

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ)

Е. П. Парфенова

**ФОТОГРАММЕТРИЯ
И ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ**
Фотограмметрическая обработка
одиноким снимков.
Трансформирование аэроснимков.
Фотосхемы и фотопланы

Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве учебно-методического пособия по направлению подготовки
21.03.03 Геодезия и дистанционное зондирование
(уровень бакалавриата)

Новосибирск
СГУГиТ
2026

УДК 528.7(075)+528.8(075)

П189

Рецензенты: кандидат технических наук, доцент, СГУГиТ *А. С. Гордиенко*

кандидат технических наук, картограф ОКР, филиал ППК
«РОСКАДАСТР» «ПО Инжгеодезия» *А. Е. Червова*

Парфенова, Е. П.

П189 Фотограмметрия и дистанционное зондирование. Фотограмметрическая обработка одиночных снимков. Трансформирование аэроснимков. Фотосхемы и фотопланы : учебно-методическое пособие / Е. П. Парфенова. – Новосибирск : СГУГиТ, 2026. – 80 с. – Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-907998-80-3

Учебно-методическое пособие подготовлено кандидатом технических наук, доцентом Е. П. Парфеновой на кафедре фотограмметрии и дистанционного зондирования СГУГиТ.

Учебно-методическое пособие содержит теоретические и практические вопросы по разделам «Фотограмметрическая обработка одиночных снимков», «Трансформирование аэроснимков», «Фотосхемы и фотопланы» дисциплины «Фотограмметрия и дистанционное зондирование». Предназначено для обучающихся 2-го курса по направлению подготовки 21.03.03 Геодезия и дистанционное зондирование (уровень бакалавриата).

Учебно-методическое пособие также может использоваться обучающимися по направлению подготовки специалистов 21.05.01 Прикладная геодезия и 21.05.04 Горное дело (уровень специалитета) при изучении дисциплины «Фотограмметрия» и по направлению подготовки 21.03.02 Землеустройство и кадастры (уровень бакалавриата) при изучении дисциплины «Фотограмметрия и дистанционное зондирование».

Рекомендовано к изданию кафедрой фотограмметрии и дистанционного зондирования СГУГиТ.

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

УДК 528.7(075)+528.8(075)

ISBN 978-5-907998-80-3

© СГУГиТ, 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. Фотограмметрическая обработка одиночных снимков. Транс- формирование аэроснимков. Фотосхемы. Фотопланы	5
1.1. Теория построения изображения на фотоснимке. Элементы цен- тральной проекции и их свойства	5
1.2. Системы координат, применяемые в фотограмметрии	7
1.3. Элементы ориентирования одиночного аэрофотоснимка	10
1.4. Связь плоских и пространственных координат точек снимка	12
1.5. Зависимость между координатами точек местности и снимка	15
1.6. Определение элементов внешнего ориентирования снимка по коор- динатам опорных точек	19
1.7. Влияние рельефа, угла наклона снимка и кривизны Земли на поло- жение точек на снимке	21
1.8. Назначение и методы трансформирования снимков. Цифровое трансформирование снимков	27
1.9. Фотосхемы и фотопланы. Создание фотопланов по фотографиче- ским и цифровым снимкам. Оценка точности фотоплана	31
2. Лабораторные работы	34
2.1. Лабораторная работа № 1. Анализ одиночного снимка	34
2.2. Лабораторная работа № 2. Определение элементов внешнего ориен- тирования снимка. Трансформирование снимка	50
2.3. Лабораторная работа № 3. Создание фотосхемы в ЦФС PHOTOMOD GeoMosaic	63
Заключение	78
Библиографический список	79

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время все большее количество данных дистанционного зондирования различного разрешения применяется при создании разнообразной картографической продукции. В качестве исходных материалов широко используются снимки, полученные космическими съемочными системами, данные воздушного и наземного лазерного сканирования, материалы аэросъемки.

Современные тенденции таковы, что все большую популярность набирают съемки с помощью беспилотных летательных аппаратов, так как они не требуют больших трудовых, временных и финансовых затрат по сравнению с классической аэрофотосъемкой.

Обработка аэроснимков, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов, во многом схожа с обработкой снимков, полученных традиционными методами. Однако малые высоты фотографирования и присутствие больших углов наклона вызывают значительные геометрические искажения изображений, что делает тематику данного пособия весьма актуальной.

Цель данного учебно-методического пособия состоит в том, чтобы облегчить восприятие материала обучающимися, изучающими фотограмметрическую обработку снимков, помочь в освоении теории и получении практических навыков обработки одиночного снимка, выполнения накидного монтажа и создания фотосхемы с применением современного программного обеспечения на примере ЦФС PHOTOMOD [1].

В учебно-методическом пособии описана теория получения изображения на одиночном снимке, рассмотрены основные причины геометрических искажений, основные задачи и методы трансформирования снимков, а также особенности цифровой обработки снимков [2–9].

Практическая часть работы апробирована в учебном процессе.

1. ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ОДИНОЧНЫХ СНИМКОВ. ТРАНСФОРМИРОВАНИЕ АЭРОСНИМКОВ. ФОТОСХЕМЫ. ФОТОПЛАНЫ

1.1. Теория построения изображения на фотоснимке. Элементы центральной проекции и их свойства

Известно, что изображение в аэрофотоаппарате (АФА) строится по законам центрального проектирования. Законы геометрической оптики позволяют сложную оптическую систему идеального объектива заменить упрощенной моделью. На рис. 1 представлены основные элементы центральной проекции для общего случая, при котором снимок имеет произвольный угол наклона α° .

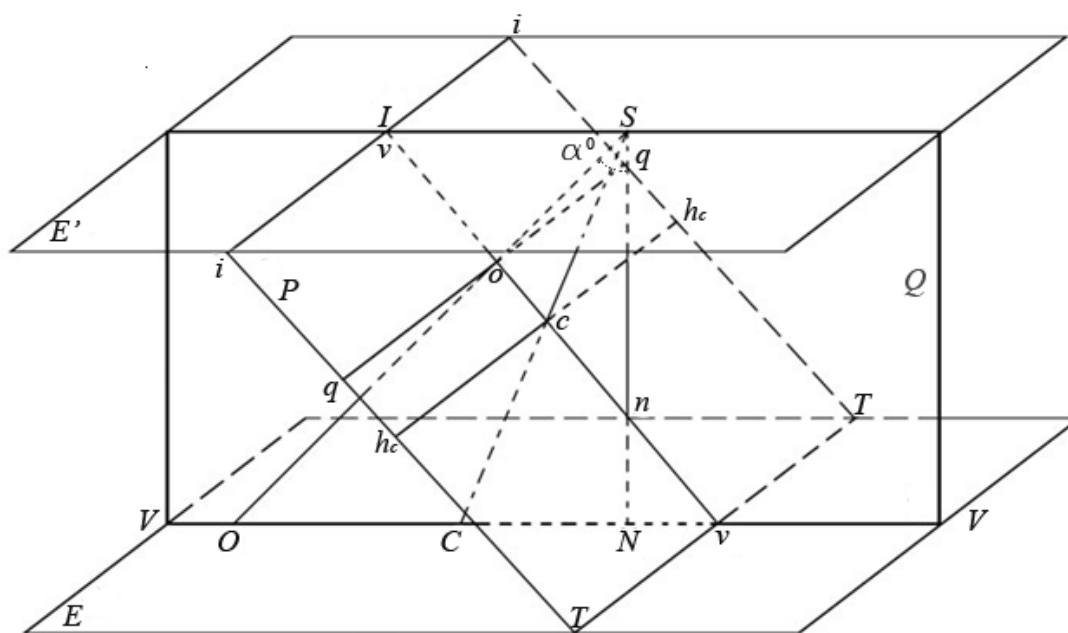


Рис. 1. Элементы центральной проекции

Основные определения.

Плоскость E – плоскость основания, плоскость местности, предметная

плоскость – горизонтальная плоскость, проходящая через какую-либо точку местности.

Плоскость P – плоскость снимка, картинная плоскость.

Линия TT – линия основания – линия пересечения плоскости основания и плоскости снимка.

Точка S – центр проекции, точка фотографирования – задняя узловая точка объектива камеры.

So – главный луч – луч, совпадающий с оптической осью камеры, $So \perp P$.

Точка o – главная точка снимка – точка пересечения главного луча So и плоскости снимка P .

Точка O – точка на местности, соответствующая главной точке снимка, – точка пересечения главного луча So и плоскости основания E .

Точка n – точка надира, точка пересечения отвесной линии Sn , проходящей через центр проекции S и плоскости снимка P .

Точка N – точка на местности, соответствующая точке надира, – точка пересечения отвесной линии Sn , проходящей через центр проекции S и плоскости основания E .

Плоскость Q – плоскость главного вертикала – вертикальная плоскость, проходящая через главный луч So .

Угол α° – угол наклона снимка – угол между главным лучом So и отвесной линией Sn .

Линия vv – главная вертикаль – линия пересечения плоскости главного вертикала Q и плоскости снимка P .

Точка c – точка нулевых искажений – точка пересечения биссектрисы угла наклона снимка α° и плоскости снимка P .

Точка C – точка на местности, соответствующая точке нулевых искажений – точка пересечения биссектрисы угла наклона снимка α° и плоскости основания E .

Плоскость E' – плоскость действительного горизонта – горизонтальная плоскость, проходящая через центр проекции S .

Линия ii – линия действительного горизонта – линия пересечения плоскости действительного горизонта E' и плоскости снимка P .

Точка I – главная точка схода – точка пересечения горизонтальной

прямой SI , проходящей через центр проекции S в плоскости главного вертикала Q , с линией действительного горизонта ii .

Линия qq – главная горизонталь – прямая на снимке, проходящая через главную точку o перпендикулярно главной вертикали vv .

Линия h_ch_c – линия нулевых искажений – прямая на снимке, проходящая через точку нулевых искажений c параллельно главной горизонтали qq .

Линия VV – линия направления съемки – линия пересечения плоскости главного вертикала Q и плоскости местности E .

Свойства точек центральной проекции.

o – ее положение всегда известно на снимке, от нее производятся все построения.

c – углы на снимке с вершиной в этой точке и в предметной плоскости с вершиной в точке C всегда равны, направления, проведенные через точку c , не искажаются.

n – линии, перпендикулярные предметной плоскости, изображаются сходящимися в этой точке, точки, лежащие выше или ниже предметной плоскости на снимке, смещаются по направлениям к n или от нее.

I – линии, параллельные VV на предметной плоскости, изображаются сходящимися в точке I .

vv – на главной вертикали происходят максимальные смещения точек, вызванные углом наклона снимка.

h_ch_c – линия неискаженных масштабов.

1.2. Системы координат, применяемые в фотограмметрии

Основная задача фотограмметрии – определить координаты точек объекта по их изображениям на снимках.

Для этого необходимо выполнить измерения на снимках и установить связь между системой координат, в которой выполняются измерения на снимке, и системой координат, используемой на местности.

Таким образом, фотограмметрическая обработка связана с преобразованием систем координат.

Введем следующие системы координат:

- плоская система координат снимка;
- пространственная система координат съёмочной камеры;
- пространственная система координат точек снимка (фотограмметрическая система координат);
- геодезическая система координат.

Плоская система координат снимка.

Система координат снимка o_cxy – задается координатными метками (рис. 2). Координатные метки жестко закреплены на корпусе камеры и впечатываются в каждый снимок.

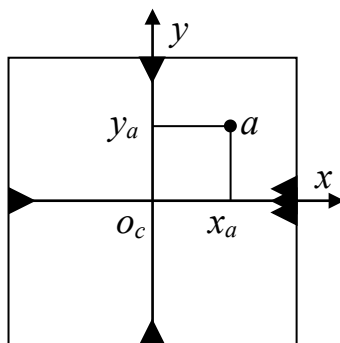


Рис. 2. Система координат снимка: a – точка на снимке; x_a, y_a – координаты точки изображения a в системе координат снимка

Пространственная система координат съёмочной камеры S_{xyz} связана со связкой проектирующих лучей.

Начало этой системы совмещается с точкой S – центром связи, оси системы координат съёмочной камеры x и y параллельны осям x и y системы координат снимка, ось z направлена перпендикулярно плоскости снимка. На рис. 3 показана связь систем координат o_cxy и S_{xyz} . Система координат съёмочной камеры отличается только положением точки начала системы координат.

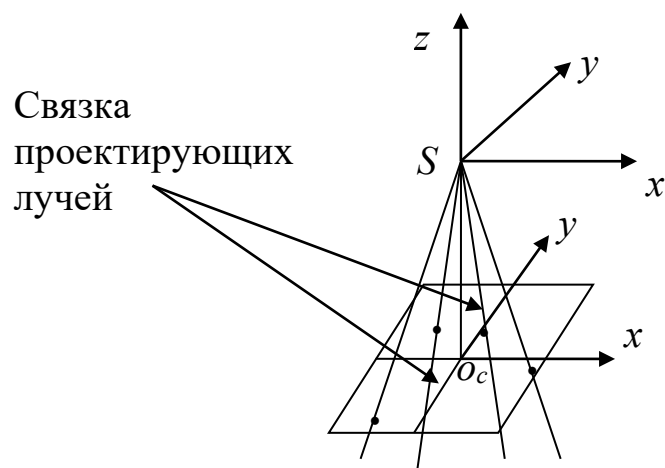


Рис. 3. Пространственная система координат съемочной системы

Фотограмметрическая система координат.

Введем еще одну дополнительную систему координат, которую в дальнейшем будем называть фотограмметрической $S'X'Y'Z'$. Начало координат этой системы всегда совмещено с точкой фотографирования S , а оси X' , Y' , Z' задаются в зависимости от решаемой задачи.

Таким образом, положение точки a на снимке может определяться не только плоскими координатами x_a и y_a , но и в пространственной фотограмметрической системе координатами X'_a , Y'_a , Z'_a (рис. 4).

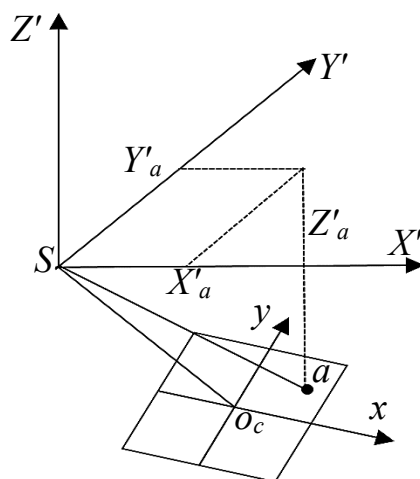


Рис. 4. Фотограмметрическая система координат

Внешняя система координат.

Далее введем систему координат, в которой определяются координаты точек местности, например, точки A . Это внешняя система координат, которая может быть задана условно $OXYZ$. Чаще всего в качестве внешней системы координат используется геодезическая система координат $O_G X_G Y_G Z_G$ с заменой осей X и Y (это делается для удобства, так как фотограмметрическая система координат – правая, а геодезическая – левая).

На рис. 5 показана связь всех введенных систем координат.

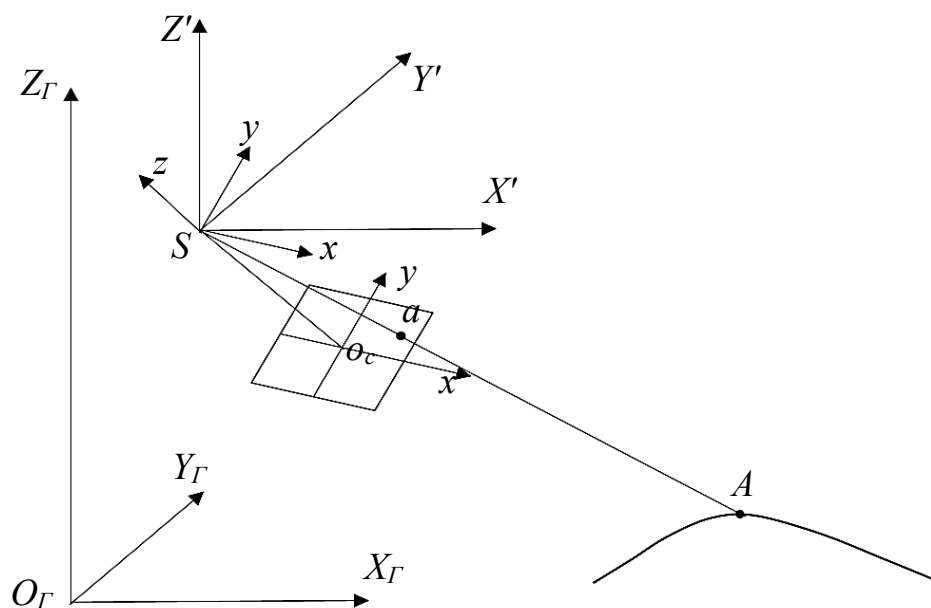


Рис. 5. Связь систем координат

Как видно из рис. 5, системы координат $SX'Y'Z'$ и S_{xyz} отличаются только разворотом системы координат. Как известно, переход от системы координат S_{xyz} к системе координат $SX'Y'Z'$ можно осуществить путем последовательного поворота на три угла Эйлера.

1.3. Элементы ориентирования одиночного аэрофотоснимка

Элементами ориентирования снимка называются величины, определяющие его положение в момент фотографирования относительно вы-

бранной пространственной прямоугольной системы координат. Различают элементы внутреннего и внешнего ориентирования снимка.

Элементы внутреннего ориентирования снимка.

Элементы внутреннего ориентирования позволяют найти положение центра проекции относительно снимка, а значит, восстановить связку проектирующих лучей, существовавшую в момент фотографирования. К ним относятся координаты главной точки x_o, y_o снимка и фокусное расстояние f фотокамеры. Для идеальной съёмочной камеры главная точка o должна совпадать с точкой пересечения координатных меток, однако на практике это не удастся, поэтому точка o смещена относительно точки o_c как показано на рис. 6; x_o, y_o – координаты точки o , называемой главной точкой снимка в системе координат снимка.

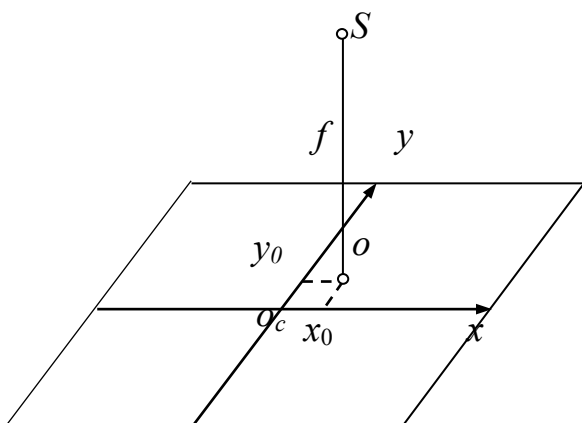


Рис. 6. Элементы внутреннего ориентирования снимка

Элементы внешнего ориентирования снимка.

Положение системы координат S_{xyz} относительно внешней системы координат $O_{\Gamma}X_{\Gamma}Y_{\Gamma}Z_{\Gamma}$ полностью определяется шестью параметрами: X_s, Y_s, Z_s – координатами центра проекции в системе координат $O_{\Gamma}X_{\Gamma}Y_{\Gamma}Z_{\Gamma}$ и углами α, ω, κ , характеризующими угловое положение снимка (рис. 7).

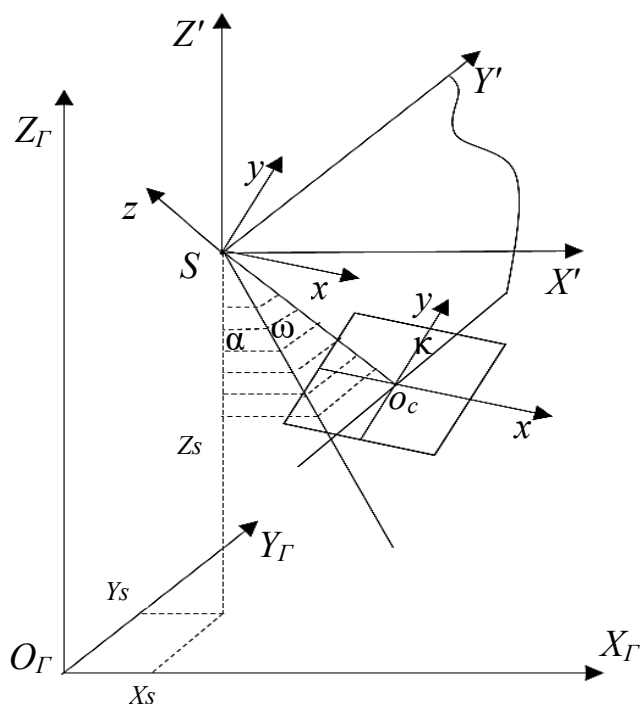


Рис. 7. Элементы внешнего ориентирования снимка

Здесь α – продольный угол наклона снимка, заключенный между осью Z' и проекцией главного луча на плоскость $X'Z'$;

ω – поперечный угол наклона снимка, составленный главным лучом с плоскостью $X'Z'$;

κ – угол поворота снимка, находящийся в плоскости снимка и заключенный между осью y и следом плоскости, проходящей через главный луч So и ось Y' .

Величины X_s , Y_s , Z_s , α , ω , κ называются *элементами внешнего ориентирования снимков*.

1.4. Связь плоских и пространственных координат точек снимка

При изучении теории фотограмметрии и решении практических задач используются зависимости между плоскими координатами x , y точек снимка и их пространственными координатами X' , Y' , Z' . Эти зависимости можно установить, если известны элементы внутреннего и угловые эле-

менты внешнего ориентирования снимка.

Координаты x, y любой точки снимка в пространственной системе имеют те же значения, что и в плоской с учетом положения главной точки o , а координата z для всех точек постоянна и равна фокусному расстоянию снимка ($z = -f$).

Системы $SX'Y'Z'$ и S_{xyz} , как уже отмечалось ранее, имеют общее начало, поэтому в процессе преобразования координат из одной системы в другую следует выполнять только вращение, что выражается, например, формулой

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} = A_{\alpha\omega\kappa} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где $A_{\alpha\omega\kappa}$ представляет собой матрицу направляющих косинусов, выраженную через $\alpha\omega\kappa$. Ортогональная матрица $A_{\alpha\omega\kappa}$ имеет третий порядок и называется матрицей преобразования координат. Ее элементами являются девять направляющих косинусов, поэтому вышеприведенное соотношение можно записать так:

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Причем каждый из направляющих косинусов – это косинус угла между соответствующими осями систем координат, участвующих в преобразовании, т. е.:

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(X', x) & \cos(X', y) & \cos(X', z) \\ \cos(Y', x) & \cos(Y', y) & \cos(Y', z) \\ \cos(Z', x) & \cos(Z', y) & \cos(Z', z) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Отметим, что в формуле (3) в скобках приведены обозначения осей, между которыми берется угол.

В силу ортогональности направляющие косинусы матрицы связаны между собой шестью независимыми уравнениями:

$$\begin{aligned} a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 &= 1; & a_1b_1 + a_2b_2 + a_3b_3 &= 0; \\ b_1^2 + b_2^2 + b_3^2 &= 1; & b_1c_1 + b_2c_2 + b_3c_3 &= 0; \\ c_1^2 + c_2^2 + c_3^2 &= 1; & c_1a_1 + c_2a_2 + c_3a_3 &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Один поворот в пространстве можно заменить тремя последовательными поворотами в плоскости вокруг осей Y' , X' и Z' (рис. 8).

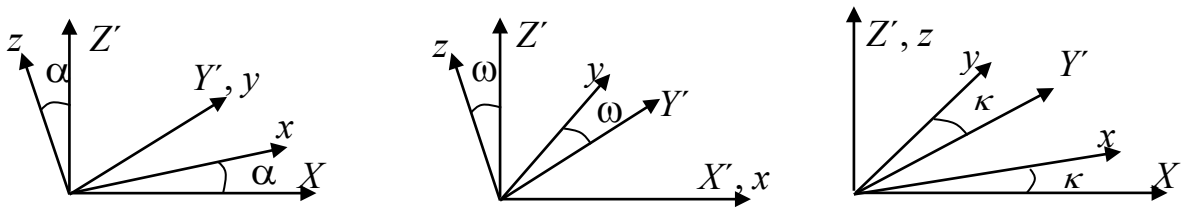


Рис. 8. Последовательные повороты осей

В соответствии с рис. 8 для каждого из поворотов соотношение (4) для матриц поворотов A_α , A_ω и A_κ можно представить следующим образом:

$$A_\alpha = \begin{vmatrix} \cos \alpha & 0 & -\sin \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{vmatrix}; A_\omega = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & -\sin \omega \\ 0 & \sin \omega & \cos \omega \end{vmatrix}; A_\kappa = \begin{vmatrix} \cos \kappa & -\sin \kappa & 0 \\ \sin \kappa & \cos \kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}. \quad (5)$$

Общая матрица преобразования A равна произведению

$$A_{\alpha\omega\kappa} = A_\alpha A_\omega A_\kappa. \quad (6)$$

После перемножения матриц получим формулы для вычисления направляющих косинусов. В данном случае они будут иметь вид:

$$\begin{aligned}
a_1 &= \cos \alpha \cos \kappa - \sin \alpha \sin \omega \sin \kappa; \\
a_2 &= -\cos \alpha \sin \kappa - \sin \alpha \sin \omega \cos \kappa; \\
a_3 &= -\sin \alpha \cos \omega; \\
b_1 &= \cos \omega \sin \kappa; \\
b_2 &= \cos \omega \cos \kappa; \\
b_3 &= -\sin \omega; \\
c_1 &= \sin \alpha \cos \kappa + \cos \alpha \sin \omega \sin \kappa; \\
c_2 &= -\sin \alpha \sin \kappa + \cos \alpha \sin \omega \cos \kappa; \\
c_3 &= \cos \alpha \cos \omega.
\end{aligned} \tag{7}$$

Таким образом, направляющие косинусы $a_1, a_2, a_3, \dots, c_3$ зависят от трех угловых элементов внешнего ориентирования снимка и являются координатами единичных векторов, определяющих взаимное положение рассматриваемых систем координат: $SX'Y'Z'$ и S_{xyz} .

С учетом этого пространственные координаты точки a будут определяться следующим образом:

$$\begin{vmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ -f \end{vmatrix} \tag{8}$$

или

$$\left. \begin{aligned} X' &= a_1(x - x_0) + a_2(y - y_0) - a_3 f \\ Y' &= b_1(x - x_0) + b_2(y - y_0) - b_3 f \\ Z' &= c_1(x - x_0) + c_2(y - y_0) - c_3 f \end{aligned} \right\}. \tag{9}$$

1.5. Зависимость между координатами точек местности и снимка

Точка местности A и ее изображение на снимке a лежат на одном проектирующем луче (рис. 9). Положение точек S и A в системе координат местности $O_G X_G Y_G Z_G$ определяется векторами $\bar{R}_S$ и $\bar{R}_A$ соответственно, а по-

ложение точек a и A в системе координат $SX'Y'Z'$ – векторами $\bar{r}$ и $\bar{R}$.

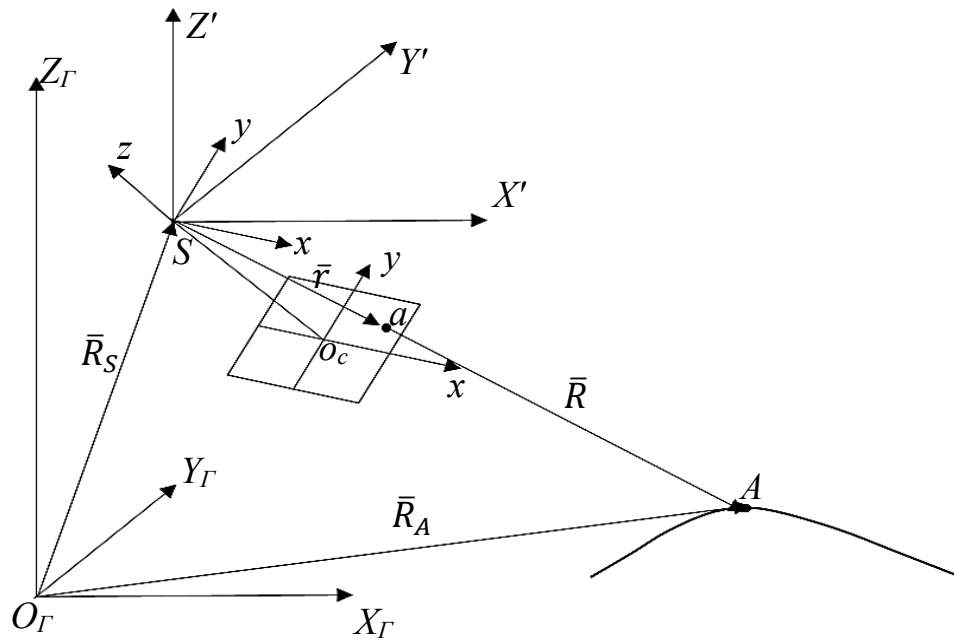


Рис. 9. Зависимость между координатами точек местности и снимка

Векторы $\bar{r}$ и $\bar{R}$ коллинеарны, поэтому

$$\bar{R} = N\bar{r}, \quad (10)$$

где N – скаляр; $\bar{r} = \begin{pmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ -f \end{pmatrix}$, а $\bar{R} = \bar{R}_A - \bar{R}_S$.

Прямая зависимость.

Для перехода от векторной формы к координатной все векторы проецируются на оси системы $O_G X_G Y_G Z_G$. Тогда

$$N = \frac{X - X_S}{X} = \frac{Y - Y_S}{Y} = \frac{Z - Z_S}{Z}. \quad (11)$$

В этом случае

$$\frac{X - X_S}{X} = \frac{Z - Z_S}{Z}. \quad (12)$$

Отсюда

$$X - X_S = (Z - Z_S) \frac{X}{Z} \quad \text{или} \quad X = X_S + (Z - Z_S) \frac{X}{Z}. \quad (13)$$

Аналогично

$$\frac{Y - Y_S}{Y} = \frac{Z - Z_S}{Z}. \quad (14)$$

Отсюда

$$Y - Y_S = (Z - Z_S) \frac{Y}{Z} \quad \text{или} \quad Y = Y_S + (Z - Z_S) \frac{Y}{Z}, \quad (15)$$

где пространственные координаты X' , Y' , Z' определяются по формуле (9).

Таким образом, формулы прямой связи между координатами точек местности и снимка будут иметь вид:

$$\begin{aligned} X &= X_S + (Z - Z_S) \frac{a_1(x - x_0) + a_2(y - y_0) - a_3f}{c_1(x - x_0) + c_2(y - y_0) - c_3f}; \\ Y &= Y_S + (Z - Z_S) \frac{b_1(x - x_0) + b_2(y - y_0) - b_3f}{c_1(x - x_0) + c_2(y - y_0) - c_3f}. \end{aligned} \quad (16)$$

Итак, если элементы ориентирования снимка известны, то два уравнения вида (16) имеют три неизвестных. Отсюда следует, что пространственные координаты точки местности по одиночному снимку не определить, можно получить лишь ее плановое положение. Но и для этого надо знать высоту фотографирования $H = -(Z - Z_S)$, которую можно определить по карте.

Обратная зависимость.

При решении фотограмметрических задач довольно часто используются обратные зависимости – между координатами точки снимка и координатами соответствующей точки местности.

Для их получения спроектируем векторы $\bar{R}$ и $\bar{r}$ на координатные оси системы координат $S_{хуз}$. Введем обозначения: X^* , Y^* , Z^* – координаты точки местности A в системе координат съемочной камеры (рис. 10).

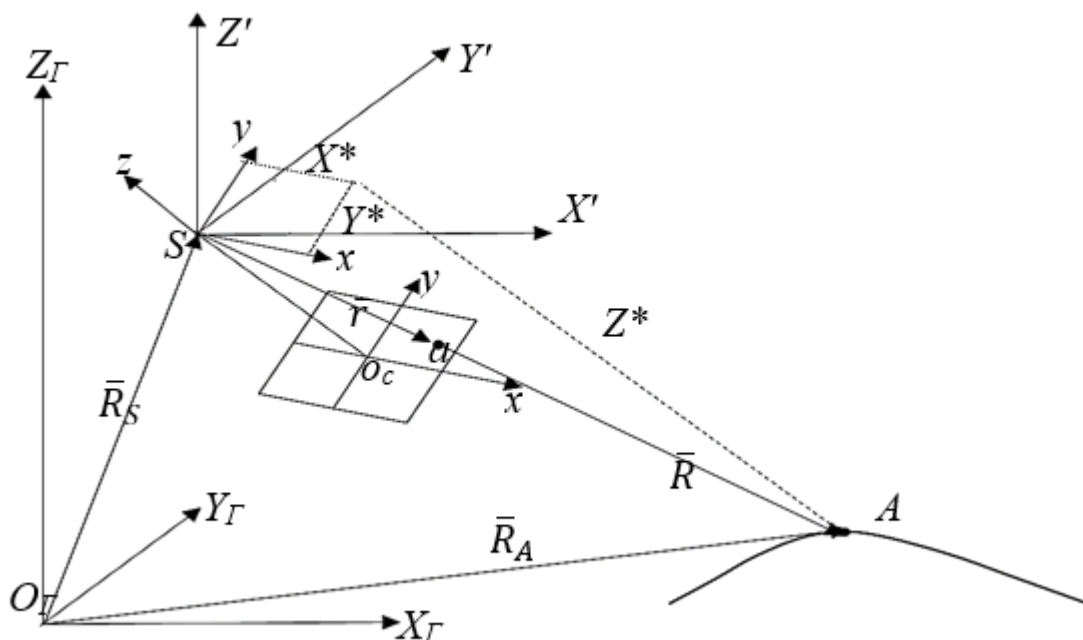


Рис. 10. Обратная связь между координатами точек местности и снимка

Согласно формуле (10)

$$N = \frac{X^*}{x - x_0} = \frac{Y^*}{y - y_0} = \frac{Z^*}{-f}. \quad (17)$$

Тогда

$$x - x_0 = -f \frac{X^*}{Z^*}; \quad y - y_0 = -f \frac{Y^*}{Z^*}. \quad (18)$$

Запишем зависимость между координатами точки A в системе координат камеры и во внешней системе координат:

$$\begin{pmatrix} X^* \\ Y^* \\ Z^* \end{pmatrix} = A^T \begin{pmatrix} R_X \\ R_Y \\ R_Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X - X_S \\ Y - Y_S \\ Z - Z_S \end{pmatrix}. \quad (19)$$

Тогда

$$\left. \begin{aligned} X^* &= a_1(X - X_S) + b_1(Y - Y_S) + c_1(Z - Z_S) \\ Y^* &= a_2(X - X_S) + b_2(Y - Y_S) + c_2(Z - Z_S) \\ Z^* &= a_3(X - X_S) + b_3(Y - Y_S) + c_3(Z - Z_S) \end{aligned} \right\}. \quad (20)$$

Подставив выражение (20) в (18) и (19), получим формулы обратной связи координат:

$$\begin{aligned} x - x_0 &= -f \frac{a_1(X - X_S) + b_1(Y - Y_S) + c_1(Z - Z_S)}{a_3(X - X_S) + b_3(Y - Y_S) + c_3(Z - Z_S)}; \\ y - y_0 &= -f \frac{a_2(X - X_S) + b_2(Y - Y_S) + c_2(Z - Z_S)}{a_3(X - X_S) + b_3(Y - Y_S) + c_3(Z - Z_S)}. \end{aligned} \quad (21)$$

Формулы (16) и (21) справедливы при любых значениях элементов ориентирования снимка.

1.6. Определение элементов внешнего ориентирования снимка по координатам опорных точек

Из изложенного ранее следует, что для определения координат точек местности нужно знать элементы внешнего ориентирования снимка. В настоящее время координаты X_S , Y_S , Z_S можно определить с помощью GPS, а угловые элементы – инерциальными системами. Однако на практике часто используют фотограмметрический метод определения элементов внешнего ориентирования – по опорным точкам.

Опорными точками называют точки, опознанные на снимке, координаты которых определены на местности (как правило, в геодезической системе координат). Если измерить координаты опорных точек на снимке, то можно записать прямую или обратную связь координат точек снимка и местности. Рассмотрим вариант для обратной связи – формула (21). В данном случае в этих формулах неизвестными будут являться элементы

внешнего ориентирования $X_S, Y_S, Z_S, \alpha, \omega, \kappa$.

Одна опорная точка позволяет составить два уравнения вида (21) с шестью неизвестными. Если взять три опорные точки (не лежащие на одной прямой), то получим шесть уравнений с равным количеством неизвестных, что позволяет их найти. Для того чтобы можно было осуществить контроль, используют не менее четырех опорных точек. В данных уравнениях неизвестные входят в направляющие косинусы, которые являются тригонометрическими функциями, кроме того, они перемножаются, что делает уравнения нелинейными.

Непосредственно такие уравнения решить нельзя. Для этого используют различные приемы. Наиболее распространенный способ – приведение нелинейных уравнений к линейному виду путем разложения в ряд Тейлора.

Для этого задают приближенные значения функции и дополняют ее частными производными. Если приближенная функция задана грубо, то добавляют вторую, третью, четвертую и т. д. производные. В фотограмметрии, как правило, ограничиваются первой производной, а соответственная точность достигается использованием итерационного метода Ньютона. Разложим (21) в ряд Тейлора:

$$\begin{aligned} x - x_o = \varphi_x \left(X_S^0, Y_S^0, Z_S^0, \alpha^0, \omega^0, \kappa^0 \right) &+ \frac{\partial \varphi_x}{\partial X_S} \delta X_S + \frac{\partial \varphi_x}{\partial Y_S} \delta Y_S + \\ &+ \frac{\partial \varphi_x}{\partial Z_S} \delta Z_S + \frac{\partial \varphi_x}{\partial \alpha} \delta \alpha + \frac{\partial \varphi_x}{\partial \omega} \delta \omega + \frac{\partial \varphi_x}{\partial \kappa} \delta \kappa; \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} y - y_o = \varphi_y \left(X_S^0, Y_S^0, Z_S^0, \alpha^0, \omega^0, \kappa^0 \right) &+ \frac{\partial \varphi_y}{\partial X_S} \delta X_S + \frac{\partial \varphi_y}{\partial Y_S} \delta Y_S + \\ &+ \frac{\partial \varphi_y}{\partial Z_S} \delta Z_S + \frac{\partial \varphi_y}{\partial \alpha} \delta \alpha + \frac{\partial \varphi_y}{\partial \omega} \delta \omega + \frac{\partial \varphi_y}{\partial \kappa} \delta \kappa. \end{aligned}$$

Уравнения вида (22) составляют для каждой опорной точки. В данных уравнениях неизвестными являются $\delta X_S, \delta Y_S, \delta Z_S, \delta \alpha, \delta \omega, \delta \kappa$ – поправки к приближенным значениям аргументов $X_S^0, Y_S^0, Z_S^0, \alpha^0, \omega^0, \kappa^0$.

Для решения уравнений задаются элементы внутреннего ориентиро-

вания x_o, y_o, f снимка (указаны в паспорте АФА), геодезические координаты опорных точек (из каталога координат). Если аэросъемка плановая ($\alpha, \omega, \kappa < 3^0$), то приближенные значения углов задаются равными 0. Чтобы задать приближенные значения X_S^0, Y_S^0, Z_S^0 , используют опорные точки (вычисляют среднее их координат).

Так как приближенные значения задаются довольно грубо, то из первого решения уравнений неизвестные будут получены с большими ошибками. Чтобы добиться точности, применяют итерационный метод Ньютона, суть которого состоит в том, что при втором решении уравнений используют уточненные значения неизвестных:

$$\begin{aligned} X_S &= X_S^0 + \delta X_S; & \alpha &= \alpha^0 + \delta\alpha; \\ Y_S &= Y_S^0 + \delta Y_S; & \omega &= \omega^0 + \delta\omega; \\ Z_S &= Z_S^0 + \delta Z_S; & \kappa &= \kappa^0 + \delta\kappa. \end{aligned} \quad (23)$$

1.7. Влияние рельефа, угла наклона снимка и кривизны Земли на положение точек на снимке

Влияние наклона снимка.

Рассмотрим влияние угла наклона снимка на положение точек на снимке. На рис. 11 изображены наклонный и горизонтальный снимки, полученные из одной точки фотографирования.

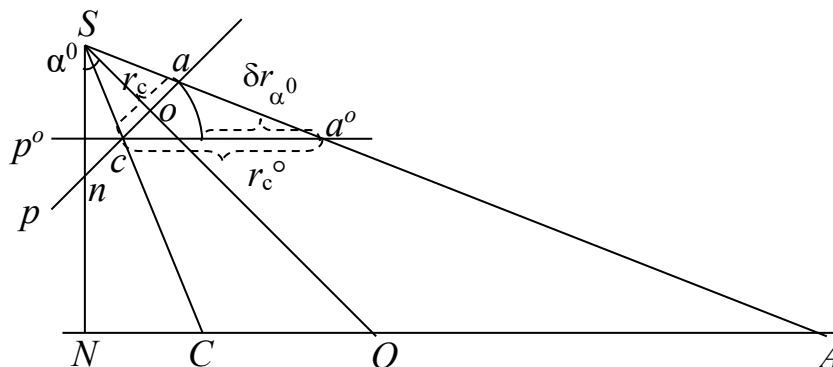


Рис. 11. Наклонный и горизонтальный снимки

На рис. 11:

A – точка местности;

S – точка фотографирования;

o – главная точка снимка;

O – точка на местности, соответствующая главной точке снимка;

p^o – горизонтальный снимок;

p – наклонный снимок;

α^0 – угол наклона снимка;

f – фокусное расстояние;

c – точка нулевых искажений:

$$oc = f \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha^0}{2}; \quad (24)$$

C – точка на местности, соответствующая точке нулевых искажений;

n – точка надира:

$$on = f \cdot \operatorname{tg} \alpha^0; \quad (25)$$

N – точка на местности, соответствующая точке надира;

a – изображение точки A на плоскости наклонного снимка;

a^o – изображение точки A на горизонтальном снимке;

r_c – радиус-вектор от точки нулевых искажений до точки a ;

r_c^o – радиус-вектор от точки нулевых искажений до точки a^o ;

δr_{α^0} – смещение точки, вызванное углом наклона снимка:

$$\delta r_{\alpha^0} = r_c - r_c^o. \quad (26)$$

Рассмотрим рис. 12, на котором показан наклонный снимок со смещением точки a относительно ее положения на горизонтальном снимке.

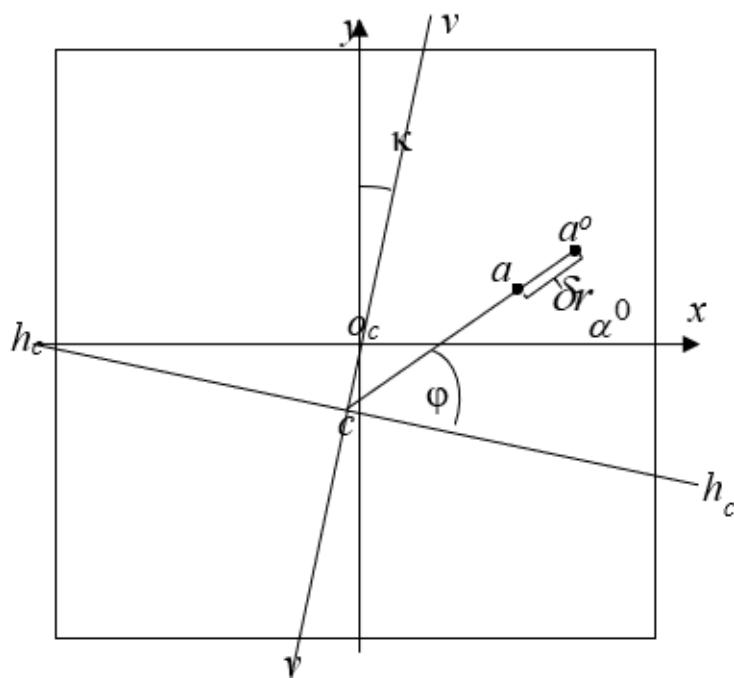


Рис. 12. Искажение, вызванное углом наклона снимка

На рис. 12:

$xO_c y$ – система координат снимка;

vv – главная вертикаль снимка;

κ – угол разворота снимка;

hh_c – линия нулевых искажений на снимке, проходящая через точку нулевых искажений c ;

φ – угол в плоскости снимка между линией нулевых искажений и радиусом-вектором точки.

Формула определения смещения точки, вызванного углом наклона снимка, выглядит следующим образом:

$$\delta r_{\alpha^0} = -\frac{r_c^2 \cdot \sin \alpha^0 \cdot \sin \varphi}{f}. \quad (27)$$

Анализ формулы (27) показывает, что чем больше угол наклона снимка и чем дальше точка изображения объекта отстоит от точки нулевых искажений, тем больше будет смещение. На линии нулевых искажений смещения точек не будет, максимальное смещение будет наблю-

даться на главной вертикали.

Кроме того, направление смещения зависит от положения точки относительно линии нулевых искажений.

Влияние рельефа местности на смещение точек на снимке.

Рассмотрим влияние превышений точек местности на положение точек на горизонтальном снимке (рис. 13).

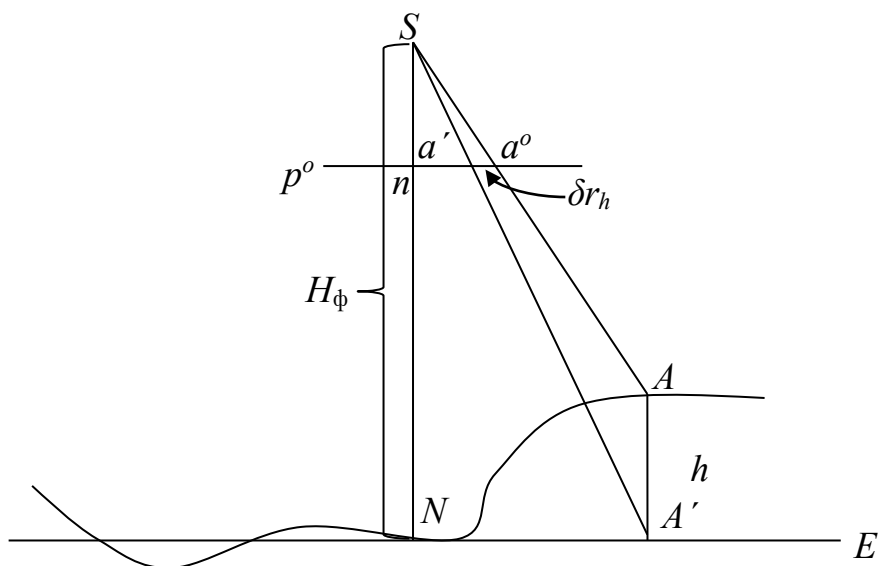


Рис. 13. Снимок местности с превышениями

На рис. 13:

A – точка местности;

S – точка фотографирования;

n – точка надира (в данном случае совмещена с главной точкой снимка o);

N – точка на местности, соответствующая точке надира;

a^o – изображение точки A на горизонтальном снимке;

H_ϕ – высота фотографирования;

E – предметная плоскость;

A' – ортогональная проекция точки A на предметную плоскость;

h – превышение

$$h_A = H_A - H_E; \quad (28)$$

a' – изображение точки A' на горизонтальном снимке;

r_n – радиус-вектор от точки надира до точки a^0 ;

r_n' – радиус-вектор от точки надира до точки a' ;

δr_h – смещение точки, вызванное влиянием рельефа местности:

$$\delta r_h = r_n - r_n'; \quad (29)$$

$$\delta r_h = \frac{r_n \cdot h_A}{H_\Phi}. \quad (30)$$

На рис. 14 показан горизонтальный снимок со смещением точки a^0 относительно ее положения на ортогональной проекции.

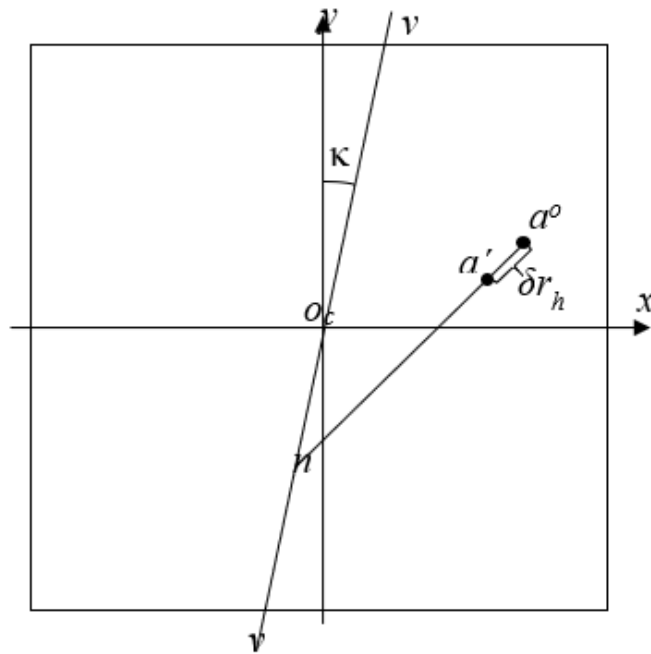


Рис. 14. Искажение изображения, вызванное превышением точки на местности

Таким образом, величина смещения точки, вызванного рельефом местности, будет прямо пропорциональна превышению и расстоянию точки изображения объекта от точки надира и обратно пропорциональна высоте фотографирования. Кроме того, отрезки, перпендикулярные пред-

метной плоскости, изображаются сходящимися в точке надира, а точки, лежащие выше или ниже предметной плоскости, на снимке смещаются по направлениям к точке n или от нее.

Влияние кривизны Земли на положение точек на снимке.

Рассмотрим влияние кривизны небесного тела, в частности Земли, на положение точек на снимке (рис. 15). Этот фактор имеет тем большее значение, чем выше находится носитель съемочной аппаратуры в момент съемки. Таким образом, при фотографировании с малых высот, например, с беспилотного летательного аппарата, эта ошибка может вообще не учитываться, а при космической съемке ею пренебрегать нельзя.

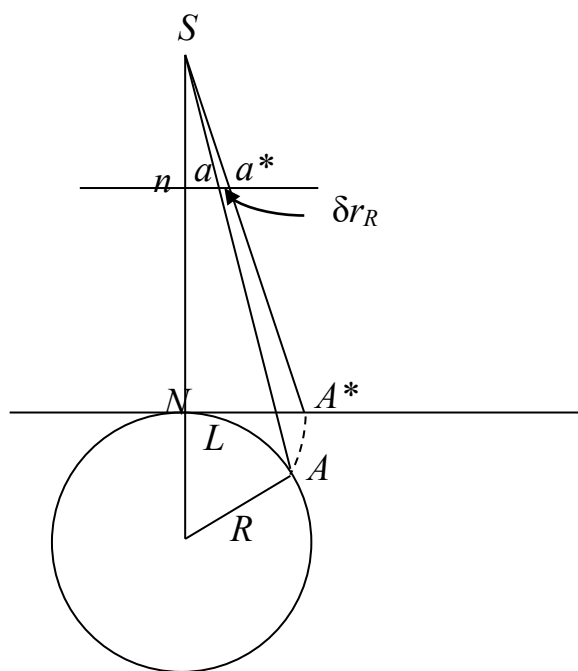


Рис. 15. Искажение изображения, вызванное кривизной Земли

На рис. 15:

R – радиус Земли;

n – точка надира;

N – точка на местности, соответствующая точке надира;

L – длина дуги от точки N до точки местности A ;

A^* – точка, отмеченная на горизонтальной плоскости E на расстоянии L от точки надира; $NA = NA^*$;

a^* – изображение точки A^* на горизонтальном снимке;

r – радиус-вектор от точки надира до точки a ;

r^* – радиус-вектор от точки надира до точки a^* ;

δr_R – смещение точки вызванное влиянием кривизны Земли:

$$\delta r_R = r - r^*; \quad (31)$$

$$\delta r_h = \frac{r^3 \cdot H_\Phi}{2R \cdot f^2}. \quad (32)$$

Таким образом, чем больше высота фотографирования и расстояние точки от точки надира и меньше радиус небесного тела, тем ошибка, вызванная его кривизной, больше.

1.8. Назначение и методы трансформирования снимков.

Цифровое трансформирование снимков

Сущность и виды трансформирования.

Классическое трансформирование снимков – это преобразование наклонного снимка произвольного масштаба в горизонтальный снимок заданного масштаба.

Как известно, снимок – это центральная проекция местности, а топографическая карта – ортогональная. Горизонтальный снимок плоской местности соответствует ортогональной проекции, т. е. проекции ограниченного участка топографической карты. В связи с этим, если преобразовать наклонный снимок в горизонтальный снимок заданного масштаба, то положение контуров на снимке будет соответствовать положению контуров на топографической карте соответствующего масштаба.

Методы трансформирования снимков:

- графическое трансформирование;
- аналитическое трансформирование;
- фотомеханическое трансформирование;
- ортофототрансформирование;
- цифровое трансформирование.

Графическое трансформирование осуществляется путем графических построений на аналоговом снимке и в данном пособии не рассматривается.

Аналитическое трансформирование.

Выведем формулу вычисления координат точек местности для горизонтального снимка. Для этого воспользуемся формулами (16) прямой связи между координатами точек местности и снимка. Если снимок горизонтальный, то $\alpha = \omega = \kappa = 0^\circ$, следовательно, в соответствии с формулами (7) направляющие косинусы $a_1 = b_2 = c_3 = 1$, $a_2 = a_3 = b_1 = b_3 = c_1 = c_2 = 0$. Для упрощения вывода формул поставим условие, что $x_o = y_o = 0$.

Подставим данные значения в формулы (16) и получим:

$$\left. \begin{aligned} (X - X_S) &= (Z - Z_S) \cdot \frac{x^o}{-f} \\ (Y - Y_S) &= (Z - Z_S) \cdot \frac{y^o}{-f} \end{aligned} \right\}, \quad (33)$$

где x^o и y^o – координаты точки на горизонтальном снимке.

Так как левые части уравнений (16) и (31) равны, приравняем их правые части и решим относительно x^o и y^o :

$$\left. \begin{aligned} x_1^o &= -f \frac{a_1(x_1 - x_o) + a_2(y_1 - y_o) - a_3 f}{c_1(x_1 - x_o) + c_2(y_1 - y_o) - c_3 f} \\ y_1^o &= -f \frac{b_1(x_1 - x_o) + b_2(y_1 - y_o) - b_3 f}{c_1(x_1 - x_o) + c_2(y_1 - y_o) - c_3 f} \end{aligned} \right\}. \quad (34)$$

Эти формулы выражают зависимость между координатами соответственных точек на горизонтальном и наклонном снимках. Аналитический способ трансформирования снимков используется при построении фототриангуляционных сетей при помощи специального программного обеспечения.

Фотомеханическое трансформирование.

До начала ХХІ в. для трансформирования аналоговых снимков использовался оптико-механический метод трансформирования, для этого применялись специальные приборы – *фототрансформаторы*. Однако в настоящее время они не применяются, а используются только методы цифрового трансформирования снимков.

Цифровое трансформирование.

В настоящее время наиболее перспективными являются цифровые методы обработки информации. Преимуществом цифрового трансформирования является то, что изображение можно преобразовать в любую форму, если его можно выразить математически.

Сначала введем понятие цифрового изображения и выясним, чем оно принципиально отличается от аналогового снимка.

Цифровое изображение – это матрица чисел, каждый элемент которой соответствует яркости элемента исходного изображения. Исходным изображением может быть снимок (аэрофотоснимок), изображение объекта или пространства на матрице ПЗС съемочного устройства; изображение, полученное путем сканирования пространства объектов, и т. д.:

$$P_{mn} = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdot & P_{1n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & P_{ij} & \cdot \\ P_{m1} & P_{m2} & \cdot & P_{mn} \end{pmatrix}, \quad (35)$$

где P_{mn} – цифровое изображение;

m – количество строк;

n – количество столбцов;

p_{ij} – яркость пикселя, находящегося в i -й строке и j -м столбце матрицы.

Для выполнения трансформирования снимков необходимо выполнить две операции:

- вычислить координаты точек исходного изображения в системе координат трансформированного изображения, т. е. совершить переход $xу \Rightarrow x^o y^o$;

- присвоить элементу трансформированного изображения $P_{x^o y^o}$ яркость элемента исходного изображения с координатами P_{xy} .

Цифровое трансформирование снимков заключается в преобразовании элементов матрицы исходного цифрового изображения таким образом, чтобы положение элемента в матрице преобразованного изображения соответствовало положению элемента в заданной проекции.

Существует два основных метода вычисления координат при трансформировании снимков, которые соответственно называются прямым

и обратным трансформированием.

При *прямом трансформировании* для каждой точки исходного снимка вычисляют координаты элемента на горизонтальном снимке в соответствии с формулами аналитического трансформирования (34).

После вычисления координаты округляются до целых значений пикселя и соответствующему элементу $p_{x^o y^o}$ присваивается значение яркости элемента p_{xy} .

На рис. 16 показан принцип прямого трансформирования.

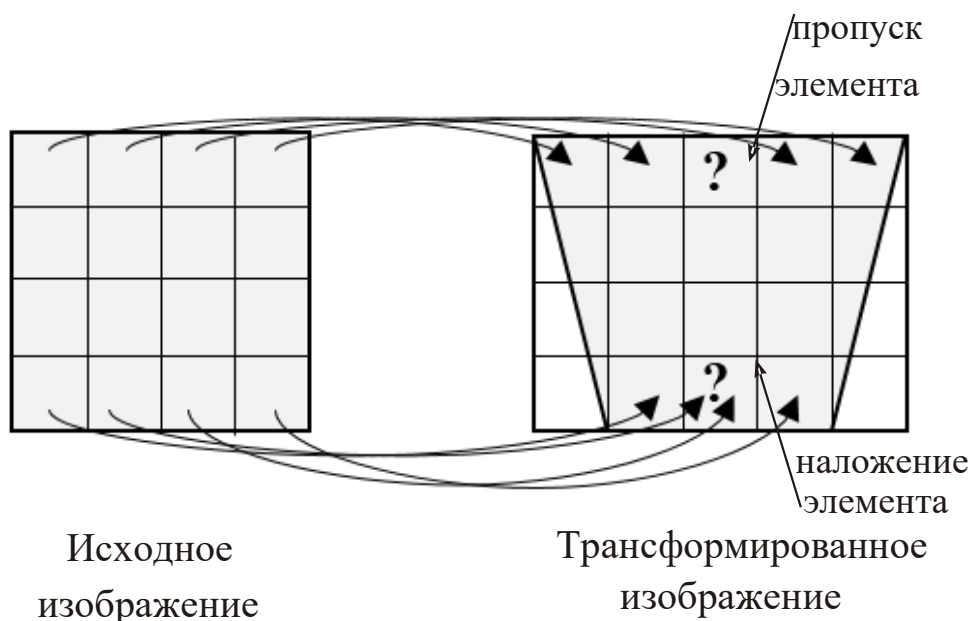


Рис. 16. Прямое трансформирование

Анализ формул (34) и рис. 16 показывает, что при прямом трансформировании возможны наложения и пропуски элементов, вызванные округлением координат. Поэтому при выполнении прямого трансформирования необходимо осуществить интерполяцию яркостей для определения того, какую яркость нужно присвоить пропущенному элементу или элементу, к которому относится несколько элементов исходного изображения.

Обратное трансформирование выполняется путем вычисления для элементов трансформированного изображения $p_{x^o y^o}$ с координатами $x^o y^o$ соответствующего элемента исходного изображения p_{xy} с координатами x, y , и элементу $p_{x^o y^o}$ присваивается значение яркости элемента p_{xy} .

Вычисление координат точки на исходном снимке выполняется по формулам:

$$\left. \begin{aligned} x &= x_0 - f \frac{a_1 x^0 + b_1 y^0 - c_1 f}{a_3 x^0 + b_3 y^0 - c_3 f} \\ y &= y_0 - f \frac{b_1 x^0 + b_2 y^0 - c_2 f}{a_3 x^0 + b_3 y^0 - c_3 f} \end{aligned} \right\}. \quad (36)$$

На рис. 17 показан принцип обратного трансформирования.

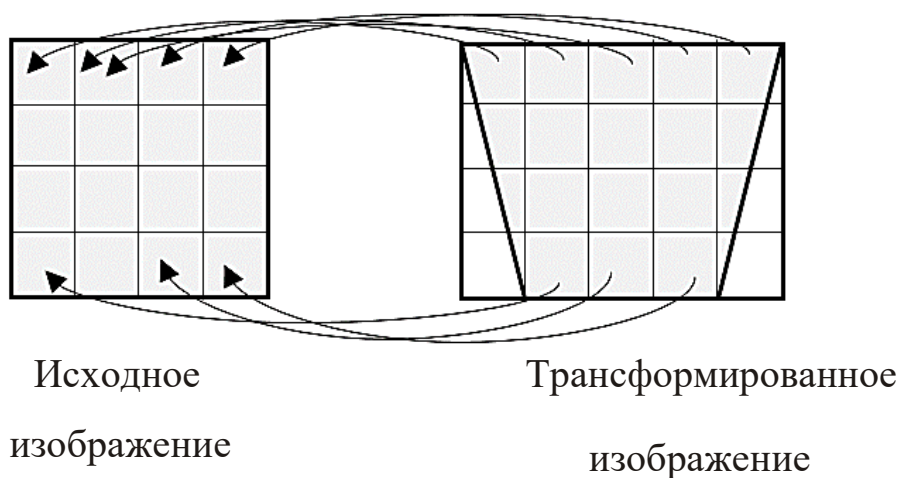


Рис. 17. Обратное трансформирование

Из рис. 17 ясно, что в этом случае не будет ни пропусков, ни наложения. А отсутствие обращения (либо неоднократное обращение) к элементу исходного изображения не является критичным, как вызвано очевидной деформацией трансформированного снимка.

1.9. Фотосхемы и фотопланы. Создание фотопланов по фотографическим и цифровым снимкам.

Оценка точности фотоплана

При изучении обширных территорий разрозненные снимки соединяются в фотосхемы, фотопланы и фотокарты, которые используют в качестве картографической основы (фотоосновы, дистанционной основы) при

тематическом дешифрировании и картографировании.

Перед началом работы с комплектом аэрофотоснимков обязательно собирают так называемый накидной монтаж, в котором контактные отпечатки совмещены друг с другом по перекрывающимся частям как вдоль одного маршрута, так и между соседними маршрутами. Его используют для оценки качества аэрофотосъемочных работ и возможности использования полученных снимков для фотограмметрической обработки.

Фотосхемой называется фотографическое изображение местности, составленное из рабочих площадей плановых аэрофотоснимков. На фотосхеме более детально, чем на плане, отображаются объекты местности и отдельные элементы рельефа (овраги, промоины и т. д.). Фотосхемы готовят для районов с равнинным рельефом. Фотосхему – одномаршрутную и многомаршрутную – можно рассматривать как схематический приближенный план местности, однако ее точность ниже точности плана и зависит от углов наклона снимков, рельефа местности, колебаний высоты полета и погрешностей монтажа снимков. Масштаб фотосхемы можно определить по карте или по координатам изобразившихся пунктов геодезической сети.

Точные фотопланы монтируют из рабочих площадей трансформированных аэроснимков. Проекция горизонтального аэроснимка плоской местности по своим измерительным свойствам близка к ортогональной, поэтому смонтированные из снимков фотопланы соответствуют топографическим картам того же масштаба.

У фотопланов есть одно большое преимущество перед картами, а именно большая информативность. Известно, что на аэроснимке изображается все, что имеется на местности (кроме объектов, размеры которых в масштабе снимка менее 0,1 мм), в то время как на карте отображаются только основные объекты, которые предписано отображать в соответствии с действующими инструкциями.

Для территорий с большими превышениями используют ортофотоснимки, из которых монтируют ортофотопланы.

При компьютерном изготовлении фотопланов по аэро- или космическим снимкам все они вначале трансформируются в одну и ту же проекцию. Затем проводится монтаж единого изображения по так называемым линиям сшивки путем безразрывной стыковки снимков. Компьютер предоставляет большие возможности для согласования яркостей и контрастности соседних снимков. Для этого получают гистограммы яркостей перекрывающихся участков

снимков и подбирают кривые воспроизведения яркостей, позволяющие сделать изображения на этих снимках идентичными.

Таким образом, фотоплан – это самостоятельный фотограмметрический продукт, позволяющий создавать плановую основу картографического материала. Точность фотоплана неизменна, и при правильно выполненной стандартной технологии соответствует карте заданного масштаба.

В зависимости от целевого назначения различают фотопланы топографические и специальные. Первые составляют в общегосударственной разграфке с соблюдением инструкций и наставлений по топографическим съемкам. Специальные фотопланы составляют, как правило, в произвольной разграфке, и они должны удовлетворять требованиям ведомственных инструкций. В отличие от графического плана, фотопланы обладают большей наглядностью.

Контроль качества монтажа осуществляют по порезам.

Оценка точности производится по опорным точкам и контурам. Для этого измеряют величину расхождения δ_T по точкам и подсчитывают СКО.

$$m_T = \sqrt{\frac{\sum \delta_T^2}{n}}, \quad (37)$$

где n – число точек.

Затем измеряют расхождения по порезам (контурам) δ_k и подсчитывают СКО.

$$m_k = \sqrt{\frac{\sum \delta_k^2}{2k}}, \quad (38)$$

где k – число измерений.

Величины погрешностей в плановом положении опорных и контрольных точек не должны превышать в масштабе создаваемого фотоплана 0,5 мм в равнинных и всхолмленных районах и 0,7 мм – в горных.

Несовмещение контуров по линии соединения фрагментов не должно быть более 0,7 мм, а в горных районах – 1,0 мм.

Фотокарта – документ, сочетающий фотоплан с топографической картой. На фотокарте на основании фотоплана вычерчивают по условным знакам населенные пункты, дороги и другие элементы местности и проводят горизонтالي. В отличие от фотоплана фотокарта позволяет определить высоты точек местности.

2. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

2.1. Лабораторная работа № 1

Анализ одиночного снимка

Цель работы: закрепить теоретические знания, изучить основные свойства и искажения снимка.

Задача № 1

Формулировка задачи. Построить чертеж основных элементов центральной проекции для частных случаев:

- а) $\alpha_0 = 0^\circ$;
- б) $\alpha_0 = 90^\circ$.

Основные элементы:

- плоскости E, P, E', Q ;
- точки S, o, O, n, N, c, C, I ;
- линии $TT, VV, vv, ii, qq, hchc$.

Для выполнения этой задачи необходимо усвоить и проанализировать теоретические основы, изложенные в подразд. 1.7. Для обоих частных случаев необходимо либо графически отобразить указанные элементы, либо написать комментарии к чертежу, если элемент отобразить невозможно.

Например, один из комментариев для случая $\alpha_0 = 0^\circ$: « ...линия TT отсутствует, так как плоскость P параллельна плоскости E ... ».

Задача № 2

Формулировка задачи. Построить изображение объемной фигуры, принадлежащей плоскости E (задается преподавателем), на плоскости снимка P .

Правила построения точек, отрезков и вертикальных отрезков предметной плоскости на плоскости изображения:

– построение точки.

В качестве примера дана точка A . Для получения точки a на плоскости изображения надо провести проектирующий луч SA и вспомогательную линию, параллельную VV до пересечения с линией основания TT , а затем соединить ее с точкой схода I . Точка пересечения проектирующего луча SA и вспомогательной линии будет являться точкой a на изображении. Графически это представлено на рис. 18;

– построение отрезка MK , принадлежащего предметной плоскости E . Принцип построения аналогичен построению точек, что графически представлено на рис. 19;

– построение вертикального отрезка AD , принадлежащего предметной плоскости E . Для отображения вертикального отрезка сначала необходимо построить изображение точки основания, в данном случае a . Для отображения d необходимо провести проектирующий луч SD и вспомогательную линию, проходящую через точку надира n и точку основания a . Место пересечения указанных прямых дадут искомую точку d . Графически это представлено на рис. 20.

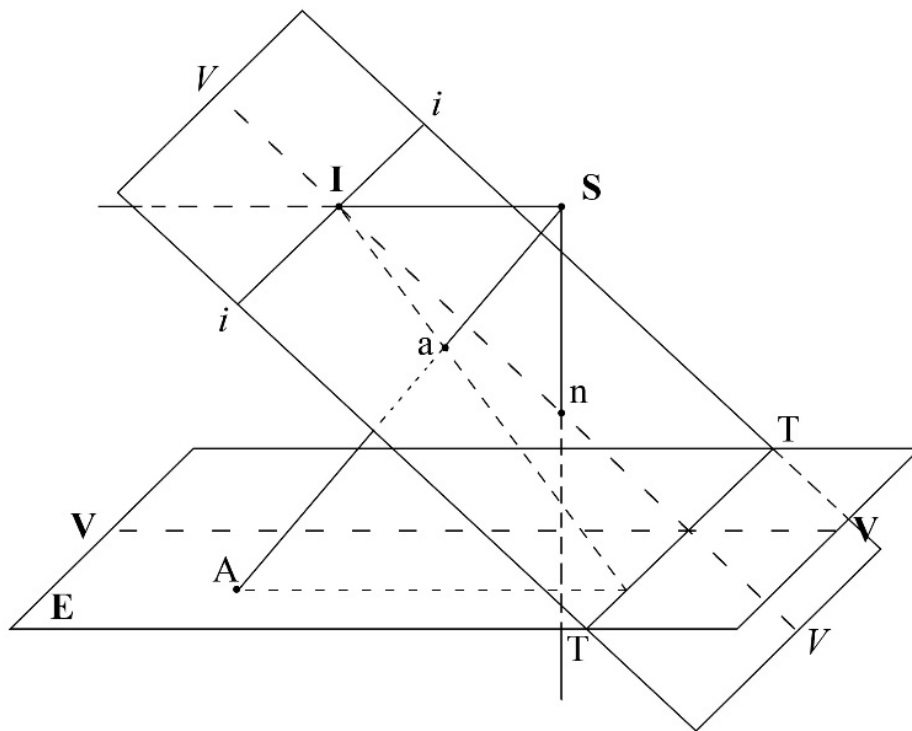


Рис. 18. Построение точки



Основные этапы выполнения работы.

На первом этапе работы необходимо построить заготовку, содержащую плоскости E и P , линии TT, VV, vv, ii , точки S, I, n (рис. 21).

Затем преподаватель указывает на предметной плоскости E объемную фигуру, которую необходимо перенести на плоскость снимка P , пользуясь вышеприведенными правилами построения точек и отрезков на картинной плоскости.

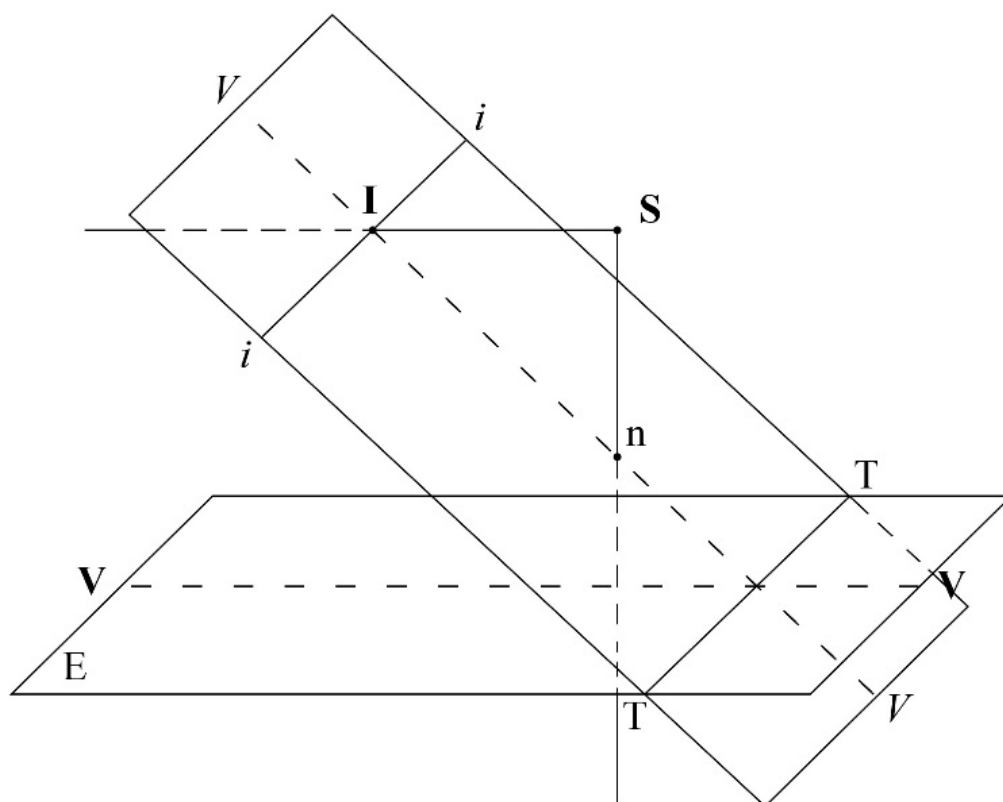


Рис. 21. Построение заготовки

Задача № 3

Формулировка задачи. Вычислить средний масштаб аэрофотоснимка.

Исходные данные и материалы: карта заданного масштаба и аэро-снимок на соответствующую местность. Пример исходных материалов приведен на рис. 22.



Рис. 22. Исходные материалы

Основные этапы выполнения работы.

На карте и снимке необходимо выбрать хорошо распознаваемые характерные точки местности, как на рис. 23, в соответствии с вариантом, на котором цифрами 1, 2, 3, 4 отмечены соответственные точки.



Рис. 23. Характерные точки

По карте необходимо определить координаты всех четырех точек и рассчитать расстояние между ними (1 и 3, 2 и 4) по формуле

$$L_{i,j} = \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2}. \quad (39)$$

Далее измеряется расстояние между точками 1 и 3, 2 и 4 на снимке (l_{1-3}, l_{2-4}).

Масштаб рассчитывается по формуле:

$$\frac{1}{m_{1-3}} = \frac{l_{1-3}}{L_{1-3}}; \quad \frac{1}{m_{2-4}} = \frac{l_{2-4}}{L_{2-4}}. \quad (40)$$

Средний масштаб вычисляется как среднее арифметическое из двух рассчитанных масштабов.

Реальное положение снимка, демонстрирующее нелинейное изменение масштаба относительно карты, показано на рис. 24 (в текущей работе обучающихся не выполняется, но наглядно демонстрирует необходимость трансформирования снимков).



Рис. 24. Геопривязанный снимок

Задача № 4

Формулировка задачи. Показать на аэрофотоснимке систему координат, заданные точки и следующие элементы центральной проекции: $o, c, n, I, h_c, h_c', vv, k$.

Исходные данные: координаты точек x, y , фокусное расстояние АФА f , угол наклона снимка α° и угол разворота снимка k (в соответствии с вариантом).

Основные этапы выполнения работы.

1. Построить изображение снимка 18×18 см, систему координат, главную точку $O(0; 0)$, как показано на рис. 25.

2. Нанести по заданным координатам точку $a(x; y)$, как показано на рис. 26.

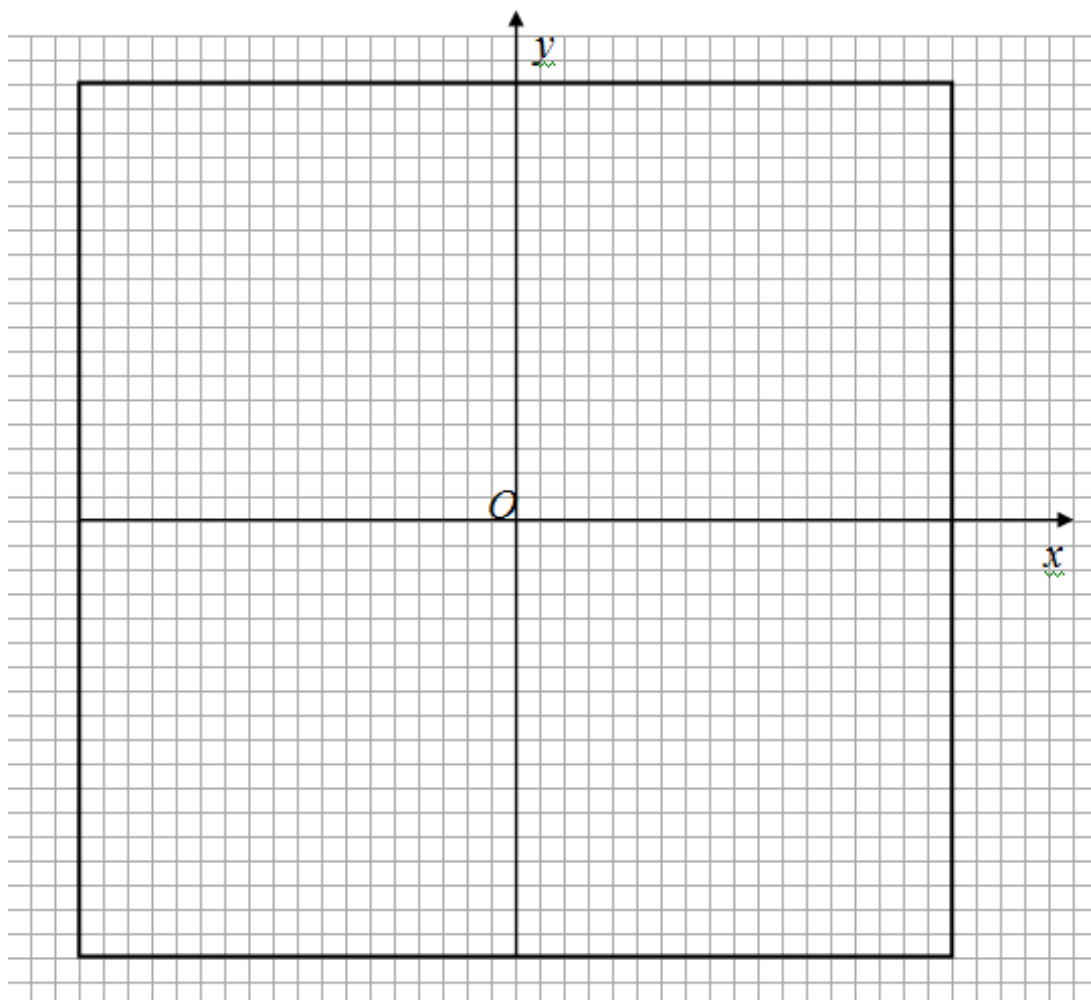


Рис. 25. Изображение снимка

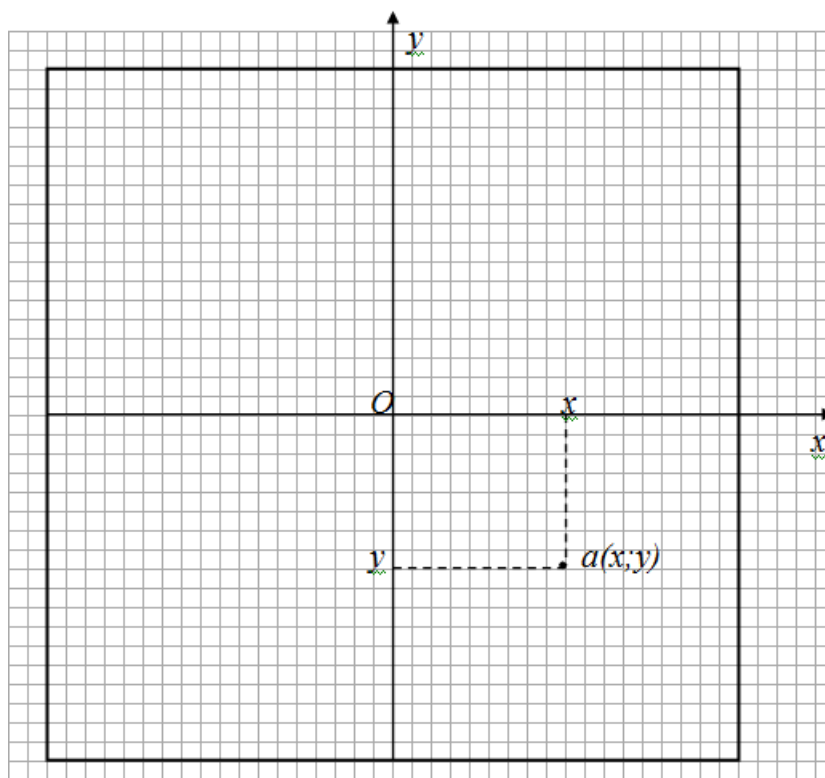


Рис. 26. Построение изображения точки

3. Построить главную вертикаль vv , отложив угол κ , как показано на рис. 27.

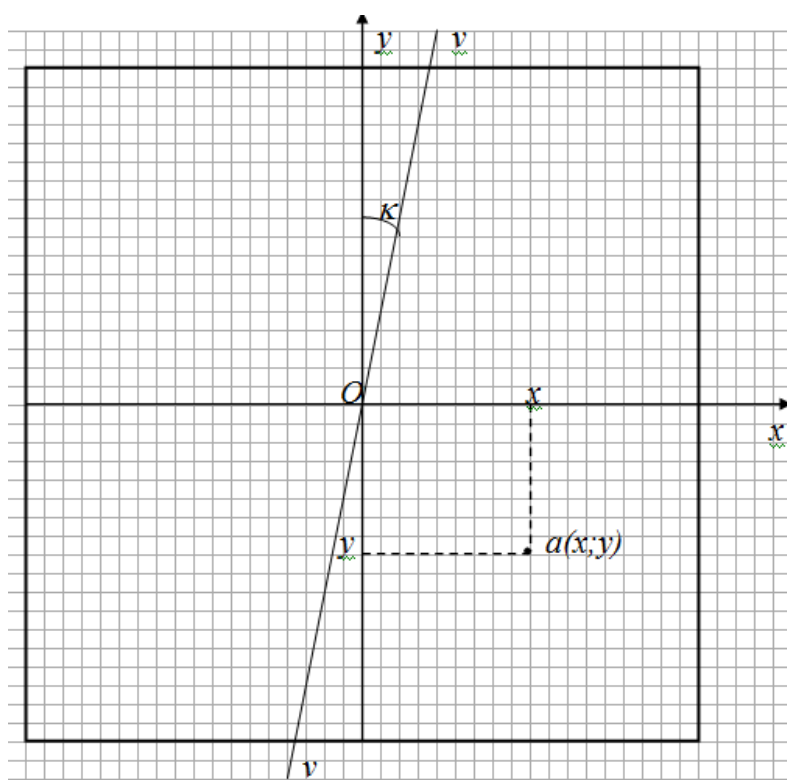


Рис. 27. Построение главной вертикали

4. Построить согласно вычислениям по следующим формулам точку нулевых искажений c и точку надира n , как показано на рис. 28:

$$Oc = f \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha^0}{2}; \quad (41)$$

$$On = f \cdot \operatorname{tg} \alpha^0. \quad (42)$$

5. Построить линию нулевых искажений h_ch_c под прямым углом к vv через точку c , как показано на рис. 29.

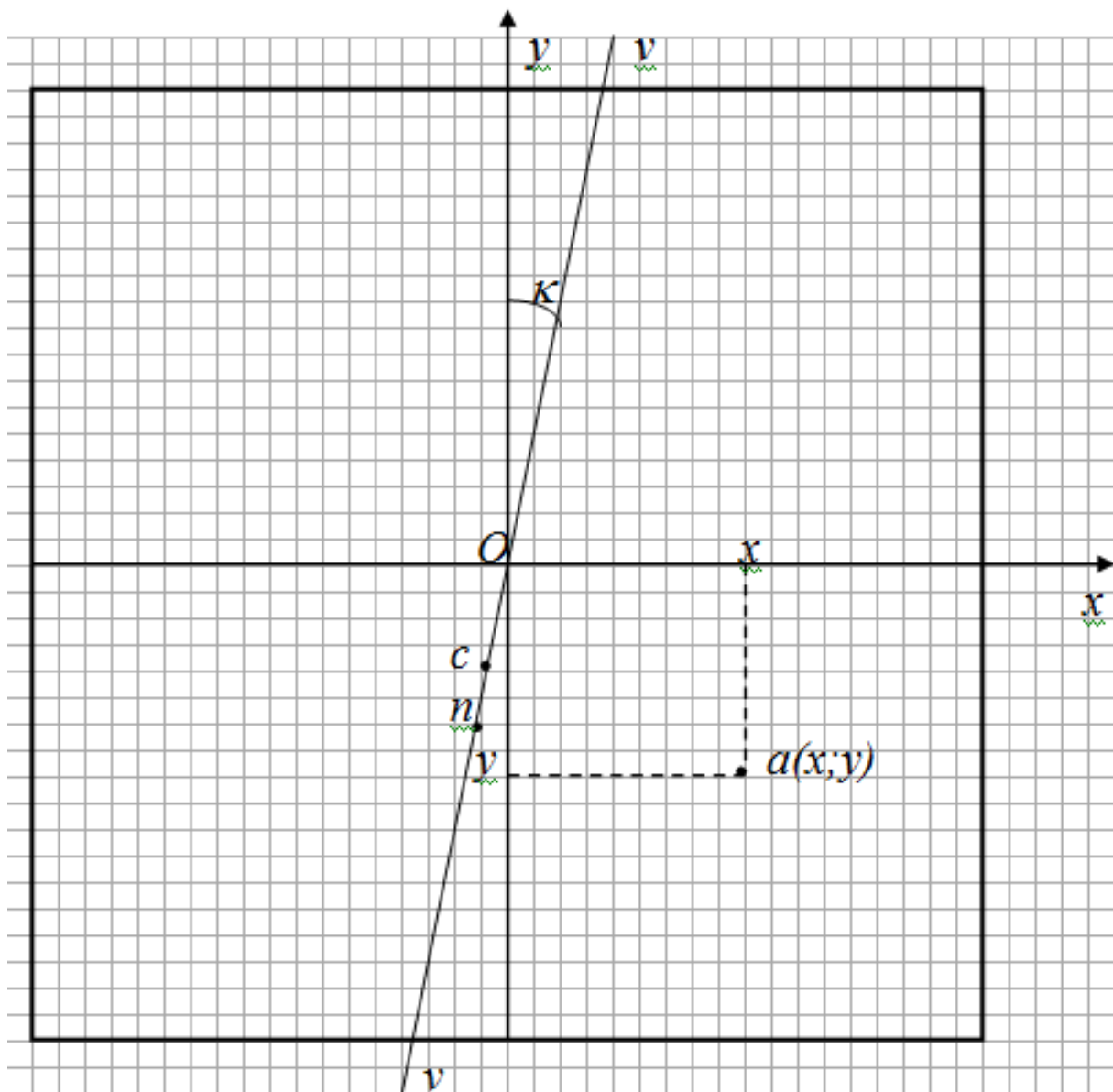


Рис. 28. Построение точек c и n

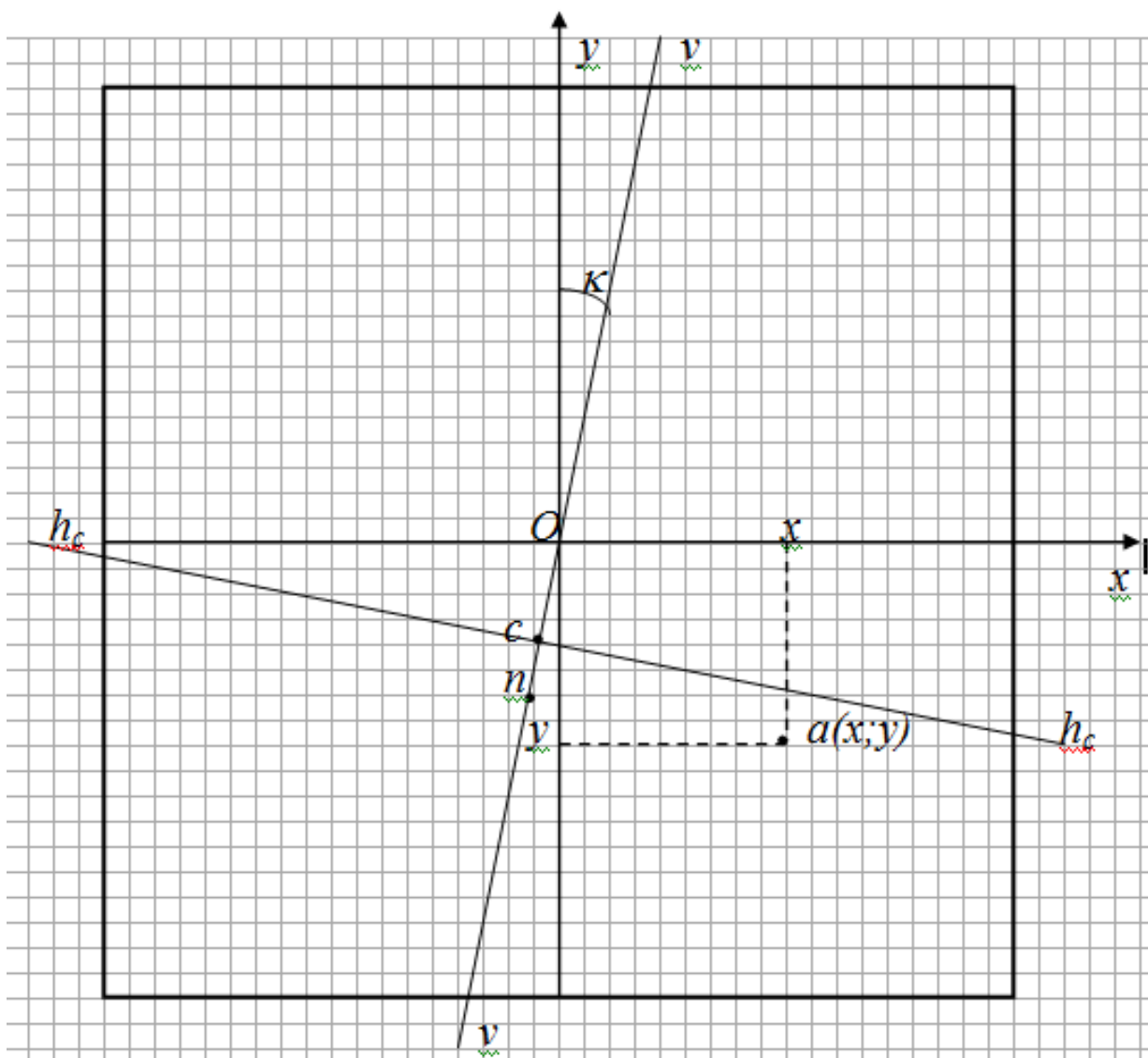


Рис. 29. Построение линий нулевых искажений

Задача № 5

Формулировка задачи. Вычислить смещение точек, вызванное рельефом местности.

Исходные данные: результат решения задачи № 4.

Основные этапы выполнения работы.

1. Отобразить и измерить радиус-вектор r_c точки a и угол φ (измеряется против часовой стрелки от положительного направления h_ch_c), как показано на рис. 30.

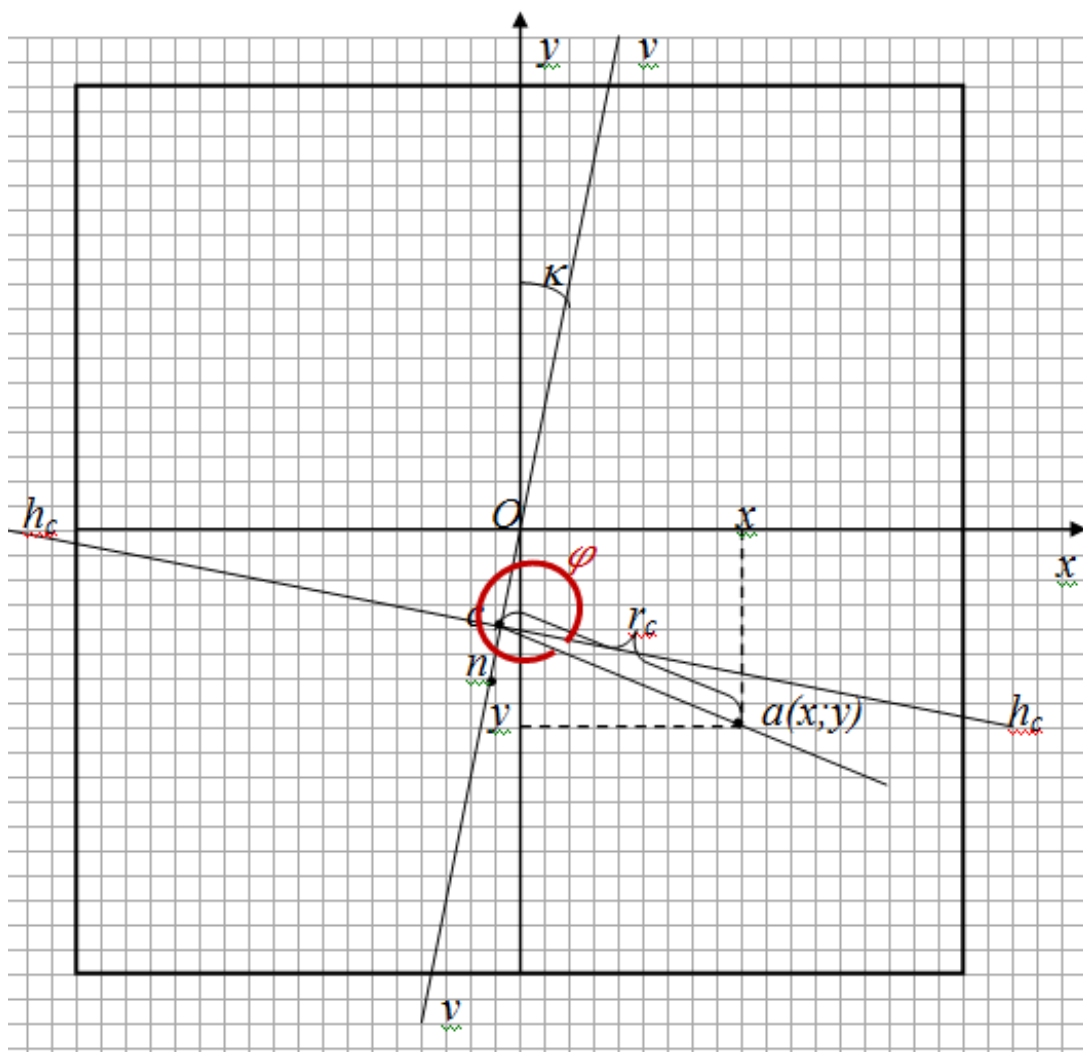


Рис. 30. Построение радиуса-вектора r_c

2. Вычислить поправку за угол наклона δr_{α}^0 :

$$\delta r_{\alpha}^0 = -\frac{r_c^2 \cdot \sin \alpha^0 \cdot \sin \varphi}{f}. \quad (43)$$

3. Вычислить длину вектора r_c^0 :

$$r_c^0 = r_c - \delta r_{\alpha}^0. \quad (44)$$

4. Отложить вектор r_c^0 и изобразить на снимке точку a^0 – точку, исправленную за угол наклона снимка, как показано на рис. 31.

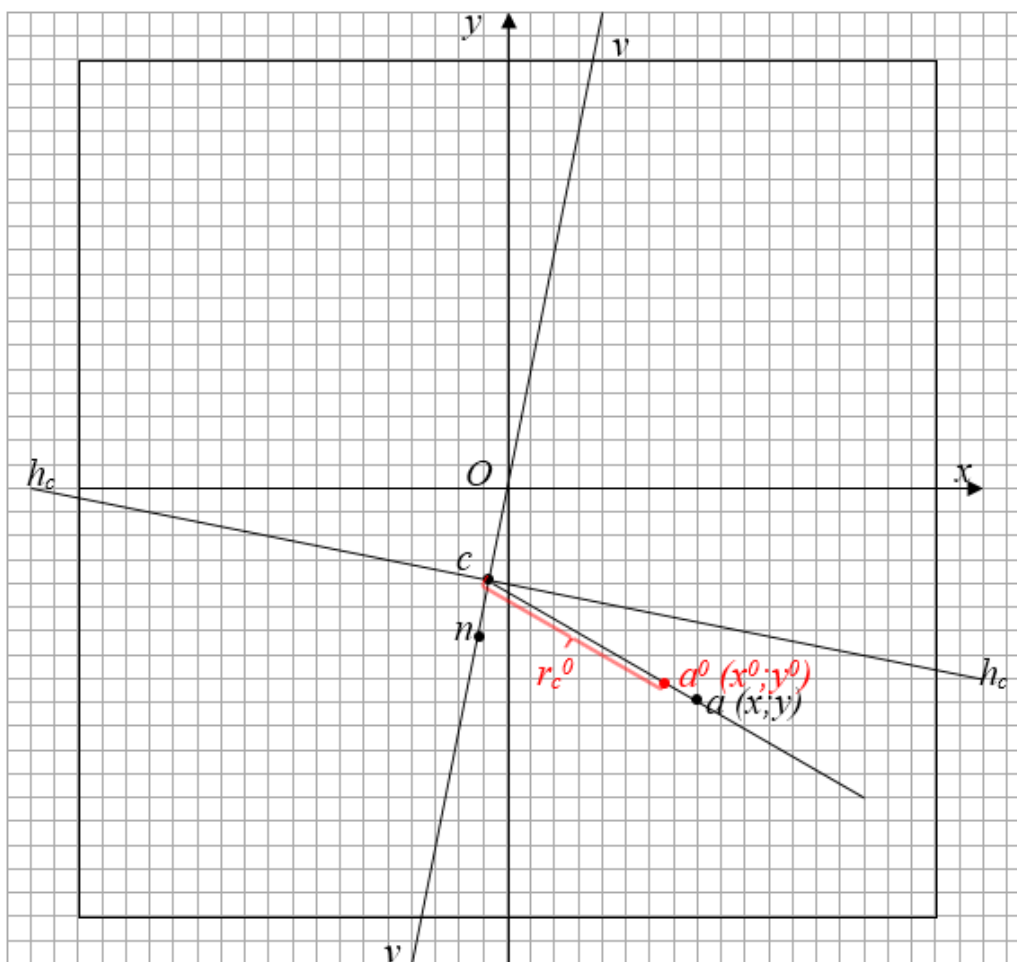


Рис. 31. Результат решения задачи № 5

Задача № 6

Формулировка задачи. Вычислить смещение точек, вызванное углом наклона снимка.

Исходные данные: результат решения задачи № 5, превышение точки местности h_A , средняя высота фотографирования H_{cp} (в соответствии с вариантом).

Основные этапы выполнения работы.

1. Вычислить превышение точки A :

$$h_A = H_A - H_{cp}. \quad (45)$$

2. Отобразить и измерить радиус-вектор $r_n r_n$ точки a^0 , как показано на рис. 32.

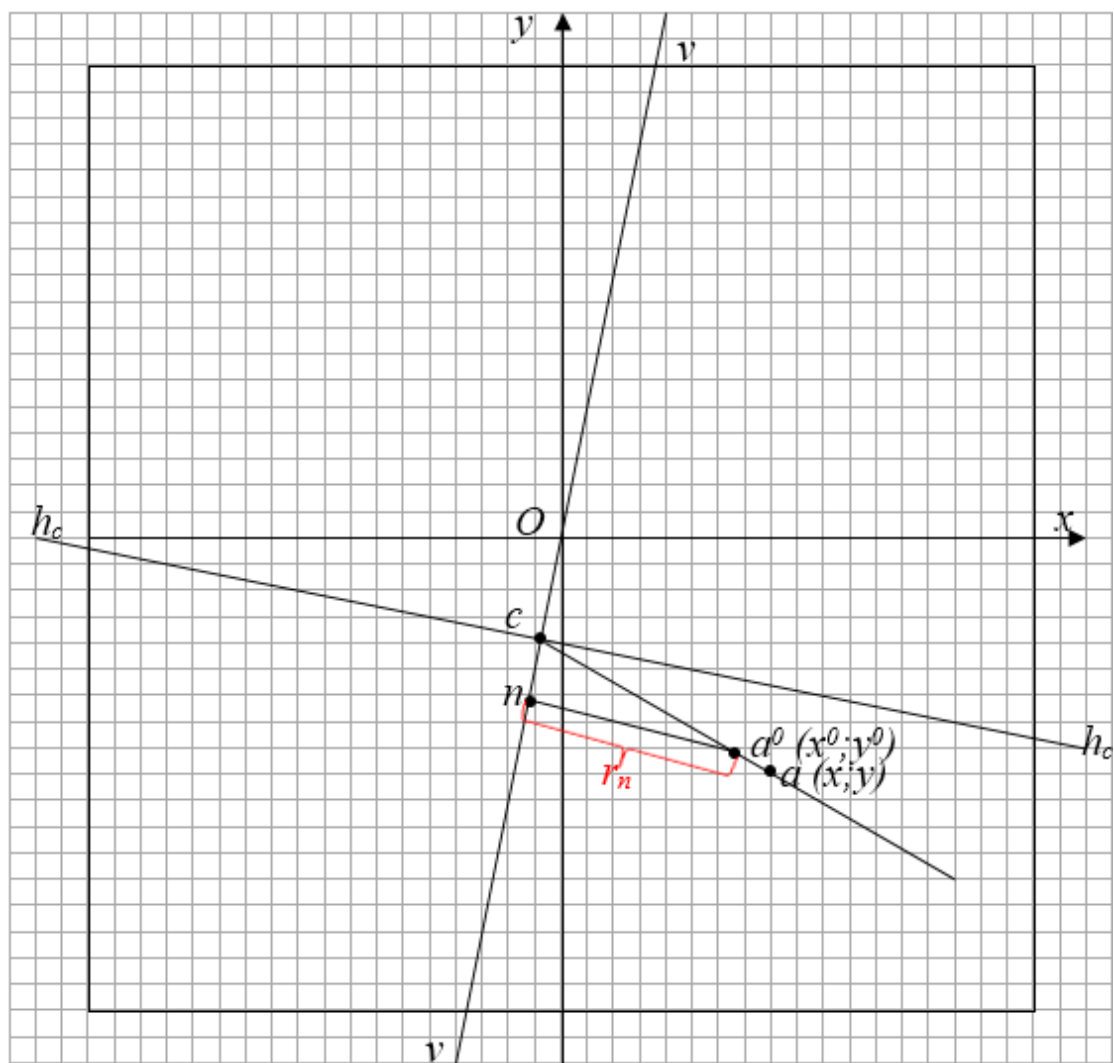


Рис. 32. Построение радиуса-вектора r_n

3. Вычислить поправку за рельеф местности δr_h :

$$\delta r_h = \frac{r_n \cdot h_A}{H_\phi}. \quad (46)$$

4. Вычислить длину вектора r'_n :

$$r'_n = r_n - \delta r_h. \quad (47)$$

5. Отложить вектор r'_n и изобразить на снимке точку a' – точку, исправленную за рельеф местности, как показано на рис. 33.



Рис. 34. Исходный снимок

Основные этапы выполнения работы.

На первом этапе необходимо определить положение точки n – точки надира.

Для этого проводятся продолжения нескольких вертикальных отрезков, отображенных на снимке (ребра зданий, столбов ЛЭП и т. д.), точка надира будет находиться в месте пересечения отрезков. Пример показан на рис. 35.

Далее необходимо измерить отрезок от угла основания (фундамента) дома до угла крыши δr_n и расстояние от точки надира до угла крыши r_n , как показано на рис. 36.

Измерения проводятся дважды для разных сторон здания.

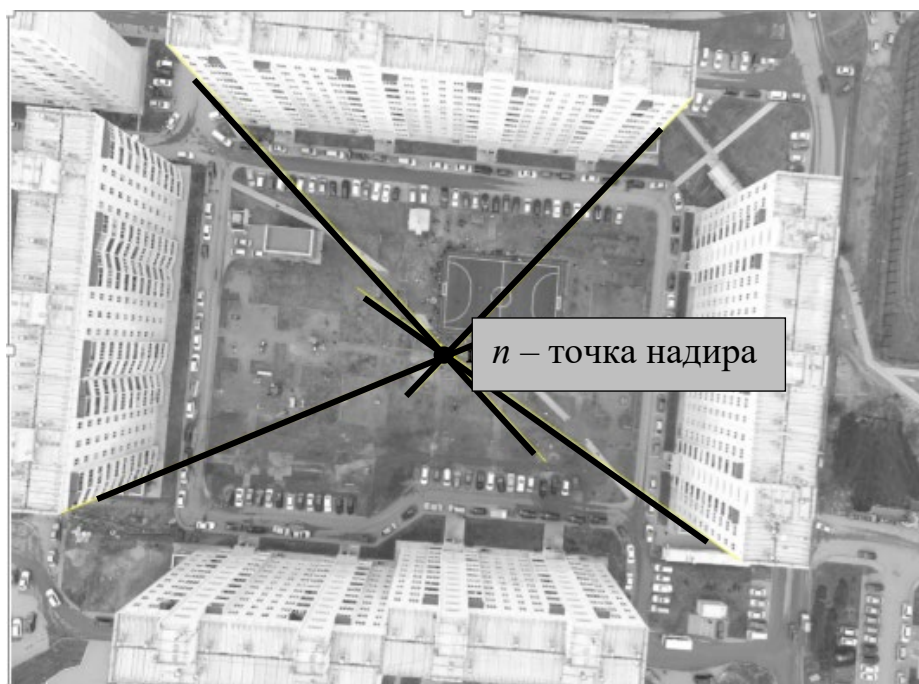


Рис. 35. Продолжения вертикальных отрезков

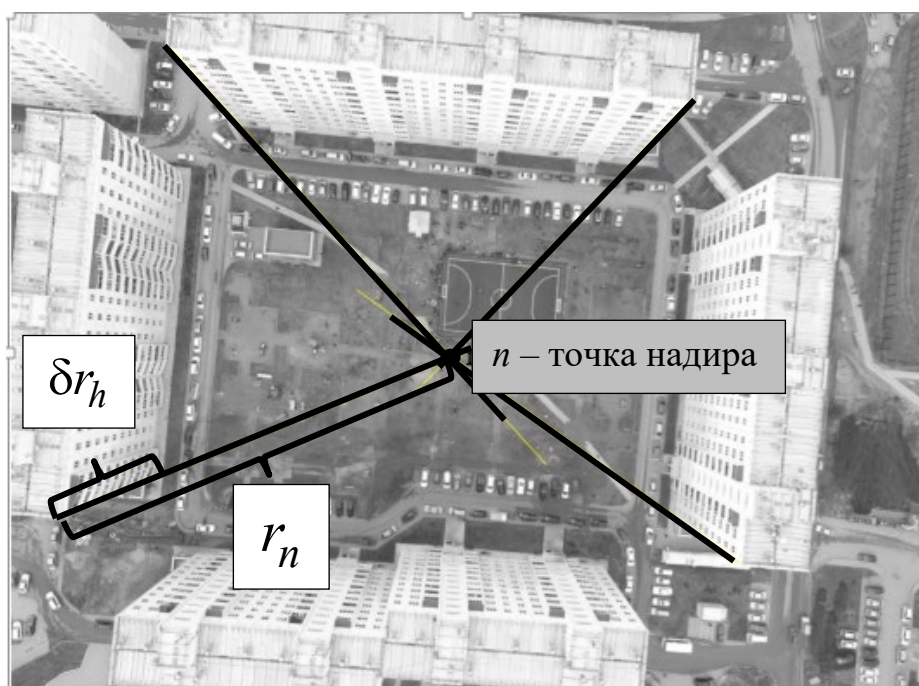


Рис. 36. Измерения

Высота вертикального отрезка по его изображению на снимке вычисляется из формулы смещения точек за счет влияния рельефа (превышения):

$$\delta r_h = \frac{r_n h}{H}. \quad (48)$$

Высота аэросъемки находится из формулы

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H}. \quad (49)$$

Выразим h (высоту вертикального отрезка):

$$h = \frac{\delta r_h H}{r_n}. \quad (50)$$

По результатам двойных вычислений находится средняя высота здания $h_{\text{ср}}$.

Контрольные вопросы

1. Какие системы координат применяются в фотограмметрии?
2. Какие элементы центральной проекции (точки, линии, плоскости) можно показать на чертеже?
3. Какими свойствами характеризуются точки I , c , n ?
4. Как вывести формулу смещения точек на снимке, вызванных углом его наклона?
5. Как вывести формулу смещения точек на снимке, вызванных рельефом местности?
6. Как вывести формулу смещения точек на снимке, вызванных кривизной небесного тела?
7. Что такое масштаб снимка? Формула, методика определения среднего масштаба.

2.2. Лабораторная работа № 2

Определение элементов внешнего ориентирования снимка.

Трансформирование снимка

Цель работы: освоить на практике применение теоретических основ определения элементов внешнего ориентирования снимка по опорным точкам и вычислить элементы внешнего ориентирования реального снимка, выполнить трансформирование снимка и построить лист фотоплана.

Основные этапы выполнения лабораторной работы

На первом этапе работы необходимо создать новую папку в папке «Student» на указанном преподавателем диске (в примере будет использоваться диск C). В названии папки указать фамилию и группу обучающегося. *Внимание! В эту папку ничего не сохранять и не копировать самостоятельно! PHOTOMOD сформирует там файлы проекта.*

Запустить программу **PHOTOMOD** . Прежде чем начать создание проекта в программе **PHOTOMOD**, необходимо создать профиль для размещения ресурсов. Для создания профиля необходимо вызвать **Панель управления**, нажав на кнопку  в появившемся окне **Управление проектами** (рис. 37).

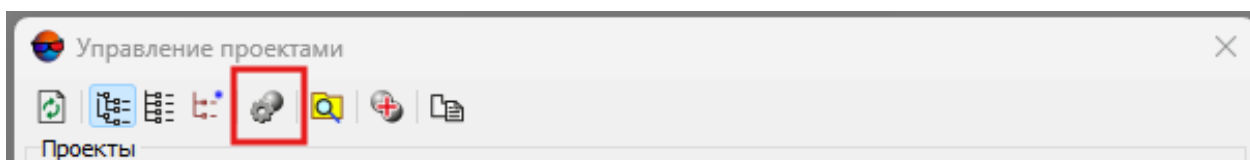


Рис. 37. Вызов контрольной панели

В открывшемся окне панели управления (рис. 38) необходимо создать новый профиль. В названии профиля использовать фамилию обучающегося.

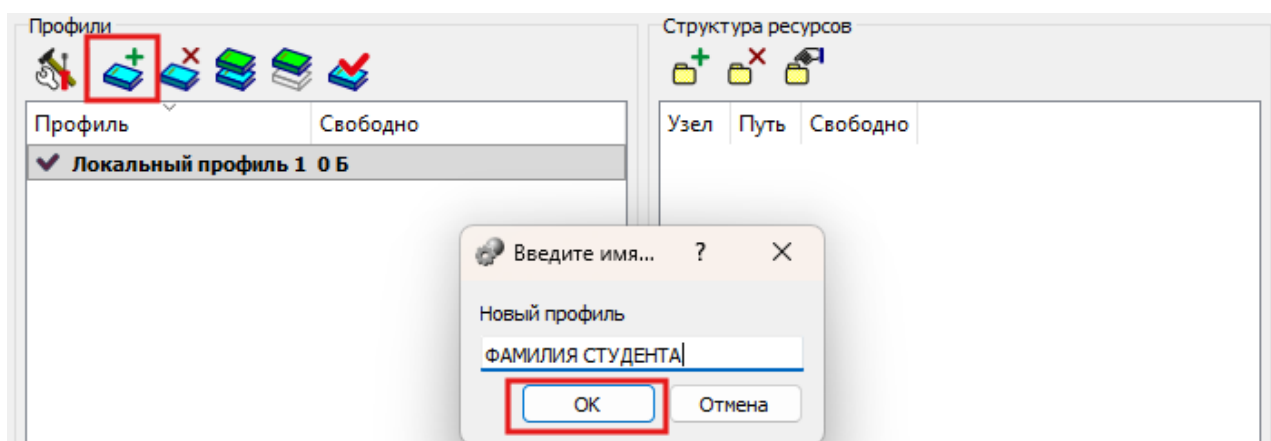


Рис. 38. Создание профиля

В появившемся окне нажать на кнопку выбора папки , из появившегося списка выбрать ранее созданную папку, нажать на **ОК**.

Сделать новый профиль активным можно двойным нажатием левой клавиши мыши по нему либо при помощи специальной кнопки на панели. Убедитесь, что активен нужный профиль и подключена правильная папка (рис. 39).

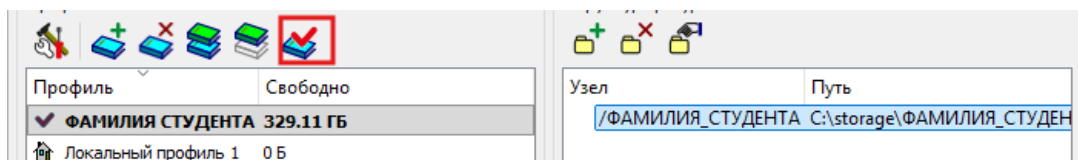


Рис. 39. Активация профиля и подключение папки

После создания и активации нового профиля программа выдаст предупреждение о перезапуске. Нажмите на **ОК**.

Откройте окно **Новый проект**. Это можно сделать с помощью кнопки  Создать окна **Управление проектами**, которое открывается по умолчанию при запуске **РНТОМОД** или по команде меню **Проект / Новый**.

Введите имя нового проекта «**Одиночный снимок_Фамилия студента**» в поле **Имя**.

Раздел **Описание** предусмотрен для любой пользовательской информации, например, краткой характеристики проекта и его особенностей.

В разделе **Тип** определите тип проекта – **Центральная проекция**.

В разделе **Дополнительные параметры** выберите **Пустой проект**.

Далее необходимо задать систему координат. В разделе **Система координат проекта** нажмите на кнопку **Выбрать**. Откроется список для выбора системы координат – **из БД – российская**.

Выберите систему координат **Местная правая** и нажмите на **ОК**. При этом поля раздела **Система координат** заполняются автоматически: указываются система координат и ее характеристики (ориентация осей и т. д.).

Установите опцию **Высота местности** и укажите приблизительный перепад высот (**min** и **max**) на местности, отображенной на ваших сним-

ках. Данные взять из каталога координат опорных точек в соответствии с вариантом.

Кликнуть на название своего профиля в разделе **Путь к проекту** и проверить правильность заполнения полей **Полный путь к проекту** (должен прописаться автоматически).

После нажатия на кнопку **ОК** по умолчанию откроется окно создания нового маршрута. Нажать на **ОК**.

Откроется окно **Редактор блока**. Также для открытия этого окна предусмотрена команда меню **Окна / Редактор блока** (дублируется кнопкой  основной панели PHOTOMOD).

Для добавления изображения в проект необходимо воспользоваться кнопкой **Добавить изображения из файлов**  на панели инструментов **Окна редактора блока**. В появившемся окне **Вопрос** нажмите на **Да**.

После этого откроется окно **Добавление изображений**. В окне **Папки** открыть папку с вариантом работы и выбрать изображение. Двойным кликом переместить его в нижнее окно. Проверить, что загрузка происходит **без сжатия**. Далее необходимо нажать на кнопку **Преобразовать**.

Если после загрузки изображение перевернуто (можно сравнить положение с файлом «Изображения опорных точек»), то, воспользовавшись кнопкой , можно развернуть его на необходимую величину.

Чтобы передвигать изображения по экрану (функция «Рука»), нужно зажать кнопку **Alt** и левую кнопку мыши.

Для масштабирования изображений можно воспользоваться инструментарием  окна **Схема блока**. Увеличивать или уменьшать изображения можно, используя клавиши * и / на клавиатуре соответственно.

На следующем этапе работы необходимо ввести параметры камеры через команду меню **Ориентирование / Управление камерами**.

В левой части окна **Изображения проекта** необходимо выбрать изображение, отмечая его галочкой слева. Правая часть окна **Камеры в проекте** представляет собой раздел для управления камерами проекта. Кнопка  **Создать новую камеру** открывает окно **Камера** для ввода паспортных данных камеры.

В появившемся окне необходимо ввести характеристики камеры (заполнять в соответствии с исходными материалами). После заполнения нажмите на **ОК**. Присвойте созданную камеру снимкам (рис. 40).

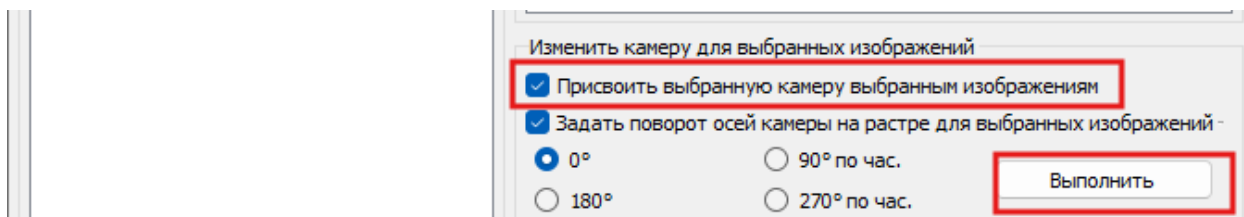


Рис. 40. Присвоение камеры

После этого выполняется этап измерения координатных меток и внутреннего ориентирования снимков.

Координатные метки в рассматриваемом случае находятся по углам снимка. Номер координатной метки маркируется соответствующим количеством штрихов рядом с меткой. У первой координатной метки должен быть один штрих, у второй – 2 штриха и т. д.

Для измерения координатных меток непосредственно в диалоговом окне **Управления камерами проекта** нажать на кнопку  (также для этого может быть использована команда меню **Ориентирование / Внутреннее ориентирование / Внутреннее ориентирование снимка**).

В открывшемся окне наведите курсором мыши на угол снимка. Найдите метку 1. Она может быть в любом углу снимка.

Для измерения координатных меток следует выбрать измеряемую метку в таблице меток. Затем выполнить точное позиционирование маркера на выбранную метку снимка (можно увеличить изображение метки инструментом **Лупа**  и использовать для точного наведения стрелки на клавиатуре). Наведите маркером (курсор мыши) на центр метки, фиксация измерения выполняется нажатием на кнопку  (рис. 41).

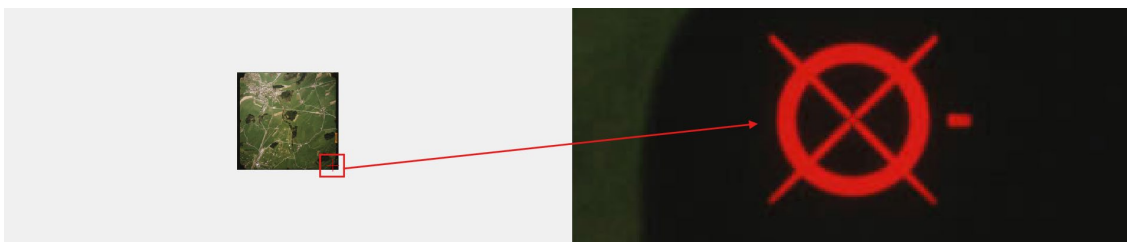


Рис. 41. Измерение координат координатных меток

После измерения в таблице меток появляются результаты измерения – координаты измеренной метки X_p и Y_p (в пикселах), а на изображении появляется желтый крестик. Для удаления измерения метки предусмотрена кнопка Удалить измерение.

После измерения двух первых меток выбор третьей и последующих меток происходит автоматически. При этом маркер позиционируется в окрестности следующей метки на снимке, необходимо только уточнить его положение.

После измерений необходимо выбрать **Тип преобразования / Аффинное** и нажать на кнопку Применить.

Для контроля точности и получения более подробной информации по результатам внутреннего ориентирования снимка нужно нажать на кнопку  для просмотра **Отчета по внутреннему ориентированию** снимков, ввести значение допуска 0,5 пикселя для среднеквадратичной ошибки (СКО) и нажать на **ОК**.

Появится окно **Отчет**, в котором желтым и красным цветами могут быть показаны ошибки выполнения внутреннего ориентирования. Если ошибки будут присутствовать, нужно нажать на **Редактировать**, выполнить переизмерение ошибочных координат метки и вновь открыть **Отчет**. Когда все ошибки будут исправлены, сохраните отчет в файл.

Закройте окно **Отчет**. Когда внутреннее ориентирование снимков выполнено, в окне **Изображения проекта** напротив снимка появится значок «+», нажать на **Заккрыть**.

Далее производится ввод координат опорных точек и распознавание

их на снимках. Работа с опорными точками проходит в два этапа – ввод/импорт координат опорных точек и измерение координат опорных точек на изображениях.

Ввод опорных точек осуществляется на закладке **Каталог опорных точек** окна **Точки триангуляции**, которую можно открыть:

- с помощью команды меню **Ориентирование | Каталог опорных точек**;
-  кнопки основной панели инструментов.

Координаты точек могут быть введены вручную или импортированы. В первом случае надо нажать на кнопку  и для каждой точки ввести имя опорной точки (поле **Имя**) и ее координаты X , Y , Z (поля X , Y , Z). Во втором случае надо нажать на кнопку .

Указать источник данных (файл в формате .txt) в соответствии с вариантом (5 опорных точек), в окне **Импорт каталога опорных точек** отметить выделенные на рис. 42 поля, нажать на **ОК**.

После загрузки координат опорных точек можно перейти на этап измерения их координат на изображении. Для измерения и редактирования координат опорных точек в меню выбрать **Ориентирование / Открыть выбранные изображения для измерений**.

В открывшемся окне нажать на кнопку **Каталог опорных точек** , в таблице измерений будут показаны загруженные ранее геодезические координаты опорных точек.

Для дальнейшей работы необходимо использовать дополнительные материалы. Откройте документ «Изображения опорных точек» из папки варианта и определите по имеющимся там изображениям положение выбранной опорной точки на снимке. В списке опорных точек выделите искомую. На рис. 42 показан пример поиска опорной точки № 3.

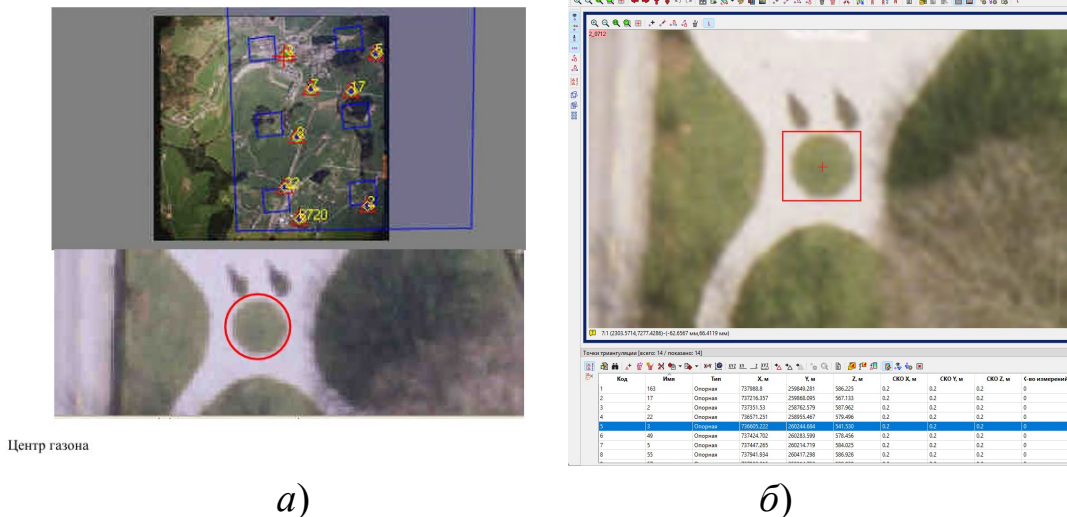


Рис. 42. Поиск опорной точки: а) исходные материалы; б) окно измерений

Обратите внимание, что опорные точки нужно искать по характерным объектам местности, так как на примерах могут быть использованы другие (соседние) снимки маршрутов.

Выполните измерение координат опорной точки. Укажите маркером ее точное местоположение на снимке. Нажмите на кнопку  **Переместить точку в положение маркера** в панели инструментов основного окна модуля **Измерение точек**.

После измерения координат опорной точки в окне списка на закладке **Точки триангуляции** появляется информация об измерении выбранной точки. Если опорная точка была распознана неверно, то для перемещения опорной точки выберите данную опорную точку в списке (двойным щелчком), укажите маркером новое местоположение для выбранной опорной точки, переместите с помощью кнопки  **Переместить точку в положение маркера**. Удаление измеренной опорной точки с изображений с помощью кнопки  приводит к удалению измерений, опорная точка с координатами остается в списке. Удаление опорной точки из списка с помощью кнопки  приводит к удалению точки полностью (удаление измерений на изображениях, удаление точки с координатами из списка).

Далее в **Каталоге опорных точек** окна **Точки триангуляции** выбирается следующая опорная точка и выполняются измерения анало-

гичным способом.

После того как все опорные точки будут распознаны на снимке и их координаты измерены (по вариантам их 5), в окне **Точки триангуляции** нужно нажать на **Применить** и **ОК**.

Для того чтобы задать приближенные значения элементов внешнего ориентирования и обеспечить корректную работу алгоритма вычисления истинных значений, в некоторых версиях **PHOTOMOD** (в 8.0 этого можно не делать) необходимо, используя кнопку , открыть окно **Накидного монтажа** и поставить режим **По связующим**. Нажать на **Применить**, **Заккрыть**.

После этого можно приступить к определению элементов внешнего ориентирования снимка. Внешнее ориентирование снимка выполняется в модуле **PHOTOMOD Solver**. Для запуска модуля надо выбрать **Ориентирование / Уравнивание блока** или нажать на кнопку  **Запуск модуля уравнивания** основной панели системы **PHOTOMOD**. На рис. 43 показана панель модуля уравнивания.



Рис. 43. Модуль уравнивания

На панели **Уравнивание блока** нажать на кнопку  **Редактировать параметры уравнивания и вид отчета**.

Для настройки параметров в появившемся окне **Параметры** для определения метода расчета начального приближения на вкладке **Уравнивание** выбрать **По схеме блока** и метод уравнивания **связок**.

На закладке **Отчет** для настройки отображения результатов уравнивания в отчете необходимо поставить галочки для указанных ниже параметров (рис. 44).

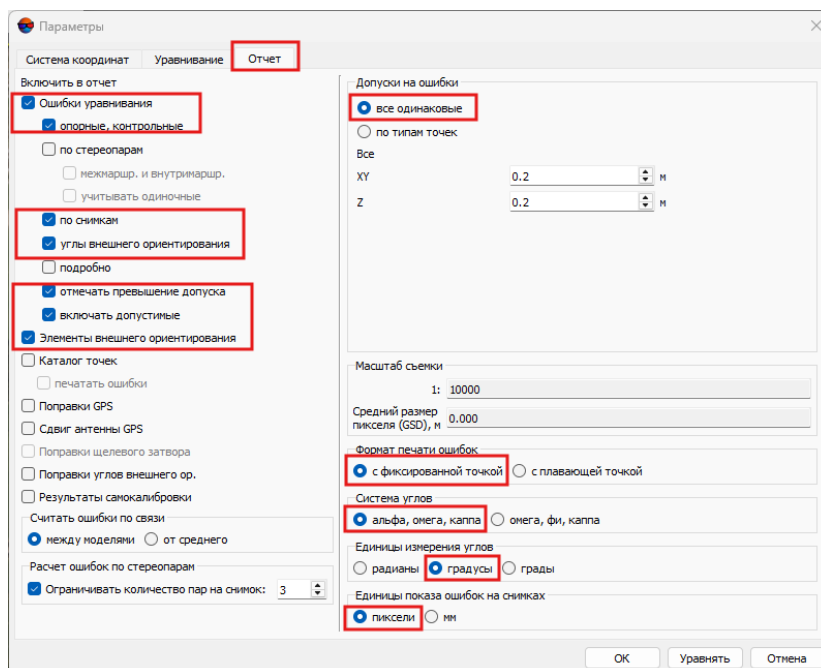


Рис. 44. Настройка отчета

В примере показан вариант одинакового допуска на ошибки для всех типов точек. При выполнении работы (выполняется при указании преподавателя) можно изменить значения для разных типов точек, выбрав опцию **По типам точек**.

Нажмите на **Уравнять** для закрытия окна **Параметры** и запуска процесса уравнивания.

Для просмотра результатов внешнего ориентирования снимка надо нажать на кнопку  **Создать отчет по уравниванию** (если есть необходимость, можно изменить ранее настроенные параметры отчета) и на кнопку **ОК** в появившемся окне, после чего появится соответствующее окно.

В отчете отображаются значения отклонений на опорных и контрольных точках, каталог координат точек, элементы внешнего ориентирования снимков, поправки GPS и поправки элементов внешнего ориентирования и т. д. в соответствии с ранее заданными **Параметрами** на закладке **Отчет**.

На следующем этапе работы необходимо оценить значения отклонений на опорных точках, для чего надо немного пролистать вниз (рис. 45).

Отчет				
Ошибки по опорным точкам				
N	X _{ср} -X _г	Y _{ср} -Y _г	Z _{ср} -Z _г	E _{ху} (метр)
допуск:	0.200	0.200	0.200	0.200
163	-0.135	0.097	-0.055	0.166
2	-0.154	-0.164	0.080	0.225*
49	0.199	-0.028	0.015	0.201*
66	-0.086	0.090	0.025	0.124
...	...	...	...	...

Рис. 45. Ошибки на опорных точках

Из примера видно, что на некоторых точках имеются отклонения более чем на 0,2 м (отмечены знаком *), указанных в допуске.

Для исправления ошибок необходимо закрыть **Отчет**, на главной панели **Уравнивание блока** нажать на кнопку  **Список точек триангуляции**, в появившемся окне выбрать щелчком мыши редактируемую точку.

На панели **Атрибуты точки** нажать на кнопку  **Измерить**.

В появившемся окне **Измерение точек** уточнить положение редактируемой точки в соответствии с изображением ее истинного положения, в случае необходимости можно воспользоваться подсказкой, нажав на кнопку  **Показывать векторы ошибок по опоре** (но этой функцией не стоит злоупотреблять, так как общая ошибка может быть вызвана неверными измерениями другой точки), и зафиксировать новую позицию кнопкой  **Перемести...точку в положение маркера**. После этого в окне **Точки триангуляции** нужно нажать на **Применить**, **ОК** и вернуться в модуль **Уравнивание блока**. Снова нажать на кнопки  **Уравнять** и  **Создать отчет**. Если в отчете сохранились ошибки, аналогичным образом необходимо исправить измерения всех опорных точек. Результат уравнивания по всем опорным точкам должен соответствовать ранее указанным допускам.

Затем для окончательной оценки точности полученных результатов в окне **Точки триангуляции** выбрать щелчком мыши точку, находящуюся ближе к центру снимка, а на панели **Атрибуты точки** изменить ее ста-

тус с **Опорная** на   **Контрольная**.

Открыть **Отчет**. После получения удовлетворительных результатов, когда все измерения удовлетворяют соответствующим допускам (отсутствуют *), работу по определению элементов внешнего ориентирования снимка можно считать практически законченной.

Для сохранения результатов вычислений и значений элементов внешнего ориентирования снимка необходимо сохранить в текстовый файл отчет и сохранить все произошедшие изменения (нажав на кнопки  и  **Сохранить...**) и закрыть панель **Уравнивание блока**.

Для выполнения трансформирования снимка необходимо открыть ранее созданный проект, если он был закрыт.

Для трансформирования снимков и создания фотоплана в программе **PHOTOMOD** предусмотрен модуль **Ортотрансформирование** (рис. 46), который запускается командой меню **Растры | Ортотрансформирование** или кнопкой  главной панели инструментов **PHOTOMOD**.



Рис. 46. Панель модуля ортотрансформирования

Далее необходимо задать параметры трансформирования с помощью кнопки  **Параметры** меню модуля ортотрансформирования. В появившемся окне в закладке **Модель рельефа** выбирается **Интерполяция по точкам триангуляции**.

В закладке **Ортофото** выбрать **Размер пиксела** – 0,75 м, **Цвет фона** – белый, **Исходная система координат** будет соответствовать системе координат проекта.

Во вкладке **Сохранение** указать **Файл геопривязки** – MapInfo TAB. Нажать на клавишу **ОК**.

Для запуска процесса трансформирования нужно нажать на кнопку  **Ортотрансформирование**. В последовательно появившихся окнах

нужно указать путь и имя файла.

Для просмотра ошибок нажмите на кнопку  **Контроль точности** панели инструментов. Появятся окна **Параметры отображения** и **Точки триангуляции**.

После анализа результатов необходимо сохранить отчет. Для этого сначала нажмите на кнопку  **Отчет**, появится окно, на панели которого нажмите на кнопку  **Сохранить**, задать имя и путь.

Для формирования листа ортофотоплана с помощью **Главной панели инструментов PHOTOMOD** запустите кнопкой  **Запустить GeoMosaic** модуль GeoMosaic.

В появившемся окне с помощью **Главной панели инструментов PHOTOMOD GeoMosaic** загрузите свой трансформированный снимок, полученный выше, нажав на кнопку  **Добавить изображение из файлов** и указав путь.

Далее в **Главном меню PHOTOMOD GeoMosaic** выберите **Листы** |  **Нарезка на листы по изображениям**.

Для создания листа фотоплана надо во вкладке **Листы** выбрать  **Построить** **Построить** и указать путь и имя сохранения файла.

Контрольные вопросы по лабораторной работе

1. Что является элементами внутреннего и внешнего ориентирования снимка?
2. Как вывести формулы связи координат точек снимка и местности (прямые и обратные)?
3. Как определяются элементы внешнего ориентирования снимка по опорным точкам?
4. Как выполняется контроль и оценка точности определения элементов внешнего ориентирования снимка?
5. Суть трансформирования снимков.
6. Методы цифрового трансформирования снимков.
7. Формулы трансформирования.
8. Что называется фотопланом?
9. Контроль и оценка точности фотоплана.

2.3. Лабораторная работа № 3

Создание фотосхемы в ЦФС PHOTOMOD GeoMosaic

Цель работы: освоить на практике основные этапы работ с цифровыми снимками с целью создания фотосхемы, сопоставить теоретические обоснования возможности выполнения работ в процессе выполнения заданий на реальных снимках.

Последовательность выполнения лабораторной работы

На начальном этапе необходимо активировать пользовательский профиль, созданный при выполнении лабораторной работы № 2.

Далее необходимо создать новый проект. В окне **Управление проектами** нужно нажать на кнопку  **Создать**.

Введите имя нового проекта «Фотосхема_**ФАМИЛИЯ СТУДЕНТА**» в поле **Имя**.

Раздел **Описание** предусмотрен для любой пользовательской информации, например, краткой характеристики проекта и его особенностей (можно не заполнять).

В разделе **Тип** определите тип проекта – **Центральная проекция**.

В разделе **Дополнительные параметры** можно сразу подгрузить снимки проекта, но это действие будет выполнено позже, поэтому надо отметить **Пустой проект**.

Далее необходимо задать систему координат. В разделе **Система координат** нажмите на кнопку **Выбрать**. Открывается список для выбора системы координат – **из БД – российская**.

Выберите систему координат **Местная левая** и нажмите на **ОК**. При этом поля раздела **Система координат** заполняются: указываются система координат и ее характеристики (ориентация осей и т. д.).

Высота местности в данном случае заполняться не будет.

Проверить правильность заполнения полей **Путь к проекту** и **Полный путь к проекту**.

После нажатия на кнопку **ОК** появится окно создания маршрута,

в нем также нажать на **ОК**.

Для создания второго маршрута в появившемся **Редакторе блока** нажать на кнопку  **Добавить**. Создать второй маршрут, нажав на кнопку **ОК**.

Для добавления изображений в проект необходимо воспользоваться кнопкой **Добавить изображения из файлов**  панели инструментов **Окна редактора блока**. В появившемся окне **обязательно** нужно нажать на **Да**, чтобы в проекте создалась папка **Images** для хранения растров.

Затем в каждый из маршрутов отдельно (в одном маршруте четыре снимка, нумерация снимков идет по порядку) загрузить снимки, соответствующие варианту. Для этого необходимо двойным кликом переместить каждое изображение маршрута в нижнее окно, выставить все параметры, как на рис. 47, и нажать на **Преобразовать**.

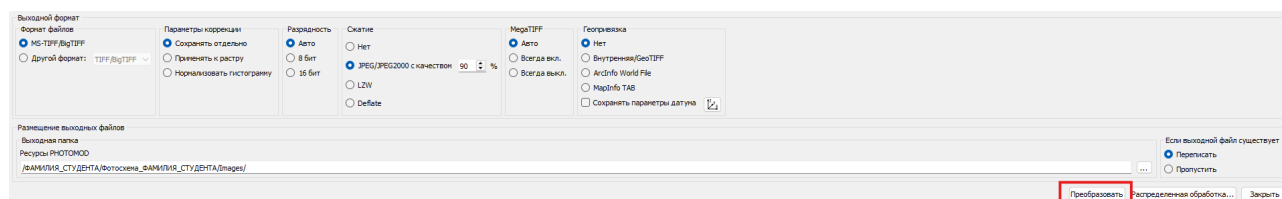


Рис. 47. Параметры загрузки снимков

Затем в **Редакторе блока** (открыть **Окно редактора блока** можно соответствующей кнопкой  на главной панели инструментов, если он был закрыт) необходимо выбрать второй маршрут, кликнув на него.

Повторить действия по загрузке соответствующих четырех снимков во второй маршрут. Полученный результат должен выглядеть примерно так, как показано на рис. 48.

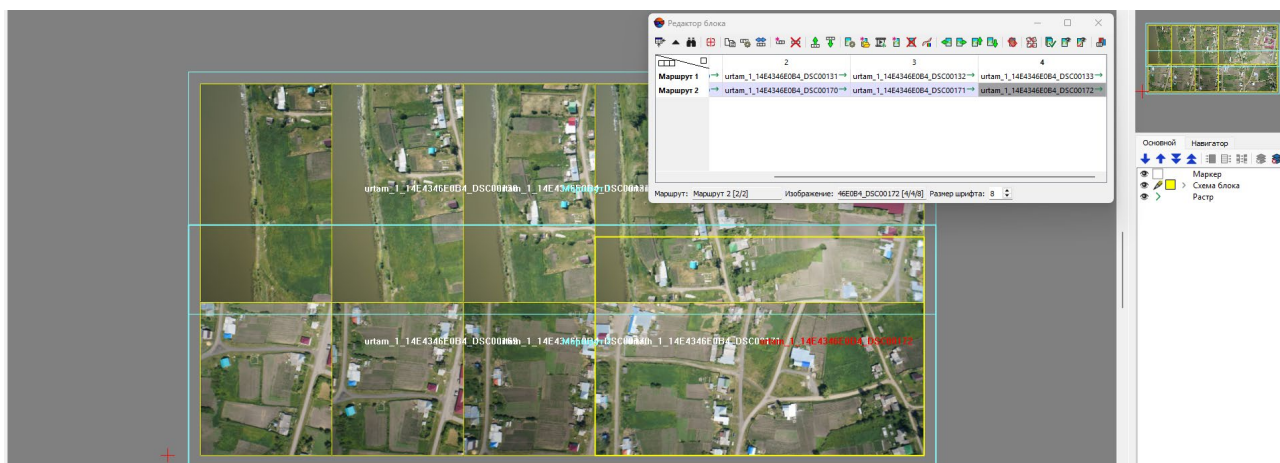


Рис. 48. Загруженные снимки проекта

Для продолжения работы необходимо проверить, правильно ли были загружены снимки в проект, и оценить качество визуального восприятия материалов. Для этого, используя кнопку  в меню **Редактора блока** (или на главной панели инструментов, она дублируется), нужно открыть окно **Накидного монтажа** и поставить режим **Без монтажа**. Нажать на **Применить**, **Заккрыть**.

Для того чтобы увидеть все снимки блока, необходимо нажать кнопку  окна **Схема блока** или комбинацию клавиш **Alt+Enter** на клавиатуре (рис. 49).



Рис. 49. Снимки до сортировки

Снимки в маршрутах могут быть перевернуты, расположены в неправильном порядке. Кнопками **Редактора блока**  переместить выделен-

ные маршруты вверх;  – переместить выделенные маршруты вниз;  – перевернуть выделенные изображения;  – изменить порядок изображений в маршруте;     – переместить выделенные изображения влево, вправо, вверх, вниз (для выбора нескольких изображений используются клавиши Shift или Ctrl). Необходимо расположить снимки верно, ориентируясь на зоны продольного и поперечного перекрытий, а также на общую схему расположения снимков, прилагающуюся к заданию, найдя на ней по характерным объектам свой участок покрытия.

Если снимки различаются между собой по фототону, следует сделать радиометрическую коррекцию. Для этого в **Редакторе блока** нужно **выбрать** корректируемый снимок, при помощи пиктограммы  панели инструментов открыть окно **Радиометрическая коррекция**, для удобства уменьшить размер окна кнопкой . В появившемся окне нужно нажать на кнопку  **Яркость-Контраст-Гамма** и отрегулировать яркость изображения при помощи функции **Гамма коррекции** и **Яркости** так, чтобы визуально снимки выглядели идентичными по яркости, и нажать на **ОК**.

При предварительном монтаже блока могут быть использованы данные перекрытий снимков внутри маршрутов и между маршрутами. Для этого необходимо в **Окне накидного монтажа** при включенном режиме **По связующим** убрать флажок под пиктограммой , исключив соединение по поперечному перекрытию, оставить величину начального приближения, для продольного перекрытия оно по умолчанию составляет 60 %. Нажать на клавишу **Применить**.

Используя опцию **Начальное приближение: перекрытие**, нужно подобрать такую величину продольного перекрытия (**P %**), чтобы минимизировать расхождения контуров для соседних снимков маршрута, **Применить**.

Далее необходимо определить величину продольного перекрытия. Для этого в **Окне накидного монтажа** при включенном режиме **По связующим** убрать флажок под пиктограммой , исключив соединение по

продольному перекрытию, включить флажок под пиктограммой , оставить величину начального приближения (для поперечного перекрытия оно по умолчанию составляет 30 %). Нажать на клавишу **Применить**.

Аналогично продольному можно подобрать величину поперечного перекрытия (Q %).

Далее необходимо вновь подключить продольное перекрытие, включив флажок под пиктограммой . На рис. 50 приведен результат автоматического выполнения накидного монтажа, на котором видны значительные расхождения контуров.

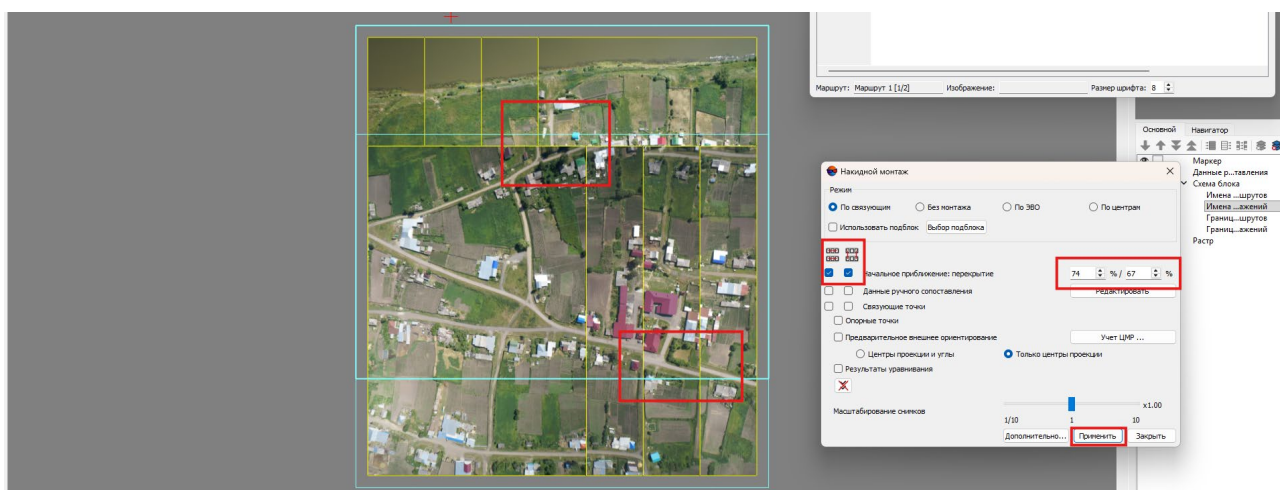


Рис. 50. Результат автоматического выполнения накидного монтажа

Таким образом, способ создания накидного монтажа по **Начальным приближениям перекрытий** используется только в том случае, когда центры снимков не смещены относительно друг друга. В данном проекте это условие не соблюдается, поэтому далее необходимо применить метод ручного сопоставления.

Для этого в окне **Накидной монтаж** в режиме **Без монтажа** необходимо нажать на клавишу **Редактировать**, а затем **Применить** и **Заккрыть**.

После этого в окне **Диспетчера слоев** появится новый слой **Данные ручного сопоставления**, который должен быть активным (напротив него должно появиться изображение карандаша ).

Процесс ручного сопоставления осуществляется путем указания одинаковых точек на соседних снимках в окне. Для повышения точности создания накидного монтажа точки для идентификации выбираются на одинаковых чётко видимых контурах. НЕЛЬЗЯ использовать точки на местности, имеющие очевидные превышения: крыши домов, заборы, деревья и т. д.

Для выполнения работы необходимо установить по три «связи» на каждую стереопару (голубые стрелки) и две связи между маршрутами (фиолетовые стрелки), распределяя их равномерно. Примерная схема расположения «связей» для блока показана на рис. 51.

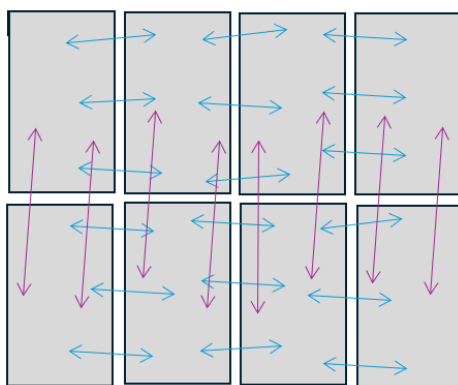


Рис. 51. Схема расположения «связей»

Чтобы передвигать изображения по экрану (функция «Рука»), нужно зажать кнопку **Alt** и левую кнопку мыши.

Для масштабирования изображений можно воспользоваться инструментарием  окна **Схема блока**; увеличивать или уменьшать изображения можно, используя клавиши * и / на клавиатуре соответственно.

При выборе характерной точки необходимо использовать увеличение. Для уточнения позиционирования маркера можно использовать стрелки «Вниз», «Вверх», «Влево», «Вправо» на клавиатуре.

Процесс установления «связей» выполняется следующим образом:

а) поместить маркер в выбранную точку первого снимка и нажать на клавишу **Insert** (появляется белый крест);

б) поместить маркер в соответствующую точку второго снимка (появляется белая линия, привязанная к первой выбранной точке) и снова нажать на клавишу **Insert**.

Добавленные связи будут отображены в окне **Схема блока** голубыми линиями.

Для отмены добавления связи после первого нажатия на **Insert** можно нажать на клавишу **Esc**. Для удаления одиночной связи следует подвести к ней маркер, двойным щелчком мыши или нажатием на клавишу **S** выделить ее (при этом линия связи становится желтой) и удалить нажатием клавиши **Delete**. Для удаления нескольких связей используются инструменты группового выделения **Shift**.

Если грубых ошибок не выявлено, можно выполнить **Накидной монтаж**  по всем направлениям, выбрать режим **По связующим**, выставить параметры, как на рис. 52, и нажать клавиши **Применить**, **Заккрыть**.

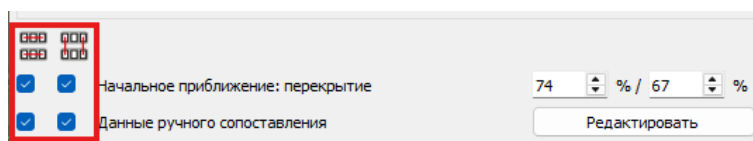


Рис. 52. Параметры полного накидного монтажа

Далее необходимо выполнить контроль качества накидного монтажа. Для этого надо поставить маркер на место перекрытия максимального количества снимков (в данном случае можно захватить все 8 снимков, если поставить маркер в центр накидного монтажа).

Затем в основном меню выбрать опцию **Ориентирование / Открыть изображение с маркером** . После этого откроются все окна (их должно быть 8), в которых маркер попал на снимок.

Двойным щелчком на одном из снимков фиксируется характерная точка местности, при этом курсор на других изображениях автоматически встает вблизи идентичной точки.

Затем кликом *правой* (это важно! Если случайно нажать на левую, придется возвращаться к выбору характерной точки) кнопки мыши ак-

тивируется любое другое изображение.

В появившемся контекстном меню надо выбрать **Режим измерения расстояний**.левой кнопкой мыши показывается правильное положение выбранной точки. При этом определяется и показывается величина расхождения в пикселях.

Чем меньше величина расхождения, тем выше качество выполнения накидного монтажа. Так как из данных снимков далее будет создаваться фотосхема, допустимая величина расхождения не должна превышать 50 пикселей. Если допуск превышен, нужно вернуться на этап установления «связей» и поправить существующие или установить дополнительные для проблемных снимков. После выполнения измерений закрыть окно, нажав на **ОК**.

Для сохранения текущей привязки изображений в главном меню выбирается **Ориентирование / Сохранить геопривязку изображений**.

В появившемся окне устанавливаются параметры:

- формат – **MapInfo TAB**;
- исходные данные – **Накидной монтаж**;
- система координат – **Система координат проекта**.

Нажать на кнопку **ОК**.

На этом этап подготовительных работ по созданию фотосхемы завершен, текущий модуль программы **PHOTOMOD** можно закрыть.

Создание фотосхемы в **PHOTOMOD GeoMosaic**.

Для создания фотосхемы необходимо запустить программу **PHOTOMOD GeoMosaic** из меню **Пуск** или с помощью ярлыка . Если работа прерывалась, перед запуском программы необходимо сделать активным свой пользовательский профиль.

Для создания проекта мозаики нужно выбрать из главного меню **Проект / Новый** или нажать на кнопку . Затем надо загрузить геопривязанные в программе **PHOTOMOD** снимки. Для этого в **Главном меню** надо выбрать **Изображения / Добавить изображения из ресурсов... .**

В левой части появившегося окна **Открыть** выбирается имя созданного ранее проекта «Фотосхема_Фамилия студента» и папка **Images**. В правой части появляется список геопривязанных снимков, мышкой вы-

бираются все изображения и нажимается кнопка **Открыть**, а затем **ОК**. В рабочую область загружаются ранее привязанные снимки (рис. 53).



Рис. 53. Снимки проекта

Для создания порезов в автоматическом режиме надо в **Главном меню** выбрать **Порезы / Построить**.

В появившемся окне **Параметры построения порезов** отметить указанные установки (рис. 54) и нажать на кнопку **ОК**.

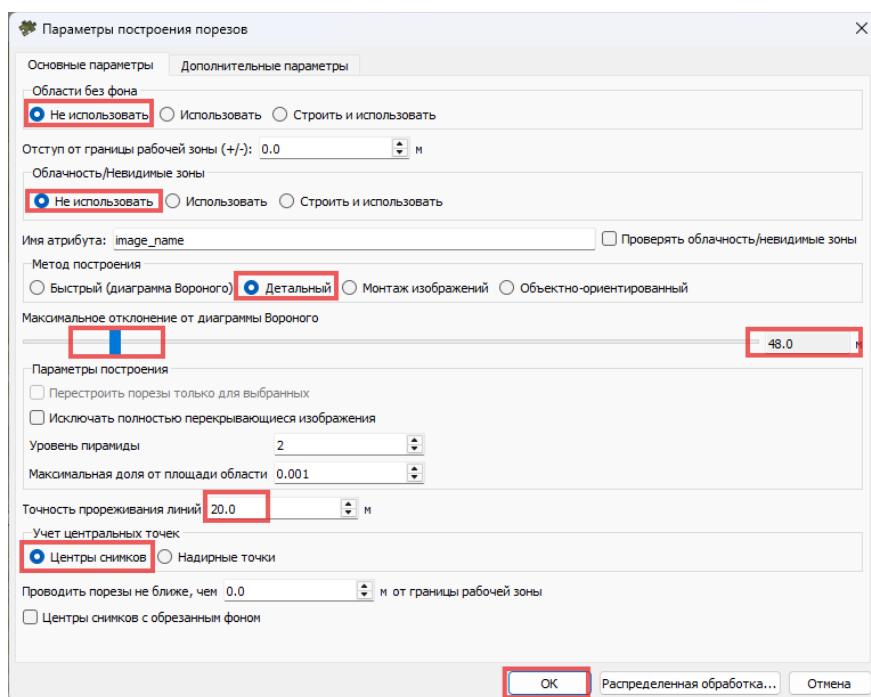


Рис. 54. Параметры построения порезов

Появится окно с вопросом о сохранении проекта; нажать на **Да**.

В появившемся окне сохраняем проект геомозаики «Проект геомозаики_Фамилия студента», нажимаем на **Сохранить**. Полученный результат должен быть аналогичен рис. 55.



Рис. 55. Построенные порезы

На следующем этапе работы необходимо выполнить редактирование порезов. Редактирование порезов осуществляется согласно следующим требованиям:

- порезы не должны пересекаться между собой;
- нельзя проводить порезы через высотные объекты (мост, здание, опору ЛЭП и т. д.);
- через линейные объекты (дорогу, береговую линию, контур леса, пашни, межу) порезы проводятся под прямым углом к контуру объекта;
- при создании пореза необходимо обходить мелкие контуры;
- порезы не проводятся по границам фототона.

Вершины порезов редактируются при активном слое **Порезы** в **Диспетчере слоев**, слой активируется щелчком мыши, **Карандаш** находится напротив выбранного слоя. Для выделения узла нужно щелкнуть по нему левой кнопкой мыши, для перемещения вершины необходимо нажать на клавишу **Ctrl** на клавиатуре. Для добавления вершин надо нажать на клавишу **Insert**, для удаления – **Delete**.

При редактировании НЕ УДАЛЯЙТЕ узлы, которые относятся к нескольким полигонам (рис. 56), при необходимости их можно переместить.

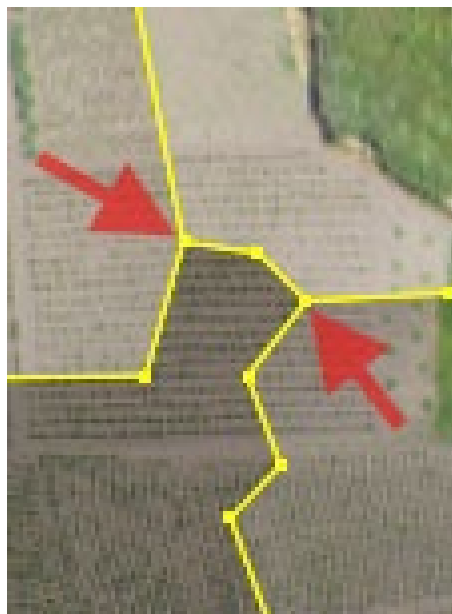


Рис. 56. Пример узлов, не подлежащих удалению

Перерисовка фотосхемы производится при помощи кнопки  (предварительный просмотр) **Главной панели инструментов**. Пример отредактированного пореза представлен на рис. 57 (соблюдены практически все условия, для пересечения выбран объект с минимальным превышением).



Рис. 57. Редактирование порезов

После редактирования порезов всего блока **Порезы** необходимо сохранить в ресурсах активного профиля. Для этого нужно выбрать в **Главном меню / Порезы / Сохранить как...**

На следующем этапе работы необходимо исключить расколы (рис. 58) между одноименными контурами. Раскол – это несовпадение контуров по линии пореза.



Рис. 58. Пример раскола

Сшивку расколов осуществляется по связующим точкам.

Сначала в **Главном меню** необходимо нажать на кнопку  **Уточнение привязки по связующим точкам**, затем в **Главном меню** необходимо нажать на кнопку  **Каталог точек**, в меню открывшегося окна выбрать  **Показать окна по маркеру**. В отдельных окнах откроются все снимки, на которые попал маркер.

Далее на всех изображениях нужно поместить маркер вблизи линии пореза в идентичную хорошо различимую точку на местности (соответствующие точки) – она станет связующей. В меню **Измерение точек** выбрать  **Добавить связующую точку без корреляции**. Связующая точка будет отмечена на всех изображениях, а информация о ней появится в таблице. Затем в **Главном меню** надо выключить режим каталога точек, отжав кнопку . После нажатия на кнопку  **Предварительный просмотр** происходит перерисовка изображения и устранение раскола

(рис. 59, сравните с рис. 58). Далее, используя связующие точки, необходимо откорректировать все линии сшивки блока. Если при открытии окон их будет избыточное количество, то можно закрыть лишние, оставив только те, на которых отображается линия пореза.



Рис. 59. Устранение раскола

На следующем этапе выполняется выравнивание яркости изображений, входящих в блок. Для этого надо в **Диспетчере слоев** отключить (нажать на «глаз») слои **Порезы** и **Опорные и связующие точки**. После этого становится видно, что при переходе от снимка к снимку контуры совпадают, а яркости – нет. Затем в **Главном меню** необходимо выбрать **Мозаика / Параметры / Выравнивание яркости...** и выставить следующие параметры: **Глобальное выравнивание** – по средней яркости; **Совмещать гистограммы**; **Локальное выравнивание** – включить; **Сглаживание областей вдоль линии порезов** – 32 пикс.

На завершающем этапе работы нужно выполнить деление полученной фотосхемы на листы. Для этого в **Главном меню** необходимо выбрать **Листы / Последовательное деление** или нажать на кнопку . В открывшемся окне параметров последовательного деления оставить настройки по умолчанию и нажать на **ОК**.

Запускается процесс построения листов, по завершении которого на слое **Листы** создаются границы листов (векторные полигоны). Слой **Листы** становится редактируемым и помечается звездочкой, что означает: слой изменен, но не сохранен.

Границы листов отображаются в окне **Предварительный просмотр**.

Все листы, попадающие на изображения блока, имеют активное состояние, т. е. выбраны для создания выходных файлов мозаики. Для отображения активного листа предусмотрены зеленая граница и отсутствие заливки, для отображения неактивного листа по умолчанию используются красная граница и красная полупрозрачная заливка. Для выбора цвета и настройки прозрачности неактивных листов предусмотрены параметры на закладке **Предварительный просмотр** в окне **Параметры**.

Удалите полученные листы командой **Листы** |  **Очистить**.

Экспериментально определите технические возможности выполнения «требования заказчика» (самостоятельно задать любую ширину и высоту листа, предварительно очистив предыдущие построения, не квадрат, для лайт-версии линейные размеры менее 1 000 м).

Далее нужно построить затребованный лист (любой цельный, не край фотосхемы). Для создания выходной фотосхемы текущего листа нужно двойным щелчком выделить границу заданного листа на слое **Листы**, для которого будет создаваться выходной файл (граница листа станет белого цвета). Затем нужно выбрать **Мозаика / Построить текущий лист**.

Открывается окно **Сохранить как** для определения имени, формата и размещения выходного файла. Здесь нужно проверить правильность названия и размещения файла и нажать на **ОК**. Результат построения заданного листа представлен на рис. 60.

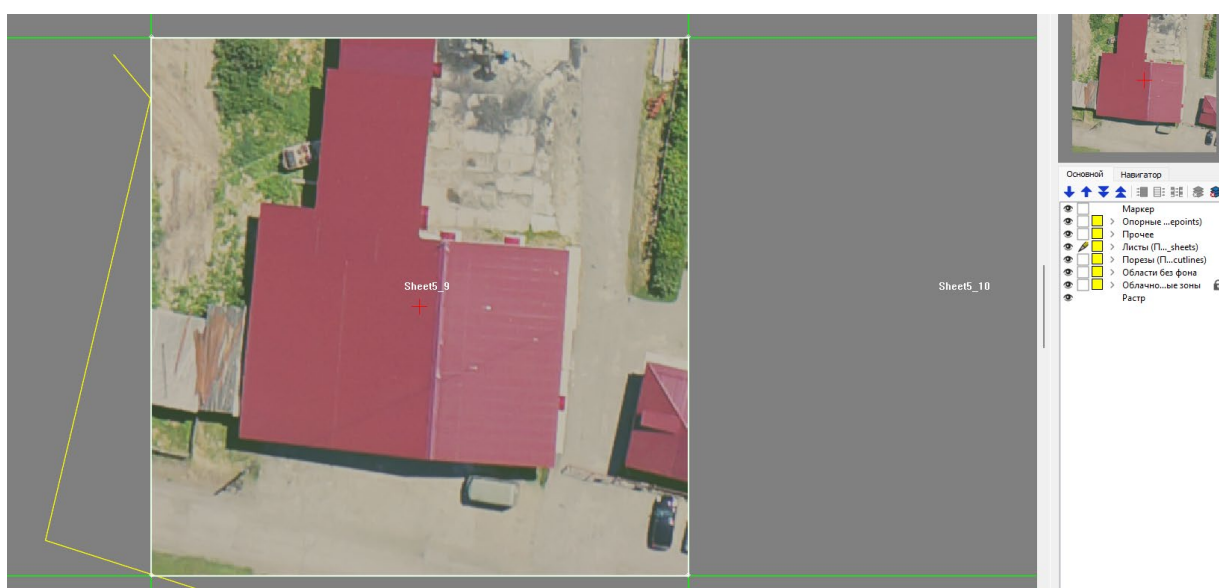


Рис. 60. Лист фотосхемы

Контрольные вопросы

1. Что называется продольным перекрытием снимков, чему равен допуск?
2. Что называется поперечным перекрытием снимков, чему равен допуск?
3. Какова последовательность операций в технологии построения накидного монтажа из цифровых снимков?
4. Что называется фотосхемой? Где используются фотосхемы?
5. Что такое порез? Каковы основные требования к построению порезов?
6. Какова последовательность операций в технологии составления фотосхемы из цифровых изображений?
7. Что такое раскол? Как устраняются расколы на фотосхеме?
8. Что называется фотопланом? Чем фотоплан отличается от фотосхемы?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учебно-методическое пособие содержит теоретические и практические вопросы по разделам «Фотограмметрическая обработка одиночных снимков», «Трансформирование аэроснимков», «Фотосхемы и фотопланы». Они являются базовыми и их успешное освоение позволяет перейти к дальнейшему изучению фундаментальных разделов дисциплины «Фотограмметрия и дистанционное зондирование», таких как «Теория стереопары снимков», «Цифровое ортотрансформирование» и «Универсальные стереофотограмметрические системы».

Для каждой задачи в учебно-методическом пособии излагается методика решения в объеме, достаточном для ее выполнения самостоятельно. Ход выполнения лабораторных работ в ЦФС РНОТОМОД подробно описан и сопровождается большим количеством иллюстраций. Решение приведенных задач и выполнение лабораторных работ позволит обучающимся закрепить теоретические знания и приобрести начальные навыки фотограмметрической обработки снимков.

Знания и умения, полученные в ходе работы с учебно-методическим пособием, позволят успешно освоить полную программу курса «Фотограмметрия и дистанционное зондирование» и подготовиться к написанию курсовой работы, а так же будут являться основой для изучения дисциплин «Современные методы и средства фотограмметрии и дистанционного зондирования», «Прикладная фотограмметрия», «Наземная фотограмметрия», «Цифровая фотограмметрия».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Руководство пользователя программного обеспечения ЦФС PHOTOMOD [Электронный ресурс] : офиц. сайт компании «Ракурс». – Режим доступа: <http://www.racurs.ru/index.php>.
2. Хлебникова Е. П. Фотограмметрия и дистанционные методы зондирования Земли. Фотограмметрическая обработка одиночных снимков. Трансформирование аэроснимков. Фотосхемы и фотопланы : учеб.-метод. пособие. – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. – 112 с.
3. Гордиенко А. С., Кулик Е. Н. Современные методы дистанционного зондирования для решения задач геодезии : учеб.-метод. пособие. – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. – 82 с.
4. Фотограмметрия : учебник / А. П. Михайлов, А. Г. Чибуничев ; ред. А. Г. Чибуничев. – М. : МИИГАиК, 2016. – 294 с.
5. Шовенгердт Р. А. Дистанционное зондирование. Модель и методы обработки изображений. – М. : Техносфера, 2010. – 560 с.
6. Гук А. П., Конечный Г. Фотограмметрия и дистанционное зондирование : учебник. – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – 248 с.
7. ГОСТ Р 51833–2001. Фотограмметрия. Термины и определения. – М. : Госстандарт России, 2001. – 63 с.
8. ГОСТ Р 59328–2021. Аэрофотосъемка топографическая. Технические требования. – М. : Стандартинформ, 2021. – 36 с.
9. ГОСТ Р 58854–2020. Фотограмметрия. Требования к созданию ориентированных аэроснимков для построения стереомodelей застроенных территорий. – М. : Стандартинформ, 2020. – 21 с.

Учебное издание

Парфенова Елена Павловна

**ФОТОГРАММЕТРИЯ
И ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ**
Фотограмметрическая обработка
одиноким снимков.
Трансформирование аэроснимков.
Фотосхемы и фотопланы

Редактор *О. В. Георгиевская*

Компьютерная верстка *Я. А. Лесных*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 22.09.2026. Формат 60 × 84 1/16.

Усл. печ. л. 4,65. Тираж 110 экз. Заказ 184.

Гигиеническое заключение

№ 54.НК.05.953.П.000147.12.02. от 10.12.2002.

Издательско-полиграфический центр СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плеханова, 10.

Отпечатано в издательско-полиграфическом центре СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плеханова, 8.