

7000 STUTTGART 1,  
POSTFACH 508 - HOLZGARTENSTRASSE 16  
HAUPTINGANG: MAX-KADE-WEG  
RUF 20731 - FERNSCHREIBER 07 - 22450

Brujevič, P.N. (Ingenieur am Laboratorium für Stereophotogrammetrie des Instituts für Geographie der AN der UdSSR)

NÄHERUNGSVERFAHREN ZUR BESTIMMUNG DER NEIGUNGSWINKEL  
FLACHER GELÄNDEABSCHNITTE NACH SENKRECHTAUFNAHMEN

Izvestija vysšich učebnych zavedenij  
Ministerstva vysšego i srednego special'nogo obrazovanija SSSR  
Razdel Geodezija i aërofotos-jemka  
1960, Heft 6, S. 109 - 112.

[russ.: Približennyj sposob opredelenija uglov naklona pologich učastkov mestnosti po planovym aërofotosnimkam]

Bei geographischen Untersuchungen stößt man oft auf die [109]  
Notwendigkeit, zusätzlich zur Erkundung dessen, wie die Elemente der Erdoberfläche gegenseitig angeordnet sind, auch ihre räumliche Lage zu bestimmen. Hier taucht auch das Problem auf, wie man die Neigungswinkel von Geländeabschnitten bestimmt.

Da Geographen bei der Verwendung von Bildmaterial durch Senkrechtaufnahmen meist nur mit Kontaktabzügen arbeiten, gewinnt die eindeutige Bestimmung der Neigungswinkel nach Senkrechtaufnahmen äußerst große Bedeutung.

Ein sehr einfaches und für jeden Geographen verständliches Verfahren zur Bestimmung der Neigungswinkel eines Geländes nach Senkrechtaufnahmen ist bereits veröffentlicht worden<sup>ⓧ</sup>.

<sup>ⓧ</sup> Poršnjakov, G.S.: Opredelenije élementov zaleganija porod po planovym aërofotosnimkam (Bestimmung der Gesteinslagerungselemente nach Senkrechtaufnahmen). - Vestnik Leningradskogo Un-ta, No 12, 1959.

Dies ist ein Näherungsverfahren, weil die Abweichung der optischen Achse des Fotoapparates von der Vertikale zum Zeitpunkt der Belichtung nicht berücksichtigt wird. Diese Methode hat auch den großen Nachteil, daß es schwierig ist, geringe Neigungswinkel (kleiner als  $15 - 20^\circ$ ) zu bestimmen. In derartigen Fällen nehmen die graphischen Konstruktionen riesige Ausmaße an, und die Maße der  $\frac{Z}{Z}$  Zeichnung werden bedeutend größer. Zum Beispiel sind die Maße bei einem Neigungswinkel  $\nu=20^\circ$  und einer Brennweite des Kameraobjektivs  $f=200$  mm größer als  $100 \times 100$  cm. Dies führt zu gewissen Schwierigkeiten bei der praktischen Verwendung der Methode.

Weiter unten werden einige Änderungen der besagten Methode dargelegt, mit dem Ziel, Geländeneigungswinkel von weniger als  $20^\circ$  zu bestimmen.

Entsprechend der Methode G.S. Poršnjakovs identifiziert und steckt man auf einem Bildpaar sich überlappender Senkrechtaufnahmen (Abbildung 1) ab:  $O_1$  und  $O_2$  - die Hauptpunkte und  $O'_1, O'_2$  - die mit ihnen identischen Punkte auf den Nachbarbildern: die Punkte  $A_1$  und  $A_2$  (Scheitel) des Gefälles, dessen Neigung bestimmt werden soll, und seine Basispunkte ( $B_1$  und  $C_1$  - auf dem linken,  $B_2$  und  $C_2$  auf dem rechten Bild). Als nächstes wird auf jede Aufnahme eine Deckpause im Format der Aufnahmen gelegt, auf die alle besagten Punkte übertragen werden. Auf den Deckpausen werden die Basislinien gezogen ( $O_1, O_2$  auf dem linken,  $O'_1$  und  $O'_2$  auf dem rechten Blatt). Danach werden beide Deckpausen so auf einem [110] Zeichenpapier befestigt, daß die Richtungen der Basislinien zusammenfallen und der Punkt  $O_1$  mit dem Punkt  $O_2$  kongruent ist. Auf das Blatt werden der zur Kongruenz gebrachte Punkt  $O$ , die Punkte  $A_1, B_1, C_1$  und  $A_2, B_2, C_2$  übertragen (Abbildung 2).

[Abbildung 1.]

Wenn man durch die Punkte  $A_1, B_1$  und  $A_2, B_2$ ;  $A_1C_1$  und  $A_2C_2$  Geraden zieht und bis zu ihrer gegenseitigen Über-

schneidung verlängert, erhält man dementsprechend die Punkte M und N. Auf die Gerade, die diese Punkte verbindet, wird aus dem zur Kongruenz gebrachten Mittelpunkt O das Lot OE gefällt. Vom selben Punkt O wird die Strecke OF abgetra-

[Abbildung 2.]

gen, die gleich (der Brennweite der Luftbildkamera) und parallel zur Geraden MN ist. Wenn man das Ende dieser Strecke F mit der Basis des Lotes E verbindet, erhält man auf der Zeichnung den Winkel OEF, der gleich dem gesuchten Neigungswinkel  $v$  ist. Er ist der Neigungswinkel der Fläche, die auf dem Gelände durch die Punkte A, B und C verläuft. Dieser Winkel wird auf der Zeichnung mit dem Transporteur gemessen. [111]

Tritt jedoch der Fall ein, daß der Winkel  $v$  nicht groß ist, liegt die Gerade MN in einer sehr großen Entfernung vom Punkt O. Bei  $v=10^\circ$  und  $f=200$  mm z.B. ist der Wert des Lotes OE größer als 1 m. Um die Maße der Zeichnung zu verkleinern, ist es deshalb notwendig, die Gerade MN dem Punkt O anzunähern.

Dies kann auf folgende Weise durchgeführt werden. Auf der Strecke  $A_2A_1$ , die die Scheitel des Gefälles auf dem linken und rechten Bild verbindet, wählt man den Punkt  $A_3$ . Durch diesen Punkt zieht man Geraden, die parallel zu den Strecken  $A_1B_1$  und  $A_1C_1$  sind, und verlängert sie, bis sie sich mit den Geraden überschneiden, die durch die Strecken  $A_2B_2$  und  $A_2C_2$  verlaufen. Man erhält die Punkte M' und N'. Es wird, anders ausgedrückt, eine Verschiebung der Punkte  $A_1$ ,  $B_1$  und  $C_1$  längs der Linie  $A_2A_1$  auf die Strecken, die der Strecke  $A_1A_3$  gleich sind, durchgeführt. Die gewonnene Gerade, die durch die Punkte M' und N' verläuft, ist der Konstruktion gemäß parallel zur vorhergehenden Geraden MN. Das vom Punkt O auf die Gerade M'N' gefällte Lot ist gleich OE'. Um an der Basis des Lots im Punkt E den Winkel  $v$  konstruieren zu können, muß man auf der Geraden OF die neue Strecke OD=X abtragen.

Entsprechend Abbildung 2 kann man leicht auf den Wert X

kommen, wenn man die Ähnlichkeit der Dreiecke  $MNA_2$ ,  $M'N'A_2$  und  $OEF$ ,  $OE'D$  ausnutzt. Dieser Wert ist gleich

. <1>

wobei  $f$  - die Brennweite  $A A$ ,  $c$  - die Entfernung vom Punkt  $O$  bis zur Geraden  $M'N'$ ,  $b$  - die Entfernung vom Punkt  $A_2$  bis eben zu dieser Geraden (d.h. gleich der Größe des Lots, das vom Punkt  $A_2$  auf die Gerade  $M'N'$  gefällt wurde),  $k$  - der Koeffizient, der dem Verhältnis der Strecken  $A_3A_1$  und  $A_2A_3$  entspricht, d.h.

. <2>

Wenn wir die Größe der Strecke  $X$  auf der Zeichnung anlegen, erhalten wir beim Punkt  $E'$  den Winkel  $v$ , der sich danach mit dem Transporteur messen läßt.

Falls die Strecken  $b$  und  $c$  nach verschiedenen Seiten von der Geraden ausgehen, dann ist

. <3>

Um überflüssige graphische Konstruktionen zu vermeiden, kann man auf den Tangens des Winkels  $v$  oder die Neigung unmittelbar auf analytischem Wege gelangen.

Aus dem Dreieck  $OE'D$  erhalten wir

<4>

oder im anderen Fall

. <5>

Die Strecken  $b$ ,  $c$ ,  $A_3A_1$  und  $A_2A_1$  lassen sich auf der Zeichnung mit einer Genauigkeit bis zu 0,3 mm messen. Der Punkt  $A_3$  kann auch so gewählt werden, daß der Koeffizient  $k$  eine ganze Zahl ist.

Auf diese Weise macht es die vorgestellte Variation des [112] Verfahrens zur graphischen Bestimmung der Neigungswinkel eines Geländes nach Senkrechtaufnahmen möglich, das Verfahren auch in solchen Fällen anzuwenden, in denen die gesuchten Winkel nicht groß sind.

Das Verfahren ist um so nützlicher als man keine Spezialgeräte verwenden muß, es ist in der Durchführung sehr einfach und überhaupt nicht mit der Benutzung von Landbegründungspunkten verbunden.

Gegenwärtig werden bei der Herstellung von Arbeiten, die auf Flugzeugaufnahmen beruhen, immer mehr Schlingerkreisel-

Luftbildanlagen vom Typ N-55 benutzt, mit deren Hilfe die Neigungswinkel der Aufnahmen nicht größer als  $\approx 20'$  sind. Deshalb darf man in gewisser Weise annehmen, daß man zur Bestimmung der Geländeneigungen Senkrechtaufnahmen wie Horizontalaufnahmen behandeln kann.

Wie auch in jedem anderen Fall graphischer Konstruktionen ist es unerlässlich, daß man mit größter Aufmerksamkeit darauf acht gibt, die gewählten Geländepunkte sorgfältig und genau zu identifizieren und abzustecken, parallele und gelotete Strecken haarscharf zu ziehen. Davon hängt letzten Endes die Genauigkeit des zu erzielenden Ergebnisses ab. Unbedingt müssen die Strecken  $A_1B_1$ ,  $A_2B_2$  und  $A_1C_1$ ,  $A_2C_2$ , die zur Basislinie parallel sind, vermieden werden; da sie sich auf der Zeichnung als beinahe parallel zueinander erweisen, wird die Feststellung ihrer Schnittpunkte erschwert.

Die Ergebnisgenauigkeit hängt auch von den Maßen des gewählten Dreiecks ABC ab.

Die Resultate zahlreicher Messungen der Neigungswinkel von Geländeabschnitten nach obigem Verfahren liefern überraschende Ergebnisse. Die Abweichungen (Divergenzen) der erzielten Winkelwerte von den Winkeln, die nach vorhandenen topologischen Plänen in großem Maßstab errechnet wurden, betragen nicht mehr als  $\pm 2,0^\circ$ . Die überzeugendsten Ergebnisse entsprachen den großen Maßen des Dreiecks ABC.

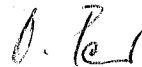
In der Mehrzahl der Bodenuntersuchungen, der geomorphologischen, geobotanischen und einiger hydrographischer Untersuchungen haben es Geologen gewöhnlich nur mit Kontaktabzügen zu tun und verfügen weder über Luftbildnegative noch über Stereophotogrammetriegeräte. Deshalb darf man annehmen, daß sowohl das Verfahren G.N. Poršnjakovs, als auch die hier vorgelegte Verallgemeinerung der Methode ein gewisses Interesse wecken dürften. Es ist ganz klar, daß auf diese Weise die Möglichkeiten der Luftbildinterpretation (Dechiffrierung von Luftbildaufnahmen) durch Messung beträchtlich erweitert werden können.

Anmerkungen des Übersetzers

1. Abgesetzte Gleichungen im Original wurden nicht in die Übersetzung übernommen. Dafür wurde ihr Platz durch Zahlen in eckigen Klammern  $\langle \rangle$  kenntlich gemacht.
2. Bei Ausdrücken in eckiger Klammer  $\langle \rangle$  handelt es sich um eine Übersetzungsvariante.

Stuttgart, den 6. Juni 1974

i.A.



(Ottmar Pertschi)

Dipl.-Übersetzer

30. V. 24

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ  
МИНИСТЕРСТВА ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ СССР

РАЗДЕЛ

ГЕОДЕЗИЯ И АЭРОФОТОСЪЕМКА

Выпуск 6

1960

Стереофотограмметрическая лаборатория  
Института географии АН СССР  
Инженер П. Н. Бруевич

**ПРИБЛИЖЕННЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛОВ НАКЛОНА  
ПОЛОГИХ УЧАСТКОВ МЕСТНОСТИ ПО ПЛАНОВЫМ  
АЭРОФОТОСНИМКАМ**

В процессе географических исследований часто возникает необходимость помимо выяснения взаимного расположения элементов земной поверхности определять их пространственное положение. Сюда относится также и вопрос определения углов наклона отдельных участков местности.

Поскольку в большинстве случаев географы, используя материалы плановой аэрофотосъемки, оперируют обычно лишь с контактными отпечатками, уверенное определение углов наклона по плановым аэрофотоснимкам приобретает весьма важное значение.

Очень несложный и доступный каждому географу графический способ определения углов наклона местности по плановым аэрофотоснимкам уже опубликован\*. Способ является приближенным, так как не принимаются во внимание отклонения оптической оси аэрофотоаппарата от вертикали в момент экспозиции. Серьезный недостаток этого способа состоит также в трудности определения небольших углов наклона (менее 15—20°). В таких случаях графические построения становятся громоздкими, а размеры чертежа значительно увеличиваются. Например, при угле наклона  $\gamma = 20^\circ$  и фокусном расстоянии объектива аэрофотоаппарата  $f = 200$  мм последние превосходят 100 X 100 см. Это создает определенные трудности при практическом использовании метода.

Ниже излагается некоторое изменение указанного способа с целью определения углов наклона местности менее 20°.

Согласно методике Г. С. Поршнякова, на паре перекрывающихся плановых аэрофотоснимков (рис. 1) опознаются и накладываются:  $O_1$  и  $O_2$  — главные точки и  $O_1'$ ,  $O_2'$  — идентичные им точки на соседних снимках; точки  $A_1$  и  $A_2$  (вершина) ската, уклон которого требуется определить, и точки у его основания ( $B_1$  и  $C_1$  — на левом снимке,  $B_2$  и  $C_2$  — на правом). Далее на каждый снимок накладываются форматные восковки, на которые переносятся все указанные точки. На восковках проводятся базисные линии ( $O_1$ ,  $O_2$  — на левом листе,

\* Поршняков Г. С. Определение элементов залегания пород по плановым аэрофотоснимкам, Вестник Ленинградского Ун-та, № 12, 1959.

$O_1, O_2$  — на правом. Затем обе восковки монтируются на листе чертёжной бумаги таким образом, чтобы направления базисных линий совпали, а точка  $O_1$  совместилась с точкой  $O_2$ . На бумагу перекальвается совмещенная точка  $O$ , точки  $A_1, B_1, C_1$  и  $A_2, B_2, C_2$  (рис. 2).

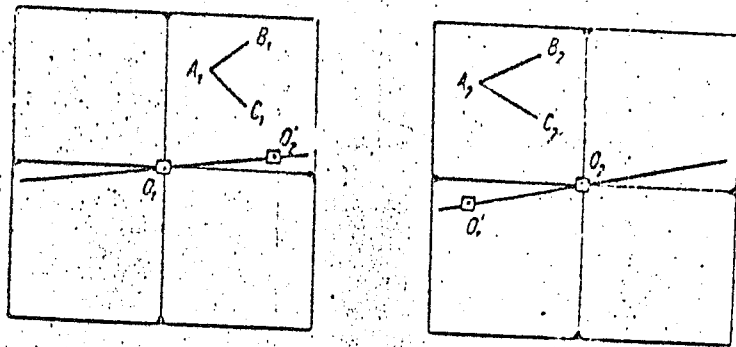


Рис. 1.

Проводя прямые через точки  $A_1, B_1$  и  $A_2, B_2$ ;  $A_1, C_1$  и  $A_2, C_2$  и продолжая их до взаимного пересечения, получают соответственно точки  $M$  и  $N$ . На прямую, соединяющую эти точки, из совмещенного центра  $O$  опускают перпендикуляр  $OE$ . От той же точки  $O$  откладывается

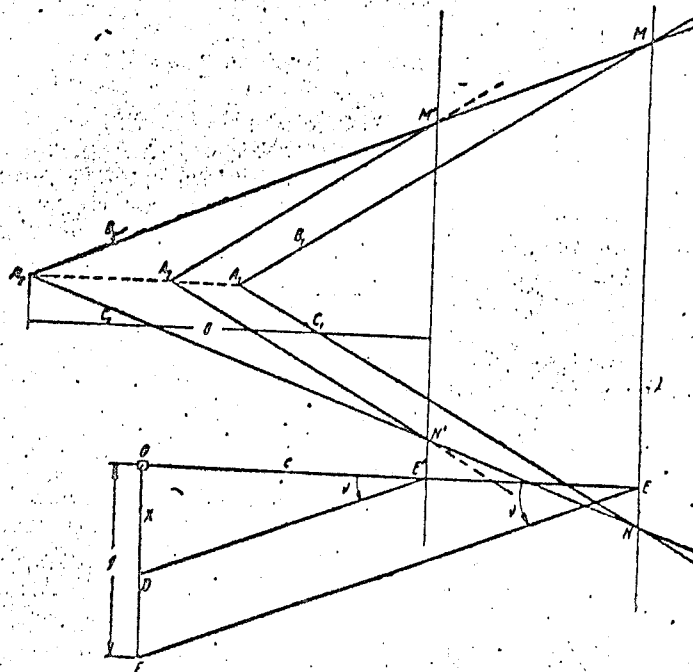


Рис. 2.

отрезок  $OF$ , равный (фокусному расстоянию аэрофотокамеры) и параллельный прямой  $MN$ . Соединяя конец этого отрезка  $F$  с основанием перпендикуляра  $E$ , получают на чертеже угол  $OEF$ , равный искомому углу наклона  $\gamma$ . Он является углом наклона плоскости, проходящей на



местности через точки  $A$ ,  $B$  и  $C$ . Этот угол измеряется на чертеже транспортиром.

Но в случае, когда угол  $\gamma$  невелик, прямая  $MN$  располагается на очень большом расстоянии от точки  $O$ . Например, при  $\gamma = 10^\circ$  и  $f = 200$  мм величина перпендикуляра  $OE$  превосходит 1 м. Поэтому, для уменьшения размеров чертежа, возникает необходимость приближения прямой  $MN$  к точке  $O$ .

Это оказывается возможным осуществить следующим образом. На отрезке  $A_2 A_1$ , соединяющем изображения вершины ската на левом и правом снимках, выбирают точку  $A_2$ . Через эту точку проводят прямые, параллельные отрезкам  $A_1 B_1$  и  $A_1 C_1$ , и продолжают их до пересечения с прямыми, проходящими через отрезки  $A_2 B_2$  и  $A_2 C_2$ . Получают точки  $M'$  и  $N'$ . Другими словами производится смещение точек  $A_1$ ,  $B_1$  и  $C_1$  вдоль линии  $A_2 A_1$  на отрезки, равные отрезку  $A_2 A_3$ . Полученная прямая, проходящая через точки  $M'$  и  $N'$ , будет по условиям построения параллельна прежней прямой  $MN$ . Перпендикуляр, опущенный из точки  $O$  на прямую  $M'N'$  окажется равным  $OE'$ . Для того, чтобы при основании перпендикуляра в точке  $E'$  построить угол  $\gamma$ , необходимо на прямой  $OE'$  отложить новый отрезок  $OD = X$ .

Согласно рис. 2, величину  $X$  можно легко получить, используя подобие треугольников  $MN A_2$ ,  $M'N' A_2$  и  $OE' D$ . Она оказывается равной

$$X = \frac{c \cdot f}{bk + c} \quad (1)$$

где  $f$  — фокусное расстояние АФА,  $c$  — расстояние от точки  $O$  до прямой  $M'N'$ ,  $b$  — расстояние от точки  $A_2$  до той же прямой, (т. е. величине перпендикуляра, опущенного из точки  $A_2$  на прямую  $M'N'$ ),  $k$  — коэффициент, равный отношению отрезков  $A_2 A_1$  и  $A_2 A_3$ , т. е.

$$k = \frac{A_2 A_1}{A_2 A_3} \quad (2)$$

Отложив величину отрезка  $X$  на чертеже, получим при точке  $E'$  угол  $\gamma$ , который затем измеряется транспортиром.

В том случае, если отрезки  $b$  и  $c$  располагаются по разные стороны от прямой  $M'N'$ , то

$$X = \frac{cf}{bk - c} \quad (3)$$

Избегая излишних графических построений, можно непосредственно аналитическим путем получить тангенс угла  $\gamma$ , или уклон.

Из треугольника  $OE' D$  имеем

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{X}{c} = \frac{f}{bk + c} \quad (4)$$

или в другом случае

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{f}{bk - c} \quad (5)$$

Отрезки  $b$ ,  $c$ ,  $A_2 A_1$  и  $A_2 A_3$  измеряются на чертеже с точностью до 0,3 мм. Точку  $A_3$  можно выбирать так, чтобы коэффициент  $k$  равнялся целому числу.

Таким образом, предлагаемое видоизменение способа графического определения углов наклона местности по плановым аэрофотоснимкам даст возможность применить его даже в тех случаях, когда искомые углы невелики.

Способ выгоден тем, что не требует применения специальной аппаратуры, очень прост по исполнению и совершенно не связан с использованием точек наземного обоснования.

В настоящее время в производстве летносъёмочных работ все шире используются гиросtabilизирующие аэрофотоустановки типа Н-55, с помощью которых углы наклона снимков не превышают  $\approx 20'$ . Поэтому с некоторым допущением можно для целей определения уклонов местности рассматривать плановые снимки как горизонтальные.

Как и в любых других случаях графических построений, необходимо уделить самое серьезное внимание тщательному и аккуратному опознаванию и наколу выбранных точек местности, точному проведению параллельных и перпендикулярных отрезков. От этого зависит в конечном итоге точность получаемого результата. Необходимо избегать отрезков  $A_1 B_1$ ,  $A_1 B_2$  и  $A_1 C_1$ ,  $A_2 C_2$  параллельных базисной линии, ибо они получатся на чертеже почти параллельными друг другу, найти точку их пересечения затруднительно.

Точность получаемого результата зависит также и от размеров выбранного треугольника  $ABC$ .

Результаты многочисленных измерений углов наклона участков местности вышеуказанным способом дали вполне удовлетворительные результаты. Расхождения значений полученных углов с углами, вычисленными по данным крупномасштабных топографических планов, не превышали  $\pm 2''$ . Наиболее уверенные результаты соответствовали большим размерам треугольника  $ABC$ .

В большинстве случаев геоморфологических, почвенных, геоботанических и некоторых видов гидрографических исследований географы обычно имеют дело только с контактными отпечатками и не имеют ни аэронегативов, ни стереофотограмметрических приборов. Поэтому можно считать, что как способ Г. С. Поршнякова, так и предлагаемая здесь унификация способа не могут не представить интереса. Совершенно очевидно, что таким путем достигается известное расширение возможностей измерительного дешифрирования аэрофотоснимков.