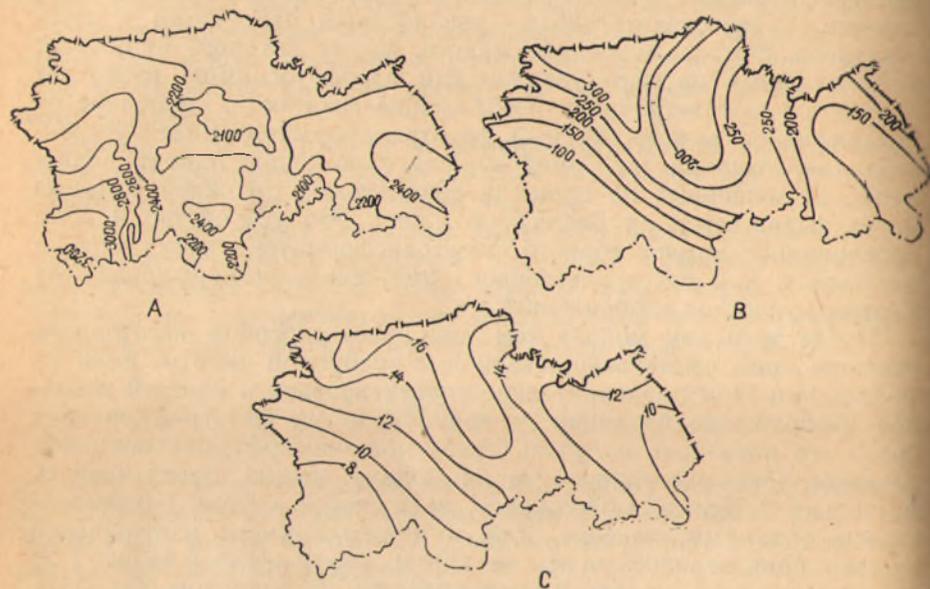


Рис. 1. Исходные карты для построения анаморфированных изображений:
 А — суммы температур воздуха за период со средней суточной температурой выше 10° С;
 В — урожайность зеленой массы кукурузы (ц/га); С — урожайность ячменя (ц/га).

выращивания кукурузы на зерно этой суммы температур недостаточно. Поэтому в качестве благоприятной суммы температур выберем среднее их значение для Северного Казахстана, изолиния которой проходит южнее или примерно совпадает с границей, за которой возможно вызревание початков кукурузы до молочно-восковой спелости. Так как в самых южных частях территории с максимальной суммой температур отрицательно сказывается засушливость климата, то поэтому зону средних температур свяжем с наилучшими условиями и не будем изменять ее площади на анаморфозе.

Анаморфоза сумм температур воздуха за период со средней суточной температурой выше 10° Цельсия, созданная при данном условии, представлена на рис. 2, А. Если на анаморфированное изображение спроектировать изолинии урожайности зеленой массы кукурузы (рис. 2, В), то можно отметить, что районы наивысшей для Северного Казахстана урожайности приходятся на те

участки анаморфозы, которые незначительно уменьшили свою площадь. Это свидетельствует о преобладании здесь сумм температур, достаточных для получения высокой урожайности зеленой массы, идущей в значительной степени на силос, но недостаточных для созревания на зерно такой теплолюбивой культуры, как кукуруза. Неоптимальность температурных условий данного региона может быть визуальным образом оценена степенью уменьшения их площадей на анаморфозе.

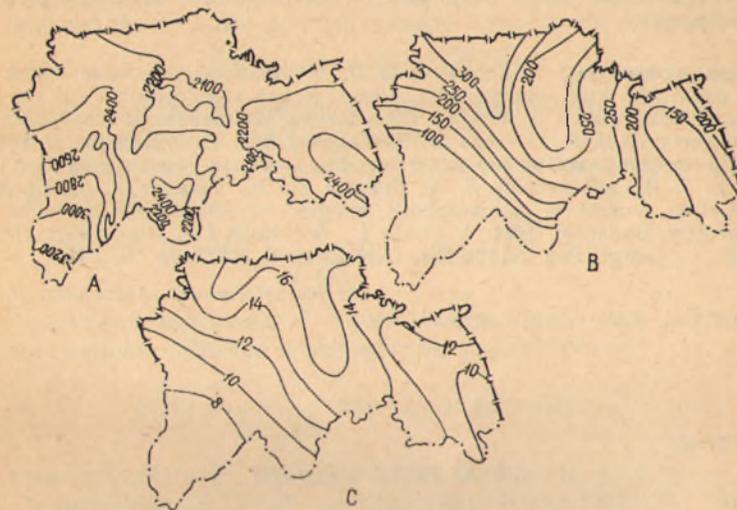


Рис. 2. Анаморфированные изображения:

А — анаморфоза сумм температур воздуха за период со средней суточной температурой выше 10° С; В — изображение урожайности зеленой массы кукурузы на анаморфозе; С — изображение урожайности ячменя на анаморфозе.

В южных районах, в наибольшей степени увеличивших свои площади, несмотря на высокие суммы температур происходит уменьшение урожайности, что, как уже отмечалось, связано с засушливостью климата. Поэтому как в данном, так и в последующих случаях, нельзя забывать, что урожайность определяется далеко не только суммой температур.

На рис. 2, С, где на поверхность сумм температур нанесены изолинии урожайности ячменя, зоны повышенной урожайности оказались связанными с районами, уменьшившими свою площадь. Но в этом случае даже минимально возможные в Северном Казахстане суммы температур достаточны для выращивания такой холодостойкой культуры, как ячмень, и его урожайность зависит от других факторов. Для данной культуры на всей изучаемой территории вряд ли целесообразно устанавливать взаимосвязь сумм температур и урожайности ячменя на том уровне, как это сделано для теплолюбивой кукурузы. Это свидетельствует о необходимости строго следить за соответствием взаимосвязей географических явлений при анаморфировании одного из них.

Сделанные выводы очень просты и лишь иллюстрируют известные закономерности. При схематичности выполненных примеров условно правильного и неправильного отображения взаимосвязей, эксперимент позволяет наметить перспективные пути их исследования с помощью анаморфоз. Возможность выявления пока не установленных взаимосвязей, а также относительная простота изготовления анаморфоз по сравнению с другими аналоговыми методами [2—4], однозначность их построения и т. д. могут обеспечить более широкое их применение в географических исследованиях.

Список литературы: 1. Василевский Л. И. Анаморфированные карты переменного масштаба и их применение в экономической картографии. — В кн.: Новое в тематике, содержании и методах составления экономических карт. М., 1979. 2. Расположенский Н. А., Свентэк Ю. В., Тикуннов В. С. О возможностях применения электрического моделирования в географии. — Вестн. Моск. ун-та, Сер. геогр. 1972, № 4. 3. Raspolozhenskiy N. A., Svntek Yu. V., Tikunov V. S. Automation of compilation process of anamorphic images. — Automation the new trend in cartography. Budapest, 1974. 4. Skoda L., Roberison J. C. Isodemographic map of Canada. — Geogr. Pap. Lands Dir. Dep. Environ., 1972, № 50, VIII.

Статья поступила в редколлегию 07. 09. 81

УДК 528.422:007.2

Л. К. ВОИСЛАВСКИЙ

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ РЕЛЬЕФА, ИЗОБРАЖЕННОГО ГОРИЗОНТАЛЯМИ

На топографических картах и планах рельеф изображают горизонталями в сочетании с отметками точек, а также надписями глубин (высот) оврагов, обрывов и др. элементов поверхности. Любую совокупность горизонталей можно рассматривать как множество сообщений, которое вместе с другими сообщениями (отметки, указатели глубин и т. д.) представляет нам информацию о рельефе местности [8]. Количественная оценка этой информации может быть выполнена на основе стохастической информационной модели рельефа*, которая базируется на статистических закономерностях рисунка горизонталей, исследованных в [7].

Рассмотрим одну отдельно взятую горизонталь. Аппроксимирем ее ломаной линией [5]. Энтропию $H(\Gamma_i)$ последовательности характерных точек $u_0, u_1, u_2, \dots, u_n$ можно представить в виде иерархической суммы условных энтропий [11]

$$H(\Gamma_i) = H(u_0) + H(u_1|u_0) + H(u_2|u_0, u_1) + \dots + H(u_n|u_0, u_1, \dots, u_{n-1}).$$

* Понятие «информационная модель рельефа» употребляется здесь в том смысле, как это определено в монографии [10].

Если фиксирована хотя бы одна из точек горизонтали, например, u_0 , принимаем $H(u_0) = 0$. Так как при добавлении условий энтропия не возрастает, с некоторым запасом можем записать

$$H(\Gamma_i) = H(u_1|u_0) + H(u_2|u_1) + \dots + H(u_n|u_{n-1}). \quad (1)$$

Положение характерной точки u_j относительно точки u_{j-1} однозначно определяется азимутом A_j и длиной l_j элементарного отрезка, соединяющего эти точки. Случайные величины A и l стохастически независимы [7]. Поэтому условную энтропию характерной точки горизонтали будем рассматривать как сумму энтропий

$$H(u_j|u_{j-1}) = H(l) + H(A). \quad (2)$$

Экспериментальными исследованиями установлено, что, по крайней мере в первом приближении, можно принять [7].

1. Случайная величина l имеет гамма-распределение с плотностью вероятностей

$$f(l) = \frac{\lambda^\alpha}{\Gamma(\alpha)} l^{\alpha-1} \exp(-\lambda l). \quad (3)$$

2. Случайная величина A может иметь одно- или двумерное распределение Мизеса с плотностью вероятностей

$$f(A) = \frac{1}{2\pi I_0(k)} \exp\{k \cos(A - \mu)\}. \quad (4)$$

В выражениях (3), (4) приняты обозначения: α, λ, k, μ — параметры распределений, $\Gamma(\alpha)$ — гамма-функция, $I_0(k)$ — модифицированная функция Бесселя первого рода нулевого порядка.

Энтропия длины отрезка $H(l)$, принимая во внимание (3), будет равна [6]:

$$H(l) = \log \left[\frac{\Gamma(\alpha) \left(\frac{e}{\alpha}\right)^{\alpha-\alpha} l^{-\alpha}}{\Delta l} \right] - (\alpha - 1) M(\log l), \quad (5)$$

где \log — символ двоичного логарифма, e — основание натуральных логарифмов, \bar{l} — средняя длина элементарного отрезка, Δl — шаг квантования горизонтали по длине, $M(\log l)$ — математическое ожидание функции $f = \log l$.

Чтобы найти $M(\log l)$, составим на основании (3) логарифмированную функцию правдоподобия [2]

$$\log L = n\alpha \log \lambda - n \log \Gamma(\alpha) + (\alpha - 1) \sum_{j=1}^n \log l_j - \lambda \log e \sum_{j=1}^n l_j.$$

Дифференцируем эту функцию по α , приравняем производную к нулю и разделим почленно на n . В результате, полагая, что $n \rightarrow \infty$, будем иметь

$$M(\log l) = \log \frac{\bar{l}}{\alpha} + \frac{d \log \Gamma(\alpha)}{d\alpha}.$$