

10/85

7000 STUTTGART 1,
POSTFACH 506 - HOLZGARTENSTRASSE 16
HAUPTINGANG: MAX-KADE-WEG
RUF 2 07 31 - FERNSCHREIBER 07 - 22450

Poršnjakov, G.S.:

BESTIMMUNG DER GESTEINSLAGERUNGSELEMENTE
NACH SENKRECHTAUFNAHMEN

Vestnik Leningradskogo Universiteta,
1959, Nr 12, S. 50 - 58.

Bei der geologischen Dechiffrierung von Luftaufnahmen taucht oft die Notwendigkeit auf, die räumliche Lage von Flächenelementen mit tektonischer Struktur: von Schichtungsflächen, Gesteinsgängen, Dykes, Brüchen, Spalten und dgl. zu bestimmen. Da Geologen es meist mit Kontaktabzügen zu tun haben, stellt sich die Aufgabe gewöhnlich als das Auffinden der Lagerungselemente einer Fläche dar, die durch ihre Ausstrichlinien der Erdoberfläche auf den benachbarten Senkrechtaufnahmen angegeben wird.

[50]

Die Methodik, wie die Lagerungselemente unter diesen Bedingungen zu bewerten sind, wird in allen Lehrbüchern der geologischen Dechiffrierung erörtert. Ihr Kern kann in folgenden Lehrsätzen zusammengefaßt werden:

1. Gesteinsstreichrichtungen in aufgeschlossenen Gebieten können bei steilen Einfallwinkeln leicht festgestellt werden. Sie können sowohl nach einem Einzelbild festgestellt werden: durch die allgemeine Richtung der Flözausstrichlinie, wie auch noch genauer unter dem Stereoskop. Im zweiten Fall müssen, damit die Flözausstrichlinie verfolgt werden kann,

auf ihr die Punkte mit identischer Höhenlage markiert werden. Für Abschnitte mit ebenem Horizontalrelief gilt, daß auf der Aufnahme die Gesteinsausstrichlinien mit ihren Streichlinien zusammenfallen.

2. Gesteinseinfallrichtungen für zentrale Bildteile können nach den Krümmungen der Konturen der Flözausstrichlinien mit genau denselben Methoden, mit welchen geologische Karten gelesen werden, bewertet werden. Dafür kann die Regel Anwendung finden: in Quertälern wird die Flözausstrichkontur zur Fallseite hin abgelenkt, ausgenommen dann, wenn das Flöz talabwärts und flacher als das Tal abfällt. Bei transversalen Wasserscheiden finden wir eine umgekehrte Ausstrichkontur vor: zur Flözanstiegseite hin, wobei die gleiche Ausnahme auch für den Fall gilt, daß das Flöz zur Wasserscheidenfallseite hin abfällt und flacher ist als der Reliefabfall. Auf den Karten ist der "Ausnahmefall" der besagten Regel an den Konturenkrümmungen ersichtlich, welche stärker sind als die Horizontalkrümmungen in denselben transversalen Reliefformen. In Zweifelsfällen muß man bei Luftaufnahmen zum Stereoskop greifen. Unter dem Stereoskop sind die Gesteinseinfallrichtungen gewöhnlich unmittelbar sichtbar, und Regeln sind deshalb praktisch nicht notwendig. Oft kann man die Fallrichtungen auch leicht auf einem Einzelbild erkennen; man darf nur nicht die Täler mit Wasserscheiden verwechseln.

3. Schlechter bestellt ist es mit der Bestimmung von Gesteinseinfallwinkeln. Die vorhandenen Lehrbücher schlagen zur annähernden Bewertung des Einfallwinkels vor, Formen von "Schichtdreiecken" zu benutzen, d.h. Flözausstrichlinien bei Querorientierung der Erosionsformen eines Reliefs. Die ausgezogenen Dreiecke kennzeichnen im Verhältnis flache Gefälle: steilere Flözgefälle durch kurze Gefälle. Aber da die Form dieser Dreiecke nicht nur vom Gesteinseinfallwinkel abhängt, sondern auch von der Reliefform (vor allem vom Verhältnis Höhe zu Breite der Wasserscheide), kann man eine derartige Bewertung nur als eine annähernde gelten lassen.

Zur genaueren Messung des Flözeinfallwinkels empfiehlt

es sich, spezielle Stereoinstrumente zu verwenden, von denen das einfachste und handlichste der Drobyšev-Stereosatz ist. Die Aufgabe läuft auf die Bestimmung der räumlichen Lage dreier Punkte hinaus, die auf der Flözausstrichlinie liegen. Ihre Lage auf der Karte muß bestimmt und ihre gegenseitige Überhöhung ausgemessen werden; danach kann der Einfallswinkel auf graphische Weise festgestellt werden. Die besagten Punkte sollten im Mittelteil der Aufnahme ausgewählt werden, wobei zwei Punkte auf einer Streichlinie, an der Basis des Gesteinsdreiecks, und der dritte an dessen Spitze liegen. Dies vereinfacht die Aufgabenlösung etwas, aber trotzdem nehmen die Geologen den Stereosatz recht selten zur Hand; der Hauptgrund ist, daß sie das Gerät nicht haben, und daß es, da für topographische Arbeiten eingerichtet, durch seine Spezialisierung für ihre Zwecke unzureichend ist. Es ist deshalb notwendig geworden, ein spezielles Instrument zur Messung der Einfallswinkel nach Luftaufnahmen herzustellen.

Daneben ist es zweckmäßig, auch ohne Spezialgeräte die Geologiestudenten in größerem Umfang mit den Möglichkeiten der Bestimmung der räumlichen Lage von Elementen geologischer Struktur bekanntzumachen. In dieser Absicht wird auch unten die Möglichkeit der graphischen Bestimmung von Lagerungselementen nach Bildpaaren von Senkrechtaufnahmen in linearen und stereographischen Projektionen erörtert. Derartige Bestimmungen sind ebenfalls Annäherungsbestimmungen, denn, um die Aufgabe zu vereinfachen, werden mögliche Bildabweichung von der Horizontallage nicht berücksichtigt, und Fehler im graphischen Aufbau können gravierend sein. Doch wie wir glauben, macht es die Lösung derartiger Aufgaben möglich, daß sich Studenten die geometrischen Grundeigenschaften horizontaler Luftaufnahmen besser aneignen können, und in einigen Fällen kann dies auch von praktischem Nutzen sein. Es sollen zwei Lösungsvarianten für diese Aufgaben untersucht werden: 1) die Bestimmung der Lagerungselemente nach zwei Flözausstrichlinien; 2) die Bestimmung der Lagerungselemente nach der Streichlinie und einer Flözausstrichlinie.

Bestimmung der Lagerungselemente nach zwei Flözausstrichlinien

Das Wesentliche der gestellten Aufgabe ist in Abbildung 1 dargestellt. Die zwei Flözausstrichlinien (AB und BC) bilden das geneigte "Schichtdreieck" ABC. Von den Punkten D und E wurden aus einem darüber hinwegfliegenden Flugzeug zwei Horizontalaufnahmen gemacht (DO_1 und EO_2 - Lagen der optischen Achse des Fotoapparates zum Zeitpunkt der Aufnahme). Die Abbildung des Gesteinsdreiecks auf diesen Bildern fällt unterschiedlich aus. Auf dem linken Bild, das vom Punkt D aufgenommen wurde, erhalten wir das Dreieck AB_1C , und auf dem rechten, das vom Punkt E gemacht wurde, hat das Dreieck die Gestalt AB_2C . Der Punkt B erfährt eine sichtbare Verschiebung (Parallaxe) bezüglich Punkt A und C, die von den Lagerungselementen des Gesteinsdreiecks abhängt. Die räumliche Lage des uns interessierenden Dreiecks ABC wird bestimmt, wenn wir die Raumlage der zwei "Ausstrichlinien" - die Linien AB und BC - bestimmen. Wie man aus der Zeichnung ersehen kann, ist die Lage dieser Linien dann bestimmt, wenn wir Flächen konstruieren, die durch die Sichtpunkte (die zentralen Punkte des Objektivs) gehen und den Abbildungen dieser Linien auf den Aufnahmen entsprechen. So wird die räumliche Lage der Linie BC durch Überschneidung der Flächen B_1CD und B_2CE bestimmt, und die Lage der Linie AB durch Überschneidung der Flächen AB_1D AB_2E . Da uns nur die Lagerungselemente der Fläche ABC, die Winkelwerte und nicht die linearen Größen interessieren, ist es für das Ergebnis dabei bedeutungslos, wo wir diese Flächen plazieren, d.h. wir können sie ohne weiteres um sich parallel verschieben, wie es uns beliebt. Dies gestattet uns, die gestellte Aufgabe recht einfach in linearen und auch in stereographischen Projektionen zu lösen.

[52]

Das Ausgangsmaterial für die Lösung ist ein Bildpaar von Senkrechtaufnahmen, auf dem man den Ausstrich des uns interessierenden Flözes über einen beliebigen Gebirgskamm oder ein Tal hinweg verfolgen kann. An scharfen Umbiegungen der Aus-

[Abbildung 1.]

strichkontur wählen wir drei auffällige Punkte (z.B. einen auf einer Wasserscheide und zwei in Nachbartälern), identifizieren und stecken sie genau ab oder machen sie mit Tusche auf beiden Aufnahmen kenntlich (Punkte A_1, B_1, C_1 und A_2, B_2, C_2 in Abbildung 2,a). Alle drei Punkte können auf beliebigen Höhenmarken gelegen sein. Wir stellen fest, daß durch sie hindurch die geraden, verallgemeinerten Ausstrichlinien verlaufen (A_1B_1 z.B.). Tatsächlich sind die auf den Aufnahmen erkennbaren Ausstrichlinien meist gekrümmt und fallen nicht völlig mit unseren, sie verallgemeinernden Geraden zusammen.

Zur Lösung der Aufgabe in linearen Projektionen stellen wir uns vor, daß Punkt D in Abbildung 1 zusammen mit den durch ihn verlaufenden Sichtstrahlen nach Punkt E verschoben wird. In diesem Fall verlaufen alle uns interessierenden Flächen durch diesen Punkt wie auch durch den Projektionsmittelpunkt, und die Projektionen der Ausstrichlinien auf die horizontale Oberfläche stellen lineare Projektionen der Flächen dar, die durch die Flözausstrichlinien und den Projektionsmittelpunkt verlaufen. Wir stellen eine Konstruktion im Bildmaßstab her, wobei zu beachten ist, daß dabei die Flughöhe des Flugzeugs (EO_2) auf den Brennweitenwert der Kamera verkleinert wird. Nacheinander wird dabei folgendermaßen vorgegangen:

1) Nach den Markierungen auf den Bildrahmen sind auf den Aufnahmen die "Hauptpunkte" O_1 und O_2 aufzusuchen (Abbildung 2,a).

2) Diese Punkte sind auf den Nachbaraufnahmen ausfindig zu machen und abzustecken (die Punkte O_1' und O_2'). Eine Linie, die diese Punkte verbindet (Basislinie), dient zur gegenseitigen Orientierung der Bilder. [53]

3) Eine Deckpause (Abbildung 2,b) ist auf das linke Bild zu legen, und auf dieses Pauspapier werden die Punkte O_1, O_2, A_1, B_1, C_1 kopiert. Durch die Punkte O_1 und O_2 ist über

das ganze Pauspapier die Basislinie (in der Zeichnung nicht wiedergegeben) zu ziehen.

[Abbildung 2.]

4) Die Deckpause ist auf das rechte Bild zu übertragen, wobei der Punkt O_1 mit dem Punkt O_2 so überlagert wird, daß die Verlängerung der Basislinie der Deckpause durch den Punkt O_1' der rechten Aufnahme verläuft; in dieser Lage sind die Punkte A_2 , B_2 und C_2 zu kopieren.

5) Auf dem Pauspapier sind die Ausstrichlinien B_1C_1 , B_2C_2 und B_1A_1 , B_2A_2 bis zur gegenseitigen Überschneidung in den Punkten C_0 und A_0 zu ziehen. Diese Punkte werden die linearen Projektionen der Flözausstrichlinien, die durch den Projektionsmittelpunkt verlaufen, d.h. durch den Punkt, der über dem Punkt O in Höhe der Brennweite liegt.

6) Die Projektion der Flözfläche ist durchzuführen, d.h. durch die Punkte A_0 und C_0 ist eine Gerade zu ziehen. Diese Fläche verläuft auch durch den Projektionsmittelpunkt. Die Gerade A_0C_0 ist gleichzeitig die Flözstreichlinie.

7) Von dem Punkt O ist auf A_0C_0 das Lot zu fällen, [54] d.h. es wird die Projektion der Flözeinfalllinie (Og) durchgeführt.

8) Der Flözeinfallwinkel ist durch die Methode der Drehung der Vertikalschnittzeichnung auf die Fläche zu bestimmen. (Der Vertikalschnitt wurde durch die Projektion der Einfalllinie hindurch ausgeführt.) Für diese Bestimmung ist vom Punkt O aus im rechten Winkel zu Og die Brennweite des Objektivs abzutragen und der gewonnene Punkt F mit dem Punkt g zu verbinden. Der Winkel FgO ist der gesuchte Einfallwinkel. Damit ist die Aufgabe gelöst.

Das Ergebnis kann man von der Deckpause ablesen, indem man mit dem Transporteur den Einfallwinkel und den Einfallsimut (Einfallrichtungswinkel) abmißt. Zur Messung des letzteren muß auf dem Pauspapier die Nord-Süd-Richtung oder eine andere an den Ländern der Erde orientierte Linie gezogen werden. Mit Hilfe eines topologischen Kartenblatts kann man nach

den Aufnahmen die Orientierung der Basislinie feststellen und auch den Einfallasimut von der Basislinie aus abmessen.

Die ganze Lösung, wie sie in Abbildung 2,b dargestellt ist, resultiert kurz gesagt darin, daß die verallgemeinerten Ausstrichlinien auf das Pauspapier übertragen, ihre Schnittpunkte ausfindig gemacht, die Streichlinien gezogen und das Einfalldreieck (OFg) konstruiert werden. Die Lösung ist einfach und es sind keine Geräte dazu nötig. Ihre Genauigkeit hängt von der Größe des Schichtdreiecks und von der Übertragungsgenauigkeit der Ausstrichlinien ab. Hier wird verlangt, daß die Punkte auf den Ausstrichlinien sehr genau abgesteckt und in ausreichender Entfernung voneinander gewählt werden. Es sind auch Ausstrichlinien zu vermeiden, die mit der Basislinie oder mit solchen Linien zusammenfallen, die ihr gemäß ihrer Lage und Orientierung auf der Aufnahme nahe sind. (Tritt ein solcher Fall ein, gibt es eine andere Methode, mit der die Aufgabe gelöst werden kann.)

Im Bereich der Basislinie müssen Ausstrichlinien gewählt werden, die annähernd quer zu ihr orientiert sind. Schwierig ist auch die Bestimmung der Lage flach einfallender Flöze. Damit die Punkte A_0C_0 nicht zu weit außerhalb der Zeichnung liegen, muß der Konstruktionsmaßstab verkleinert werden oder, was noch besser ist, zu einer Lösung in stereographischen Projektionen übergegangen werden.

Diese Lösung soll unter Heranziehung des Wulffschen Netzes erörtert werden. Wie im vorhergehenden Fall resultiert sie vor allem darin, daß die räumliche Orientierung eben dieser Ausstrichlinien durch die Konstruktion von Flächen ausfindig gemacht wird, die durch die Abbildung dieser Linien auf den Aufnahmen verlaufen und durch die Sichtstrahlen, die zum Schnittpunkt der Ausstrichlinien hinlaufen. Um die Aufgabe zu lösen, muß man folglich den Aufnahmen folgende Rechenangaben entnehmen (Abbildung 3,a).

a) Die Asimuten der Ausstrichlinien auf den Aufnahmen B_1C_1 , B_1A_1 , B_2C_2 , B_2A_2 . Da diese Linien horizontal sind, ist es unwichtig, nach welcher Seite entlang der Linie der Asimut gewählt wird.

b) Die Strahlenasimuten O_1B_1 und O_2B_2 .

c) Die Neigungswinkel dieser Strahlen $O_1B_1F_1$ und $O_2B_2F_2$.

Die Größen dieser Winkel werden durch die Konstruktion eines rechtwinkligen Dreiecks gefunden, bei dem die eine Kathete die Projektionen der Sichtstrahlen (O_1B_1 und O_2B_2) ist, und die andere Kathete gleich der Brennweite der Kamera-linse ist.

Um die bezeichneten Asimuten auf den Aufnahmen abmessen zu können, müssen die Nord-Süd-Richtung festgestellt oder (was möglicherweise geeigneter ist) der Asimut der Basislinie bestimmt und die Winkel von dieser Richtung aus gemessen werden.

Wenn auf den Aufnahmen die oben angeführten Winkel ausgemessen worden sind, kann man in folgender Reihenfolge an die Lösung der Aufgabe im Wulffschen Netz herangehen (Abbildung 3, b).

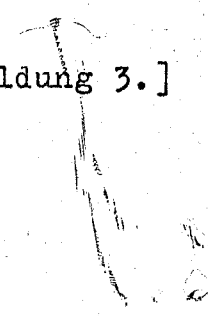
1) Die Horizontallinien - die Projektionen der Ausstrichlinien sind aufzutragen (die Punkte A_1, C_1, A_2, C_2 auf der Kreislinie des Netzes).

2) Die geneigten Sichtstrahlen entlang den Asimuten und ihren Neigungswinkeln sind aufzutragen (die Punkte O_1B_1 und O_2B_2 auf dem Netz). [55]

3) Durch den Strahl O_1B_1 und die Linie B_1C_1 , wie gleichermaßen durch den Strahl O_2B_2 und die Linie B_2C_2 sind Flächen einzuzeichnen und die Linie ihrer Schnittpunkte (der Punkt BC auf dem Netz - stereographische Projektion der Ausstrichlinie BC) ausfindig zu machen.

4) Nachdem die Flächen $O_1B_1A_1$ und $O_2B_2A_2$ konstruiert sind, ist auf die gleiche Weise die räumliche Lage der zweiten Ausstrichlinie ausfindig zu machen (der Punkt AB auf dem Netz).

[Abbildung 3.]



5) Durch die zwei Ausstrichlinien (die Punkte AB und BC auf dem Netz) ist die gesuchte Schichtungsfläche einzuzeichnen und entlang des Netzes der Asimut und ihr Einfallswinkel abzulesen. Eine ungenaue und kompliziertere Lösung für eine derartige Aufgabe liefert unserer Meinung nach R.E. Wallace [1].

Bestimmung der Flözlagerungselemente nach der Streichlinie und der Ausstrichlinie

Wenn ein einfaches Stereoskop vorhanden ist, kann man die Lösung der zu erörternden Aufgabe etwas vereinfachen und manchmal auch präzisieren. Wie schon darauf hingewiesen wurde,

[Abbildung 4.] [56]

kann man unter dem Stereoskop die Gesteinsstreichen recht genau markieren. Deshalb kann man, um ihre Lagerungselemente völlig zu bestimmen, die Streichlinie oder eine beliebige Flözausstrichlinie verwenden. [57]

Zur Lösung der Aufgabe in linearer Projektion sind folgende Schritte notwendig:

1) Die Hauptpunkte O_1 und O_2 sind auf den Aufnahmen (Abbildung 4,a) zu kennzeichnen und auf die Nachbaraufnahmen zu übertragen (die Punkte O_1' , O_2'), die die Lage der Basislinie bestimmen (auf der Zeichnung nicht eingetragen).

2) Auf der Aufnahme ist unter dem Stereoskop die Streichlinie A_1C_1 in dem uns interessierenden Abschnitt zu ziehen.

3) Die Umrißlinie des Flözausstrichs ist ebenfalls an dieser Stelle zu wählen, und auf ihr ist auf beiden Aufnahmen das charakteristische Punktpaar abzustecken (zu kennzeichnen) (A_1B_1 und A_2B_2). Wünschenswert ist, daß die durch diese Punkte verlaufende Ausstrichlinie mit der Streichlinie einen möglichst großen Winkel bildet.

4) Auf die Deckpause (Abbildung 4, b) sind die Streichlinie und die Ausstrichlinienpunkte zu übertragen, die die Hauptpunkte der Aufnahmen überlagern und sie gegenseitig an der Basislinie orientieren.

5) Auf dem Pauspapier sind durch die Punkte die Ausstrichlinien zu ziehen und bis zu ihrer Überschneidung in Punkt A zu verlängern. Dieser Punkt bestimmt die Lage der Ausstrichlinie, die durch A und durch den Projektionsmittelpunkt verläuft, der über dem Punkt O in Höhe der Brennweite liegt.

6) Durch den Punkt A ist eine zur Streichlinie parallele Linie zu ziehen. Diese Linie bestimmt die Lage der gesuchten Schichtungsfläche, weil letztere durch sie und den Projektionsmittelpunkt verläuft.

7) Aus Punkt O ist das Lot Og auf die gewonnene Streichlinie zu fällen. Diese Richtung liefert uns den Flözeinfallasimut.

8) Vom Punkt g entlang der Streichung ist die Brennweite der Kamera gF abzutragen, und der Punkt F ist mit dem Punkt O zu verbinden. Der Winkel gOF ist der Flözeinfallwinkel.

Um die zur Diskussion stehende Aufgabe in stereographischen Projektionen auf den Aufnahmen zu lösen (Abbildung 4, a), müssen folgende Abmessungen durchgeführt werden:

a) Die Abbildungsasimuten der Ausstrichlinie auf den Aufnahmen (A_1B_1 und B_2A_2); es ist dabei gleichgültig, nach welcher Seite entlang der Linie.

b) Die Asimuten und Neigungswinkel der Sichtstrahlen, die auf irgendeinen Punkt der Ausstrichlinie gerichtet sind (z.B. die Strahlen O_1A und O_2B_2). Wie die Neigungswinkel der Strahlen O_1A_1 und O_2B_2 konstruiert werden, geht eindeutig aus der Zeichnung hervor (die Strecke $O_1F_1=O_2F_2$ ist gleich der Brennweite).

Wenn wir die genannten Angaben haben, kann die Aufgabe in einem Wulffschen Netz gelöst werden, indem man Schritt für Schritt folgendermaßen vorgeht:

1) In Form von Punkten ist die Horizontallinie A_1B_1 und

und der geneigte Sichtstrahl O_1A_1 einzutragen; durch sie ist eine Fläche einzuzeichnen.

2) Die Linie A_2B_2 und der Strahl O_2B_2 sind einzutragen; durch sie hindurch ist eine Fläche einzuzeichnen.

3) In das Netz ist die Streichlinie einzutragen und eine Fläche einzuziehen, die durch die Streichlinie und den Schnittpunkt der vorher konstruierten Flächen (d.h. durch die Austrichlinie und die Streichlinie) verläuft. Diese Fläche ist auch die gesuchte Schichtungsfläche.

4) Entlang des Netzes sind der Asimut und der Einfallswinkel der Schichtungsfläche abzulesen.

Wir haben Methoden zur Bestimmung der räumlichen Lage von Flächenelementen mit geologischer Struktur nach Bildpaaren von Senkrechtaufnahmen erörtert, wobei wir die lineare und die stereographische Projektion in Anwendung brachten. Die erstere liefert eine der Durchführung nach einfache Lösung, doch sie ist bei flacher Gesteinslagerung ungeeignet. Die zweite ist etwas komplizierter, doch bietet sie mehr Möglichkeiten. Es muß noch auf die Möglichkeit hingewiesen werden, daß dieselben Aufgaben in Projektionen mit Markierungen gelöst werden können. Dabei sind die Sichtpunkte D und E (siehe Abbildung 1) nicht kongruent, und jede der für uns notwendigen Flächen ist in Form von zwei parallelen Linien dargestellt, die in der Höhe um den Brennweitenwert der Kamera entfernt sind. Die Schnittlinien der Flächen treten wie Linien auf, die durch die Schnittpunkte der eindeutigen Streichlinien verlaufen. Wenn man die Arbeitsweise in all den genannten Projektionen kennt, dann sind alle diese Aufgaben grundeinfach. Die an der Theorie verschiedener Projektionsarten Interessierten verweisen wir auf das Lehrbuch für Gebirgsgeometrie von I.N. Ušakov [2] oder andere entsprechende Anleitungen. [58]

Die Untersuchte Methode zur Bestimmung von Lagerungselementen kann, wie wir glauben, die Genauigkeit der geologischen Dechiffrierung von Luftbildaufnahmen erhöhen, wenn spezielle Meßgeräte fehlen, und sie wird dafür sorgen, daß Geologiestudenten ein besseres Verständnis für die geometrischen Eigenschaften von Luftaufnahmen bekommen.

Abbildung 1. Abbildung des "Schichtdreiecks" ABC in zwei Senkrechtaufnahmen.

AB_1C - Dreiecksform auf der linken Aufnahme; AB_2C - Dreiecksform auf der rechten Aufnahme. Die räumliche Lage der geneigten "Ausstrichlinie" BC wird durch die Überschneidung der Flächen B_1CD und B_2CE bestimmt.

Abbildung 2. Bestimmung der Lagerungselemente nach zwei Ausstrichlinien.

- a - Bildpaare von Senkrechtaufnahmen mit Ausstrichlinien;
- b - Aufgabenlösung auf einer Deckpause in linearer Projektion.

Abbildung 3. Bestimmung der Lagerungselemente nach zwei Ausstrichlinien.

- a - Bildpaar mit Rechenangaben; b - Aufgabenlösung in stereographischer Projektion.

Abbildung 4. Bestimmung der Lagerungselemente nach der Streichlinie und der Ausstrichlinie

- a - Bildpaar mit Rechenangaben; b - Lösung in linearer Projektion; c - Lösung in stereographischer Projektion.

Schlüssel für die Angaben in den Abbildungen des Originals:

<u>I</u>	Streichlinie	<u>V</u>	Ausstrichlinien
<u>II</u>	Projektion Einfalllinie	<u>VI</u>	Einfallasimut
<u>III</u>	Einfallwinkel	<u>VII</u>	Sichtstrahlen
<u>IV</u>	Brennweite	<u>VIII</u>	gesuchte Schichtungsfläche

[Summary.]

Literatur

1. Wallace, R.E. Determination of dip and strike by indirect observations in the field and from aerial photographs. - J.geology, vol. 58, No 3, 1950.
2. Ušakov, I.N. Gornaja geometrija (Gebirgsgeometrie). - Ugletechizdat, 1951.
3. Kell', N.G. und Kell', L.N. Ukazanija po ispol'zovaniju geometričeskich i geodézičeskich svojstv aërofotomaterialov dlja geologičeskogo kartirovanija (Hinweise zur Verwendung geologischer und geodäsischer Eigenschaften von Luftbildmaterial für die geologische Kartierung). - Metallurgizdat, 1950.
4. Metodičeskoje rukovodstvo VSEGEI [Vsesojuznogo naučno-issledovatel'skogo geologičeskogo instituta] po geologičeskoj s-žemke i poiskam (Methodische Anleitung des VSEGEI [Geologischen Unions-Forschungsinstituts] zur geologischen Vermessung und Forschung). - Gosgeoltechizdat, 1954.
5. Mirošničenko, V.P. Aërogeos-žemka (Lufterdvermessung). - Gosgeolizdat, 1946.
6. Petrusevič, M.N. Geologos-žemočnyje i poiskovyje raboty na osnove aërometodov (Geologische Aufnahme- und Forschungsarbeiten unter Zugrundelegung von Luftbildmethoden). - Gosgeolizdat, 1954.

Anmerkungen des Übersetzers:

1. Abbildungen im Original wurden nicht in die Übersetzung übernommen. Die Texte der Abbildungen sind nach dem Übersetzungstext und vor der "Literatur" eingeschoben.

2. Die Bezeichnungen von Linien und Punkten in den Abbildungen des Originals sind durch rote römische Zahlen vom Übersetzer ersetzt worden. Ein Schlüssel dafür befindet sich auf S. 12.
3. Bei Ausdrücken in eckiger Klammer <> handelt es sich um eine Übersetzungsvariante.

Stuttgart, den 5. Juni 1974

i.A.

Ottmar Pertschi

(Ottmar Pertschi)

Dipl.-Übersetzer

17-V-74

Г. С. Поршняков ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАЛЕГАНИЯ ПОРОД ПО ПЛАНОВЫМ АЭРОФОТОСНИМКАМ

При геологическом дешифрировании аэрофотограмм очень часто возникает необходимость определения пространственного положения плоскостных элементов тектонической структуры — плоскостей напластования, жил, даек, разрывов, трещин и т. п. Поскольку геологические снимки, за исключением случаев, когда они являются аэрофотограммами, за редким исключением представляют собой изображения элементов залегания пород, заданной линией ее выхода на поверхность земли на смежных плановых снимках.

Методика оценки элементов залегания в этих условиях рассматривается во всех руководствах по геологическому дешифрированию. Сущность ее может быть сведена к следующим положениям.

1. Направление простирания пород в обнаженных районах легко устанавливается при крутых углах падения. Они могут быть намечены как по одиночному снимку — по общему направлению линии выхода пласта, так и более точно — под стереоскопом. В последнем случае следует прослеживать линию выхода пласта, намечать на ней точки одинакового высотного положения. Через эти точки можно провести линию простирания. Для участков с плоским горизонтальным рельефом линия выходов пород на снимке будут совпадать с линиями их простирания.

2. Направление падений пород для центральных частей снимков могут быть оценены по изгибам контуров линий выходов пластов точно теми же способами, какими читаются геологические карты. Для этого можно воспользоваться правилом: *в поперечных долинах контур выхода пласта падает вниз по долине, положе долины*. Для поперечных долин разделов будем иметь обратное отклонение контура выхода — в сторону понижения водораздела — положение, чем понижается рельеф. На картах случай «исключения» из указанного правила встречается по поперечным формам рельефа. На аэроснимках в сочлененных случаях надо прибегать к стереоскопу. Под стереоскопом направления падения пород обычно видны непосредственно, и необходимость в каких-либо правилах практически отпадает. Часто направление падения легко можно видеть и на одиночном снимке, только не следует смешивать долины с водоразделами.

3. Хуже обстоит дело с определением углов падения пород. Исходя из опыта руководства для приближенной оценки угла падения применяются следующие формы «пластовых треугольников», т. е. линиями выходов пластов при поперечной ориентировке эрозионных форм рельефа.

ефа. Вытянутые треугольники будут характеризовать относительно пологие падения, короткие — более крутые падения пластов. Поскольку форма этих треугольников зависит не только от углов падения пород, но и от форм рельефа (прежде всего от соотношения ширины и высоты водоразделов), подобную оценку можно принимать лишь как весьма приближенную.

Для более точного измерения угла падения пласта рекомендуется пользоваться специальными стереопроборами, из которых наиболее простым и портативным является стереоскоп Дробышова. Задача сводится к определению простраивающего положения трех точек, лежащих на линии выхода пласта. Необходимо определить их положение в плане и измерить превышения друг над другом, после чего угол падения можно найти графически. Следует брать указанные точки в центральной части снимка, причем две из них выбирать на одной линии простирания, в основании пластового треугольника, третью — в его вершине. Это несложко упрощает решение задачи, но все же геологи до сих пор прибегают к стереоскопическому, довольно редко и главным образом по причине нехватки аппаратуры и достаточной ее специализации для этих целей, так как она приспособлена для топографических работ. Назрела необходимость создания специального прибора для измерения углов падения по аэроснимкам.

Вместе с тем представляется целесообразным более широко ознакомить студентов-геологов с возможными методами определения простраивающего положения элементов геологической структуры и без специальной аппаратуры. С этой целью ниже рассматривается возможность графического определения элементов залегания по стереоскопическим аэроснимкам в линейной и стереографической проекциях. Подобные определения также будут приближенными, ибо для упрощения задачи не учитываются возможные отклонения снимка от горизонтального положения, значительными могут оказаться и ошибки графического построения. Но решение подобных задач, как нам кажется, способствует лучшему усвоению студентами основных геометрических свойств горизонтальных аэроснимков, а в некоторых случаях может быть и практически полезным. Разберем два варианта решения этих задач:

- 1) определение элементов залегания по двум линиям выхода пласта;
- 2) определение элементов залегания по линии простирания и одной линии выхода пласта.

Определение элементов залегания по двум линиям выхода пласта

Сущность поставленной задачи изображена на рис. 1. Две линии выхода пласта (AB и BC) образуют наклонный «пластовый треугольник» ABC. С пролетающего над ним самолета из точек D и E сделаны два горизонтальных снимка (D₀ и E₀) — положения оптической оси аппарата в моменты съемки. Изображение пластового треугольника на этих снимках будет различным. На левом снимке, сделанном из точки D, мы получим треугольник AB₀C₀, а на правом, сделанном из точки E, он будет иметь вид треугольника AB₁C₁. Точка B получит видимое смещение (параллельно отклонению точки A и C, зависящее от элементов залегания пластового треугольника). Пространственное положение интересующего нас треугольника ABC определено, если мы определим положение в пространстве двух линий выходов — линии AB и BC. Положение же этих линий, как видно из чертежа, будет определено, если мы построим плоскости, проходящие через точки зрения (центральные точки объектива) и соответствующие изображения этих

линий на снимках. Так пространственное положение линии BC определится пересечением плоскостей B_1CD и B_2CE , а положение линии AB — пересечением плоскостей AB_1D и AB_2E . При этом, поскольку нас интересуют лишь элементы залегания плоскости ABC , величину угловые, а не линейные, для результата безразлично, где мы расположим эти плоскости, т. е. мы вправе будем перемещать их параллельно самим себе куда угодно. Это позволит нам сравнительно просто решать поставленную задачу как в линейных, так и в стереографических проекциях.

Исходным материалом решения является стереопара плановых снимков, на которой можно проследить выход интересующего нас пласта через какой-либо хребет или долину. Выберем на разрезах пере-

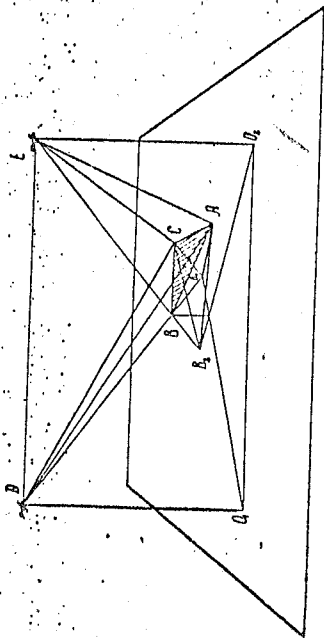


Рис. 1. Изображение «пластового треугольника» ABC на двух плановых аэро-фотоснимках.
 ABC — вид треугольника на первом снимке; AB_1C_1 — вид треугольника на втором снимке. Пространственное положение наклонной «линии выхода» BC определяется пересечением плоскостей B_1CD и B_2CE .

гибах контура выхода три заметные точки (например, одну на подоразделе и две в соседних долинах), опознаем и аккуратно наклеим их или отметим тушью на обоих снимках (точки A_1, B_1, C_1 и A_2, B_2, C_2 на рис. 2а). Все три точки могут располагаться на любых различных высотных отметках. Будем считать, что через них проходят прямые, мыс на снимках линии выхода чаще всего криволинейны и не вполне совпадают с нашими обобщающими их прямыми.

Для решения задачи в линейных проекциях представим себе, что точка D на рис. 1 вместе с проходящими через нее лучами зрения перемещена в точку E . В этом случае все интересующие нас плоскости будут проходить через эту точку как через центр проекции, а проекции линий выходов на горизонтальную поверхность будут представлять линейные проекции плоскостей. Будем вести построение через линии выходов пласта и центр проекции. Будем вести построение в масштабе снимка, а не в масштабе высоты полета самолета (EO) уменьшилась до величины фокусного расстояния фотокамеры. Последовательность операций будет следующей:

- 1) По меткам у рамок снимков найдем на них «главные» точки O_1 и O_2 (рис. 2, а).

2) Отыскать и наклеить эти точки на смежных снимках (тычки O_1 и O_2). Линия, соединяющая эти точки (базисная линия), будет служить для взаимной ориентировки снимков.

3) Наложить восковку (рис. 2, б) на левый снимок и скопировать на нее точки O_1, O_2, A_1, B_1, C_1 . Через точки O_1 и O_2 через всю восковку провести базисную линию (на чертеже она не показана).

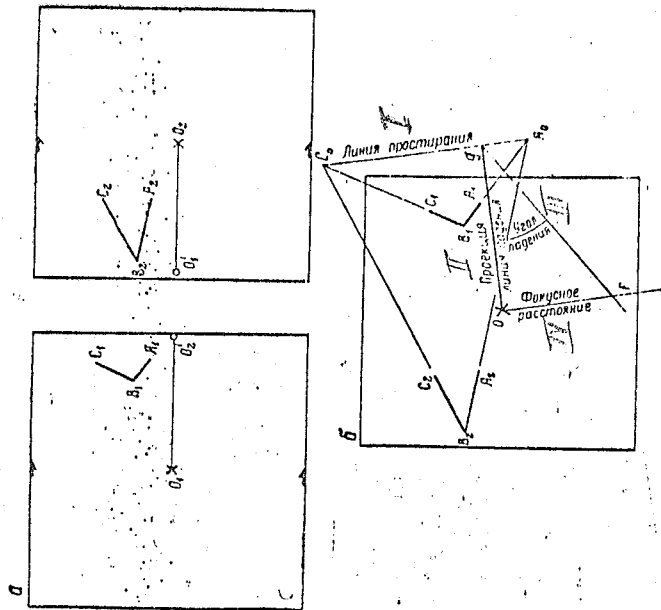


Рис. 2. Определение элементов залегания по двум линиям выходов.
 а — стереопара плановых снимков с линиями выходов; б — рисунок, нанесенный на восковую пленку; в — рисунок, нанесенный на восковую пленку; г — рисунок, нанесенный на восковую пленку.

4) Перенести восковку на правый снимок, совместив точку O_1 с точкой O_2 так, чтобы продолжение базисной линии восковки прошло прямо через точку O_2 правого снимка и в этом положении скопировать точки A_2, B_2, C_2 .

5) Провести на восковке линии выходов B_1C_1, B_2C_2 и A_1B_1, A_2B_2 до их взаимного пересечения в точках C_0 и A_0 . Эти точки будут взаимными проекциями линий выходов пласта, проходящих через центр проекции, т. е. через точку, расположенную над точкой O на высоте фокусного расстояния.

6) Провести проекцию — абрисы пласта — проекции прямую через точки A_0 и C_0 . Эта плоскость пройдет также через центр проекции. Прямая A_0B_0 будет одновременно линией проекционной параллели.

- 7) Из точки O опустить перпендикуляр на A_0C_0 , т. е. провести перпендикуляр к линии падения пласта (OQ).
- 8) Определить угол падения пласта методом поворота в плоскости чертежа вертикального сечения, проведенного через проекцию линии падения. Для этого из точки O под прямым углом к OQ отложить фокусное расстояние объектива и полученную точку F соединить с точкой B . Угол FOQ будет искомым углом падения пласта. Задача решена.

Результат можно снять с восковки, измерив транспортиром угол падения и азимут падения. Для измерения последнего на восковке должно быть проведено направление север—юг или другая ориентированная по странам света линия. Можно по снимкам установить с помощью тополапшета ориентировку базисной линии и мерить азимут падения от базисной линии.

Все решение показано на рис. 2, б и сводится, коротко говоря, к пересечению на восковку обобщенных линий выхода, находясь в точках их пересечения, проведению линии проектирования и построению треугольника падения ($AOFG$). Решение простое и не требует никакой аппаратуры. Точность его зависит от величины пластового треугольника и от точности нанесенных линий выхода. Здесь требуется очень большая аккуратность накола точек на линии выхода и выбор их на достаточном расстоянии друг от друга. Следует избегать также линий выхода, совпадающих с базисной линией или близких к ней по положению на снимке и по ориентировке (задача в этом случае может быть решена, но иным способом).

В районе базисной линии следует брать линии выхода, ориентированные примерно поперек нее. Загрудики также определяют положение подпадающих пластов. При этом, чтобы точки A_0C_0 не уходили далеко за пределы чертежа, можно уменьшить масштаб построения или, еще лучше, перейти к решению задачи в стереографических проекциях.

Рассмотрим это решение с использованием сетки Вульфа. Как и в предыдущем случае, оно сводится прежде всего к отысканию проективной ориентировки тех же линий выходов путем построения лучей зрения, идущие к точке пересечения этих линий на снимках и задачи, следовательно, необходимо снять со снимков следующие расчетные данные (рис. 3, а).

а) Азимуты линий выходов на снимках B_1C_1 , B_1A_1 , B_2C_2 , B_2A_2 . Поскольку эти линии горизонтальны, безразлично — в какую сторону берется азимут по линии.

б) Азимуты лучей зрения O_1B_1 и O_2B_2 .

Значения этих углов находятя построением прямоугольных треугольников, у которых одним катетом являются проекции лучей зрения (O_1B_1 и O_2B_2), а другой катет равен фокусному расстоянию линзы фотоаппарата.

Для измерения указанных азимутов на снимках надо установить направление север—юг или (это, пожалуй, удобнее) определить азимут базисной линии и мерить углы от этого направления.

После измерения на снимках указанных выше углов можно приступить к решению задачи на сетке Вульфа в следующей последовательности (рис. 3, б).

- 1) Нанести горизонтальные линии проекции линий выходов (точки A_1 , C_1 , A_2 , C_2 на окружности сетки).

- 2) Нанести наклонные лучи зрения по азимутам и углам их наклона (точки O_1B_1 и O_2B_2 на сетке).

3) Через луч O_1B_1 и линию B_1C_1 , а равно через луч O_2B_2 и линию B_2C_2 провести плоскости и найти линию их пересечения (точка BC на сетке — стереографическая проекция линии выхода BC).

4) Тем же путем, построив плоскости $O_1B_1A_1$ и $O_2B_2A_2$, найти пространственное положение второй линии: выхода (точка AB на сетке).

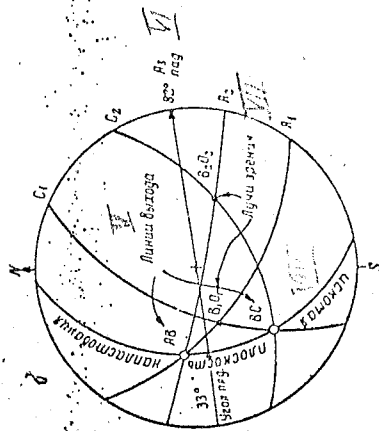
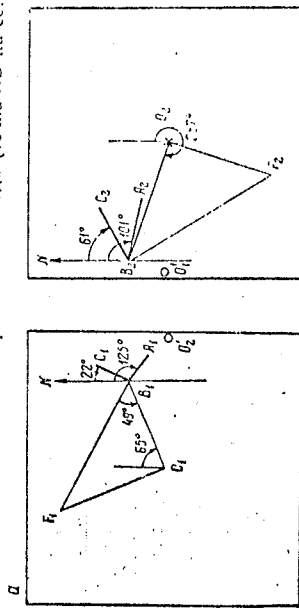


Рис. 3. Определение элементов залегания по двум линиям выхода.
 а — стереоград с расчетными линиями; б — решение задачи в стереографической проекции

- 5) Через две линии выхода (точки AB и BC на сетке) провести плоскости и наклонив их, отчитать по сетке азимут и угол ее падения. Решение подобной задачи, по наш взгляд, неточнее и более сложное дает Р. Е. Wallace [1].

Определение элементов залегания пласта по линии проектирования и линии выхода

При наличии простого стереоскопа можно несколько упростить, а порой и угодить решение рассматриваемой задачи. Как уже указывалось

валось, под стереоскопом можно довольно точно заметить простирания горных пород. Поэтому для полного определения элементов их залегания можно воспользоваться линией простирания и какой-либо одной линией выхода пласта.

Решая задачу в линейных проекциях, необходимо:

- 1) Отметить на снимках (рис. 4, а) главные точки O_1 и O_2 и провести их на соседние снимки (точки O_1', O_2'), что определит положение базисной линии (на чертеже не дана)
- 2) Провести на снимке под стереоскопом линию простирания A_1C_1 на интересующем нас участке.
- 3) Выбрать здесь же контур выхода пласта и наложить (отметить) на нем пару характерных точек на обоих снимках (A_1, B_1 и A_2, B_2). Желательно, чтобы линия выхода, проведенная через эти точки, образовала с линией простирания возможно больший угол.
- 4) Перенести на восковку (рис. 4, б) линию простирания и точки линии выхода, совмещая главные точки снимков и ориентируя их взаимно по базисной линии.
- 5) Провести по точкам линии выходов на восковке и продолжить их до пересечения в точке A . Эта точка определит положение линии выхода, проходящей через A и через центр проекции, расположенный над точкой O на высоте фокусного расстояния.
- 6) Через точку A провести линию, параллельную простиранию. Эта линия определит положение искомой плоскости наклонения, так как последняя будет проходить через нее и центр проекции.
- 7) Из точки O опустить перпендикуляр Og на наклонную линию простирания. Это наклонение даст нам азимут падения пласта.
- 8) От точки g до простирания отложить фокусное расстояние камер gF , и точку F соединить с точкой O . Угол gOF будет углом падения пласта.

Для решения рассмотренной задачи в стереографической проекции на снимках (рис. 4, а) необходимо измерить:

- а) Азимуты изображения линии выхода на снимках (A_1B_1 и B_2A_2), безразлично — в ту или другую сторону по линии.
- б) Азимуты и углы наклона лучей зрения, направленных к любой точке линии выхода (например, лучей O_1A и O_2B_2). Построение углов наклона лучей O_1A и O_2B_2 ясно из чертежа (отрезок $O_1F_1 = O_2F_2$ равен фокусному расстоянию).

Получив указанные данные, можно решить задачу на сетке Вульфа в следующей последовательности (рис. 4, б):

- 1) Нанести в виде точек горизонтальную линию A_1B_1 и наклонный луч зрения O_1A_1 ; провести через них плоскость.
- 2) Нанести линию A_2B_2 и луч O_2B_2 ; провести через них плоскость, проходящую через нее и точку пересечения ранее построенных плоскостей (т. е. через линию выхода и линию простирания). Это и будет искомая плоскость наклонения.
- 3) Отсчитать по сетке азимут и угол падения плоскости напластования.

Мы рассмотрели методы определения пространственного положения плоскостных элементов геологической структуры по стереоскопу плановых аэрофотоснимков, пользуясь линейной и стереографической проекциями. Первым из них дает более простое по исполнению решение, но неудобно в случае подлого залегания пород. Второе несколько сложнее, но имеет более широкие возможности. Следует указать еще на возможность решения этих же задач в проекциях с отметками. При

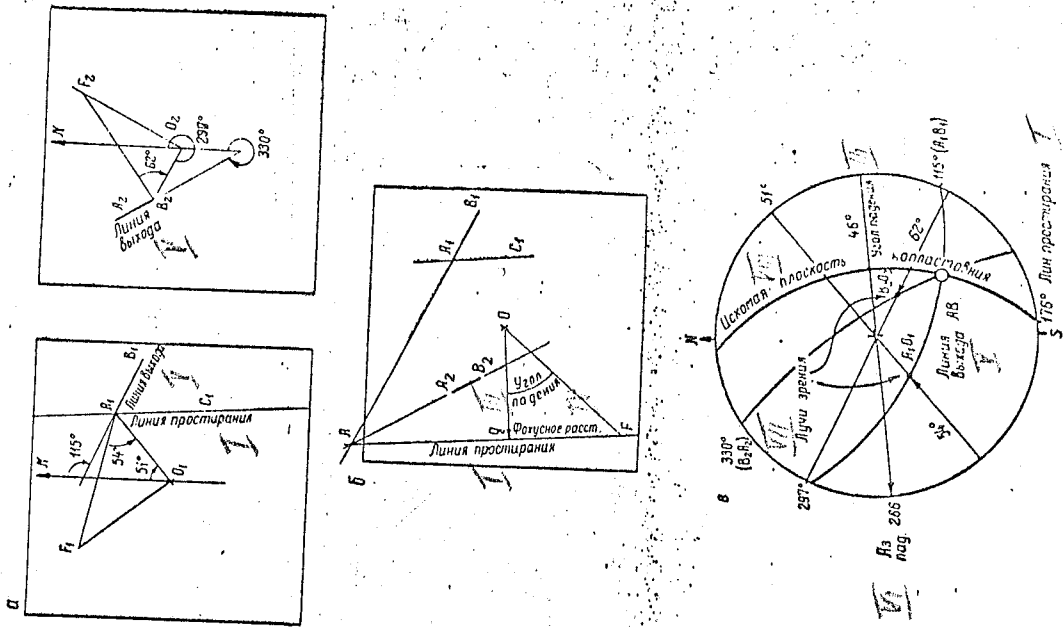


Рис. 4. Определение элементов залегания по линии простирания и линии выхода. а — стереоскоп с расчетными линиями; б — решение в линейной проекции; в — решение в стереографической проекции.

этом точки зрения D и E (см. рис. 1) не совмещаются, а каждая из необходимых нам плоскостей изображается в виде двух параллельных линий, отстоящих по высоте на величину фокусного расстояния камеры. Линии же пересечения плоскостей находятся как линии, проходящие через точки пересечения однозначных линий проектирования. При знании методики работы во всех указанных видах проекций, все эти задачи представляются элементарно простыми. Интересующихся теорией различных видов проектирования отошлем к учебнику Горной геологии И. Н. Ушакова [2] или другим аналогичным руководствам.

Разобранная методика определения элементов залегания может повысить, нам кажется, точность геологического дешифрирования аэроснимков при отсутствии специальной измерительной аппаратуры и будет способствовать лучшему пониманию геометрических свойств аэроснимков студентами-геологами.

Summary

The possibility of defining the dip and strike of rocks according to horizontal aero-photographs by means of graphical method without using any special measuring device is proved.

Two versions of solution of the problem both in linear and in stereographical projection are discussed. They are as follows:

1. Along the line of outcrop and that of strike.
2. The solution according to two lines of outcrop.

The solution of similar problems proves to be of great help to a deeper understanding of the geometrical properties of aero-photography by the students.

ЛИТЕРАТУРА.

1. R. E. Wallace. Determination of dip and strike by indirect observations in the field and from aerial photographs. *J. geology*, vol. 59, No 3, 1950.
2. И. Н. Ушаков. Горная геология. Углеканалат, 1951.
3. Н. Г. Келдыш и Л. Н. Келдыш. Указания по использованию геометрических и геометрических свойств аэрофотограммальных для геологического картирования. *Металлургия*, 1950.
4. Методическое руководство ВСЕГЕИ по геологической съемке и поискам. *Гостгеолитиздат*, 1954.
5. В. П. Мирославский. Аэрогеология. *Гостгеолитиздат*, 1946.
6. М. Н. Петрусевич. Геологические и поисковые работы на основе аэрофотограмм. *Гостгеолитиздат*, 1954.

Г. Б. Свешников ОПЫТ ИЗУЧЕНИЯ ОКСИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ ВОД НЕКОТОРЫХ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РУДНОГО АЛТАЯ

Изучение окислительно-восстановительных потенциалов (ОВП) подземных вод районов рудных месторождений имеет важное значение при решении ряда задач [1, 2, 3, 4]. Между тем воды рудных месторождений в этом отношении изучены весьма слабо. Из общего количества относительно малочисленных определений ОВП подземных вод большинство относится к исследованным источникам минеральных вод [5, 6, 7]. В связи с этим мы сочли полезным сообщить результаты небольших исследований по ОВП вод некоторых полиметаллических месторождений Рудного Алтая, выполненных кафедрой геофизических методов разведки в 1954—1955 гг.

Определение ОВП природных вод сопряжено с значительными трудностями, связанными с наличием в водах неравновесных неустойчивых окислительно-восстановительных систем. Серьезные затруднения, например, вызывает присутствие в растворе кислорода воздуха. Потенциал инертных электродов в этих водах зависит от материала и состояния поверхности электрода и не может рассматриваться как термодинамический равновесный окислительно-восстановительный потенциал [8].

Для оценки влияния различных факторов на измеренную величину ОВП нами наряду с изучением природных вод проведены исследования специально приготовленных растворов. Измерения ОВП производились с помощью переносного ртутного [9]. В качестве инертных электродов использовались четыре различных платиновых электрода. Первый и второй электроды представляли собой гладкую платиновую проволоку диаметром 0,3 мм, а третий и четвертый электроды — гладкие платиновые пластинки с рабочей площадью в 1 см². Потенциал электродов определяется относительно насыщенного каломельного полуэлемента, имеющего потенциал по отношению к нормальному водородному электроду +243 мВ при 18°C. Перед употреблением платиновые электроды обрабатывались хромовой смесью и не менее 5 раз тщательно промывались дистиллированной водой. Перед погружением электродов в исследуемый раствор они предварительно выдерживались в течение достаточного времени в дистиллированной воде абсолютной жесткой воды. Уравнение электродов в дистиллированной воде абсолютной жесткой воды достаточно надежно. Проверка электродов производилась сравнением значений потенциалов в эталонном растворе (0,01 M раствор FeCl₂ + FeSO₄). Для наблюдения исследовались электроды, которые давали расхождение между собой и эталонным электродом, помещенным находящимся в эталонном растворе, не более 3 мВ. В случае более значительного расхождения электроды вновь подвергались обработке хромовой смесью.