

УДК 528.77 : 551.242«312» (571.17)

Л. М. КНУРЕНКО, В. А. ФИЛЬКИН

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЭРОСНИМКОВ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ КАРТЫ СКОРОСТЕЙ СОВРЕМЕННЫХ ТЕКТЕНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ ТЕРРИТОРИИ КУЗБАССА

Разработанная в Институте географии АН СССР методика количественной характеристики современных тектонических движений по сумме геолого-геоморфологических признаков (Мещеряков, Филькин, 1965) апробирована на практике и может быть рекомендована при составлении детальных карт скоростей современных движений. Особое значение она приобретает при составлении карт на территории, слабо обеспеченные данными повторного нивелирования. Применение этой методики требует, однако, значительного объема полевых исследований. В настоящей статье предлагается перенести центр тяжести исследований из полевых условий в камеральные, используя для этой цели аэроснимки, что даст заметный экономический эффект. На материалах территории Кузбасса разработана методика использования аэроснимков для оценки и характеристики геолого-геоморфологических признаков.

Аэрофотоснимки благодаря своим высоким информационным свойствам постоянно находят новые сферы применения в различных научных исследованиях. При изучении рельефа комплексный метод дешифрирования не имеет себе равных по обилию информативности как качественного, так и количественного характера и его возможности все время расширяются. В геоморфологии комплексный метод дешифрирования аэроснимков с получением качественных и количественных характеристик элементов рельефа и построением профилей по снимкам (масштаба 1 : 17 000) впервые был применен в Институте географии АН СССР в 1960 г. (Филькин, 1960). В этой работе снимки ориентировались по точкам плано-высотного обоснования и среднеквадратические ошибки определения высот геоморфологических точек оценивались величинами  $\pm 0,6—0,8$  м. Отмечалось, что для определения относительных высот с достаточной для геоморфологов точностью можно обходиться и без геодезического обоснования, необходимо только производить ориентирование стереопар по начальным направлениям при условии расположения определяемых точек на снимках на расстоянии не более 1,5—2,0 см друг от друга.

Обычно материалы аэрофотосъемки, которыми пользуются геоморфологи, не имеют данных геодезического, плано-высотного обоснования. Если при геоморфологических исследованиях в большинстве случаев требуется знать не абсолютные, а относительные высоты элементов рельефа: пойм, террас, уступов и т. д., то можно пользоваться снимками без геодезического обоснования. В связи с этим в Институте географии АН СССР были проведены специальные исследования по определению относительных высот рельефа по материалам, не имеющим геодезического обоснования, т. е. по неориентированным аэрофотоснимкам (Асоян, Мещеряков, 1970). Эти исследования показали, что по снимкам масштаба 1 : 25 000 можно производить на стереокомпараторе

(стереометре) измерения относительных высот элементов рельефа с точностью  $\pm 0,8$  м при расстоянии на снимках между точками измерения не более 5 мм. Такую точность можно считать вполне удовлетворительной.

В настоящей статье излагаются результаты комплексного использования аэроснимков для целей экстраполяции и интерполяции величин скоростей современных тектонических движений отдельных пунктов на районы, неохваченные повторным нивелированием и недостаточно охарактеризованные инструментальными методами.

Исследования проводились на территории Кузбасса. Последняя охарактеризована 68 пунктами, для которых известны величины скоростей современных движений земной коры, полученные в результате обработки материалов повторного нивелирования. Опираясь на эти данные и используя результаты полевых геолого-геоморфологических наблюдений и комплексного количественного дешифрирования аэроснимков, мы сгустили сеть пунктов со значениями скоростей движений. Была использована разработанная в Институте географии АН СССР методика получения величин скоростей современных тектонических движений по сумме геолого-геоморфологических признаков, отражающих характер эрозионно-аккумулятивной деятельности рек. Были выбраны четыре показателя: строения пойменного аллювия ( $g$ ); высотного положения и морфологических особенностей поймы и первой надпойменной террасы ( $h$ ); ширины поймы ( $l$ ) и заболоченности поймы ( $m$ ). Каждый показатель оценивался в баллах согласно шкале балльности — табл. 1 (Мещеряков, Филькин, 1965). Эта методика разрабатывалась на материалах территории Донбасса, а затем была апробирована в других районах Европейской части СССР (Гласко, Филькин, 1973). Для успешного комплексного дешифрирования снимков необходимо хорошо знать как район исследования, так и динамику физико-географических процессов. Кроме того, необходимо обязательное проведение полевого дешифрирования на ключевых участках в различных районах исследуемой территории.

Определение геолого-геоморфологических показателей проводилось как в полевых условиях (1970—1971 гг.), так и в камеральных путем комплексного дешифрирования аэроснимков масштаба 1 : 17 000 (фокусное расстояние аэрофотоаппарата  $f_k = 100$  мм, средний базис фотографирования  $b = 60—65$  мм). Обработка снимков проводилась на топографическом стереометре СТД-2. В качестве дополнительного материала привлекались топографические карты и данные бурения. В начале работ со снимками проводилось качественное дешифрирование с помощью обычного стереоскопа: определялись границы пойм, террас, их ширина, характер поверхности, степень заболоченности, выявлялись бровки, тыловые швы, особенности русла и т. д., определялось геологическое строение поймы. Затем с помощью стереометра получали количественные показатели (высотные характеристики).

**Признак  $g$** , характеризующий особенности геологического строения поймы, определялся на основании различных прямых и косвенных дешифровочных признаков. Для участков долин, где преобладают процессы аккумуляции, характерны: слабая выраженность террасового комплекса, широкие луговые, часто заболоченные поймы с обилием озер, меандрирование русла, отсутствие перекатов, бродов, широкое развитие пойменной фации аллювия в разрезах поймы. Для участков, где преобладают эрозионные процессы, характерны: террасированность долины, ее глубокий врез, наличие в русле перекатов, бродов, развитие врезанных меандр, пляжей, кос. Среди пойменных отложений значительное место занимают русловые фации аллювия. В основу определения признака  $g$  легли работы Орлянкина В. Н. (1963, 1964), данные сборника «Аэрометоды геологических исследований» (1971) и др. работы.

## Шкала изменения признаков эрозионно-аккумулятивной деятельности рек

| Особенности строения поймы                                                                    | g (в баллах) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Аккумулятивная пойма, пойменный аллювий до уреза, глинистый                                   | -2           |
| То же, пойменный аллювий суглинистый                                                          | -1           |
| Аккумулятивная пойма, контакт русловых и пойменных отложений близ уреза                       | 0            |
| Аккумулятивная пойма, русловые отложения поднимаются выше уреза                               | +1           |
| То же, русловые отложения поднимаются значительно выше уреза (более одной трети высоты поймы) | +2           |
| Пойма цокольная                                                                               | +3           |
| Пойма эрозионная                                                                              | +4           |
| Особенности высотного положения и морфологии поймы<br>Отношение высот соседних уровней * K    | h (в баллах) |
| 0 (первая терраса отсутствует)                                                                | -2           |
| 0,1—1,0                                                                                       | -1           |
| 1,1—1,5                                                                                       | 0            |
| 1,6—2,0                                                                                       | +1           |
| 2,1—2,5                                                                                       | +2           |
| 2,6—3,0                                                                                       | +3           |
| >3,1                                                                                          | +4           |
| Характеристика ширины поймы                                                                   | l (в баллах) |
| Пойма широкая (участок расширения долины)                                                     | -1           |
| Пойма средней («нормальной» для данной долины) ширины                                         | 0            |
| Пойма узкая (участок «аномального» сужения вниз по течению реки)                              | +1           |
| Характеристика заболоченности поймы                                                           | m (в баллах) |
| Пойма сильно заболочена                                                                       | -2           |
| Пойма заболочена слабо или частично                                                           | -1           |
| Пойма сухая, без признаков заболоченности                                                     | +1           |

Примечания: 1. При наличии одного уровня поймы вычисляется отношение  

$$K = \frac{\text{Высота первой террасы}}{\text{Высота поймы}}$$

2. При наличии двух уровней поймы вычисляются отношения  

$$K_1 = \frac{\text{Высота первой террасы}}{\text{Высота высокой поймы}}, K_2 = \frac{\text{Высота высокой поймы}}{\text{Высота низкой поймы}}.$$
 Значения  $h_1$  и  $h_2$  (в баллах), соответствующие  $K_1$  и  $K_2$ , суммируются.

3. При наличии трех уровней поймы вычисляются отношения  

$$K_1 = \frac{\text{Высота первой террасы}}{\text{Высота высокой поймы}}, K_2 = \frac{\text{Высота высокой поймы}}{\text{Высота средней поймы}}, K_3 = \frac{\text{Высота средней поймы}}{\text{Высота низкой поймы}}.$$
 Значения  $h_1$ ,  $h_2$  и  $h_3$ , соответствующие величинам  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K_3$ , суммируются.

Уточнение характеристик, полученных по снимкам, во многих местах было проведено при полевых обследованиях, а также по данным бурения гидрогеологических скважин, маршрутных геологических и гидрогеологических описаний и других фондовых материалов Западносибирского геологического управления.

**Признак h** согласно принятой методике определялся по значению отношения высот смежных уровней: поймы и I надпойменной террасы.

т. е. по коэффициенту  $K = \frac{h_2}{h_1}$ , где  $h_2$ ,  $h_1$  — относительные высоты I над-

пойменной террасы и поймы (табл. 1). Для определения относительных высот поймы и I надпойменной террасы по аэроснимкам без геодезического обоснования производилось ориентирование снимков по начальным направлениям, т. е. получался наилучший стереоэффект на стереометре. После этого нить стереометра наводилась на урез воды и снимался отчет по шкале винта продольных параллаксов ( $P_0$ ), затем нить наводилась последовательно на поверхность поймы и I надпойменной террасы и также снимались отсчеты ( $P_1$ ,  $P_2$ ). Наведение нити в каждой точке исследования проводилось трехкратно и вычислялся средний отсчет (разность между измерениями не превосходила  $\pm 0,02$ — $0,03$  мм). Относительные высоты поймы и террас вычислялись по формуле:  $h = \frac{H_n}{b} \Delta p$ ;

где  $H_n$  — высота фотографирования над исходной точкой, м;  $b$  — среднее значение базиса смежных аэроснимков, мм;  $\Delta p$  — разность продольных параллаксов, мм ( $\Delta p_1 = P_1 - P_0$ ;  $\Delta p_2 = P_2 - P_0$ ). Как правило, точки для определения  $\Delta p$  брались на снимках в пределах 5 мм. Если  $h_1 = \frac{H_n}{b} \Delta p_1$  —

высота поймы, а  $h_2 = \frac{H_n}{b} \Delta p_2$  — высота I надпойменной террасы, то отно-

шение высот соседних уровней определяется формулой:  $K = h_2/h_1 = \Delta p_2/\Delta p_1$ . Таким образом, для получения коэффициента  $K$  необходимо измерить только разности продольных параллаксов и найти их отношение. По величине  $K$ , согласно шкале балльности, определялось значение признака  $h$  в баллах.

Фотограмметрические измерения показали, что для определения коэффициента  $K$  не надо иметь данных паспорта залета и планово-высотного обоснования, а можно обходиться наличием стереоснимков и прибором, с помощью которого можно измерить разности параллаксов для поймы и террас. Это обстоятельство открывает широкие возможности для геоморфологов при изучении современных и молодых тектонических движений земной коры и других геоморфологических процессов.

Определение признаков  $l$  и  $m$  характеризующих ширину и заболоченность поймы, по аэрофотоснимкам масштаба 1:17 000 с привлечением крупномасштабного картографического материала не представляет трудности. Несколько сложнее бывает определить и отделить пойму от I надпойменной террасы. Однако, учитывая, что пойма распаивается редко и, как правило, только под огородные культуры, а населенные пункты и капитальные сооружения обычно располагаются на террасах, можно легко отграничить поверхность поймы от террасы. По тону фотоизображения, ландшафтным особенностям поймы также отличается от террасы. В табл. 2 приведены примеры определения геоморфологических показателей в баллах для четырех точек; ниже дается краткое описание этих точек.

1. Река Золотой Китат в 6 км севернее с. Черное озеро. Долина реки хорошо разработана, русло прямолинейное, четко выделяются два уровня поймы. Низкая пойма относительно узкая (не более 40 м), сухая. Высокая пойма плоская, луговая, сухая, шириной до 100—120 м. Во многих местах имеются в русле броды, что свидетельствует о твердом грунте, а это означает, что русловые отложения залегают несколько выше уреза. I надпойменная терраса шириной до 150—200 м хорошо прослеживается и отделена от поймы слабовыраженным уступом. В районе с. Черное озеро терраса дешифрируется более четко.

2. Река Искитим, с. Пор-Искитим. В этом месте долина глубоко врезана, днище долины неширокое, до 200 м; хорошо представлены два

Примеры определения геоморфологических признаков

| Номер точек наблюдений | Фотограмметрические определения |             |                     |                 | Геоморфологические признаки, баллы |            |     |     |     |
|------------------------|---------------------------------|-------------|---------------------|-----------------|------------------------------------|------------|-----|-----|-----|
|                        | объект наблюдения               | отсчеты $p$ | разность $\Delta p$ | коэффициент $K$ | $h$                                | $\Sigma h$ | $g$ | $l$ | $m$ |
| 1                      | Урез воды                       | 70,40       |                     |                 |                                    |            |     |     |     |
|                        | низкая пойма                    | 70,49       | 0,09                | 1,56            | +1                                 |            |     |     |     |
|                        | высокая пойма                   | 70,54       | 0,14                | 1,21            | 0                                  | +1         | +1  | 0   | +1  |
|                        | I надпойменная терраса          | 70,57       | 0,17                |                 |                                    |            |     |     |     |
| 2                      | Урез воды                       | 86,22       |                     |                 |                                    |            |     |     |     |
|                        | низкая пойма                    | 86,25       | 0,03                | 2,00            | +1                                 |            |     |     |     |
|                        | высокая пойма                   | 86,28       | 0,06                | 1,84            | +1                                 | +2         | -1  | 0   | +1  |
|                        | I надпойменная терраса          | 86,33       | 0,11                |                 |                                    |            |     |     |     |
| 3                      | Урез воды                       |             |                     |                 |                                    |            |     |     |     |
|                        | пойма                           |             |                     |                 |                                    | -2         | -2  | -1  | -1  |
| 4                      | др. уровень нет                 |             |                     |                 |                                    |            |     |     |     |
|                        | Урез воды                       | 54,10       |                     |                 |                                    |            |     |     |     |
|                        | низкая пойма                    | 54,18       | 0,08                | 1,25            | 0                                  | 0          | +3  | 0   | +1  |
|                        | высокая пойма                   | 54,20       | 0,10                |                 |                                    |            |     |     |     |

уровня поймы и I надпойменная терраса, которые разграничиваются заметными уступами; все уровни имеют примерно одинаковую ширину. На I надпойменной террасе располагается село. В русле нет бродов, песчаные косы также отсутствуют. С полным основанием можно считать, что здесь в пойменных отложениях преобладают суглинки.

3. Река Искитим, в 6 км ниже по течению с. Пор-Искитим. Долина постепенно меняет свой облик: расширяется, террасовые уровни снижаются и выклиниваются, пойма достигает ширины более 1 км, частично заболочена. Пойма аккумулятивная. Преобладающие пойменные фации представлены глинисто-суглинистыми отложениями. Поскольку имеется один уровень, не требуется проводить фотограмметрических определений.

4. Река Еловка, в 1,5 км к югу от с. Еловка. Долина глубоко врезана, днище долины узкое (до 50 м), четко выделяются два уровня поймы шириной от 10 до 20 м. Русло прямолинейное, порожистое, с быстрым течением, мелководное, в русле видны неровности, встречаются выходы коренных пород: пойму можно считать цокольной.

Геолого-геоморфологические исследования были проведены в три этапа: 1) полевые работы, 2) камеральное комплексное дешифрирование аэроснимков, 3) контрольные полевые наблюдения. В табл. 3 приведены сопоставления значений геоморфологических признаков  $g$ ,  $h$ ,  $l$ ,  $m$  в баллах, определенных по аэроснимкам и в полевых условиях для 12 контрольных точек, а также даны величины ошибок такого сопоставления. Анализ таблицы показывает, что наиболее часты ошибки при определении балльности признаков  $g$  и  $h$ . Это естественно, однако среднеквадратические ошибки не превышают одного балла ( $\pm 0,8$  и  $\pm 1,0$ ). Для признаков  $l$  и  $m$  характерно почти адекватное определение как по снимкам, так и в поле, за исключением одного случая для признака  $l$ . Приведенное сопоставление позволяет сделать вывод о возможности и целесообразности использования аэроснимков для геоморфологических исследований при изучении современных тектонических движений.

Всего для территории Кузбасса по изложенной методике были определены геолого-геоморфологические признаки в 1300 точках, в том числе и в 68 пунктах, имеющих скорости современных движений, полученные по геодезическим данным.

На электронно-вычислительной машине М-220 была определена корреляционная зависимость между величинами скоростей современных движений, полученными по данным повторного нивелирования, и количественными характеристиками геоморфологических признаков  $g$ ,  $h$ ,

## Сопоставление значений геоморфологических признаков, полученных по аэроснимкам и при полевых исследованиях, баллы

| Адрес геоморфологической точки             | g          |      |           | h          |      |           | l          |      |          | m          |      |          |
|--------------------------------------------|------------|------|-----------|------------|------|-----------|------------|------|----------|------------|------|----------|
|                                            | аэроснимок | поле | разность  | аэроснимок | поле | разность  | аэроснимок | поле | разность | аэроснимок | поле | разность |
| р. Яя, д. 8 Марта                          | -1         | -2   | +1        | -2         | -2   | 0         | +1         | +1   | 0        | +1         | +1   | 0        |
| р. Яя, пос. Яя                             | -1         | -1   | 0         | +1         | 0    | +1        | 0          | 0    | 0        | +1         | +1   | 0        |
| р. Кия, сев. окраина Ма-<br>рийинска       | +3         | +2   | +1        | 0          | 0    | 0         | -1         | -1   | 0        | -1         | -1   | 0        |
| р. Кия, южнее ж. д. мо-<br>ста             | 0          | +1   | -1        | +1         | 0    | +1        | -1         | -1   | 0        | -1         | -1   | 0        |
| р. Алчедат, севернее д.<br>Азаново         | +1         | 0    | +1        | +1         | +1   | 0         | +1         | +1   | 0        | +1         | +1   | 0        |
| р. Яя, севернее д. Бого-<br>словки         | +2         | +2   | 0         | -2         | 0    | -2        | +1         | +1   | 0        | +1         | +1   | 0        |
| р. Искитим, южная окра-<br>ина г. Кемерово | -1         | 0    | -1        | +2         | +2   | 0         | +1         | +1   | 0        | +1         | +1   | 0        |
| р. Сев. Уньга, д. Чер-<br>мичкино          | 0          | -1   | +1        | +1         | +1   | 0         | +1         | +1   | 0        | +1         | +1   | 0        |
| р. Сев. Уньга, д. Плот-<br>никово          | -1         | -1   | 0         | +1         | +2   | -1        | +1         | +1   | 0        | +1         | +1   | 0        |
| р. Иня, г. Ленинск-Куз-<br>нецк            | 0          | -1   | +1        | 0          | -2   | +2        | 0          | -1   | +1       | +1         | +1   | 0        |
| р. Иня, д. Тарабарино                      | +1         | +1   | 0         | 0          | 0    | 0         | 0          | 0    | 0        | +1         | +1   | 0        |
| р. Иня, д. Грекино                         | +1         | 0    | +1        | +1         | +2   | -1        | +1         | +1   | 0        | +1         | +1   | 0        |
| Среднеквадратичная<br>ошибка               |            |      | $\pm 0,8$ |            |      | $\pm 1,0$ |            |      | 0        |            |      | 0        |

$l, m$  в баллах. В результате решения начальных уравнений по способу наименьших квадратов было получено уравнение связи

$$V = 0,59g + 0,70h + 0,84l + 0,17m + 0,57,$$

где  $V$  — скорость современных движений (мм/год) по геоморфологическим данным.

Коэффициенты геоморфологических признаков оказались одного порядка, а сами признаки примерно одинакового веса. Несколько меньшим весом обладает признак  $m$ , характеризующий степень заболоченности поймы. Средняя квадратическая ошибка определения величин скоростей современных движений по геоморфологическим материалам, с учетом ошибок исходных данных, получилась равной  $\pm 1,18$  мм/год. Коэффициент корреляции между величинами скоростей современных движений, полученными по геодезическим данным и вычисленными с помощью полученного уравнения связи, составил  $+0,89 \pm 0,02$ . Достоверность коэффициента корреляции, определяемого из условия  $\frac{|r|}{\sigma_r} > 3$

при числе сопоставлений более 30, оказалась высокой ( $\frac{|r|}{\sigma_r} = 44$ ).

Незначительная ошибка определения величин скоростей современных движений геоморфологическим методом и высокий коэффициент корреляции между величинами, полученными геодезическим и геоморфологическим методами, свидетельствуют о возможности и целесообразности использования предлагаемой методики для составления карт современных движений.

Использование аэроснимков позволяет перенести основной объем работ из полевых условий в камеральные, что дает значительный экономический эффект.

## ЛИТЕРАТУРА

- Асоян Д. С., Мещеряков Ю. А. Использование стереофотограмметрического метода при геоморфологических исследованиях (на примере южной Якутии). В сб. «Структурно-геоморфологические исследования в Сибири». Новосибирск, «Наука», вып. 1, 1970.
- Аэрометоды геологических исследований. Л., «Недра», 1971.
- Гласко М. П., Филькин В. А. Вопросы методики количественной оценки скоростей современных вертикальных тектонических движений по сумме геоморфологических признаков. В сб. «Современные движения земной коры», Тарту, № 5, 1973.
- Мещеряков Ю. А., Филькин В. А. Оценка геоморфологических признаков в баллах как метод количественной характеристики тектонических движений. «Изв. АН СССР. Сер. геогр.», № 1, 1965.
- Орлянкин В. Н. Определение мощности руслового аллювия по аэрофотоснимкам вееров блуждания. В сб. «Вопр. геогр.», № 63, Географиздат, 1963.
- Орлянкин В. Н. Определение высоты высокой поймы с помощью аэроснимков и крупномасштабных топографических карт. «Бюл. ОНТИ ВИЭМС», № 59(1), 1964.
- Филькин В. А. Использование аэроснимков при количественных характеристиках рельефа. В сб. «Вопросы применения картографических методов при географических исследованиях». Изд-во АН СССР, 1960.

Институт географии АН СССР,  
Кузбасский политехнический институт

Поступила в редакцию  
27.II.1974

---

## AERIAL PHOTOGRAPHS APPLICATION TO COMPILATION OF A MAP OF RECENT TECTONIC MOVEMENT RATE AT THE KUZNETSKY BASIN TERRITORY

L. M. KNURENKO, V. A. PHILKIN

### Summary

The paper discusses results of the complex usage of aerial photographs for extrapolation and interpolation of recent tectonic movement rates instrumentally measured in several points into areas, where relevelling had not been done. The problem is solved by geomorphological method using sum of four geological-geomorphological indicators of stream activity, a functional relation being found between geodetic values of recent movement rate and geomorphological data. A map of recent vertical movements for the Kuznetsky Basin territory has been compiled on the base of 68 geodetic and 1300 geomorphological points, an error in recent movement rate definition by geomorphological methods using aerial photographs proved to be negligible ( $\pm 1,18$  mm/year) and correlation coefficient of geodetic and geomorphological data appeared to be high (+0,89). The proposed technique allows to change most studies from field into office condition which can be of economic effect.

---