

**ЗАДАНИЕ «ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ТОЧЕК И ОРИЕНТИРУЮЩИХ
УГЛОВ ПО ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТЕ».**

Задачи: познакомиться с элементами топографической карты, ее математической основой, системами координат, картографической проекцией; научиться определять геодезические, прямоугольные и полярные координаты точек, горизонтальные проложения линий, ориентирующие углы направлений: дирекционный угол, геодезический и магнитный азимуты, понимать их взаимное соотношение; изучить взаимосвязь прямоугольных и полярных координат.

Для выполнения задания **необходимо:**

Запустить онлайн-вьюер

viewer.autodesk.com/id/dXJuOmFkc2sub2JqZWNoZGZpY3YmplY3Q6YTM2MHZpZXdlci90MTU4NTkzMtG1OTMxNV8wNDUyNjYwNDQzNTc0NmM4ODZfMTU4NTkzMtG1OTM5OC5kd2c?designType=dwg&sheetId=OWM3ZWU2MzQtMmMyOS0wYmNhLTl0YzQtYTQzZWl5N2VhZjhi

Отчетный материал: заполненный бланк.

Краткое изложение теоретических основ:

Топографические карты – это графические, уменьшенные, условные, метрические модели участков земной поверхности на плоскости. Передают внешний облик земной поверхности, слагаемый из визуально различимых (видимых) элементов местности. Видимые элементы представлены как природными, так и социально-экономическими объектами или явлениями. К первой группе относятся рельеф, гидрографическая сеть, растительный покров, грунты; ко второй – населенные пункты, пути сообщения, промышленные, социально-культурные объекты и т.д.

Отличительные особенности топографических карт:

- равный по значимости подход к изображению всех видимых элементов местности;
- наличие общего географического языка (системы условных знаков) для карт всех масштабов;
- наличие нормативных документов для организации и стандартизации картографирования (положения, наставления, инструкции);
- многоцелевое назначение карт.

Элементы топографической карты – это картографическое изображение, рамка и зарамочное оформление. **Картографическое изображение** – изображение объектов земной поверхности в масштабе карты с помощью условных знаков. **Рамка карты** содержит информацию о координатах точек земной поверхности. **Зарамочное оформление** содержит информацию о территории, масштабе карты, системах отсчета и

дополнительную.

Математическая основа топографических карт определяет метричность картографической модели. Главные элементы: системы координат, масштаб и картографическая проекция.

Системы координат топографических карт.

В качестве уровенной поверхности используют эллипсоид вращения. Различают **общеземные** и **референц-эллипсоиды**. Первые наилучшим образом согласуются с поверхностью геоида в целом, вторые – максимально соответствуют ограниченной поверхности (государство, материк и т.д.). В России используются: в качестве общеземного эллипсоид **ПЗ-90** (центр совмещен с центром масс Земли, а малая ось – с земной полярной осью); референц-эллипсоида – **эллипсоид Красовского** (центр смещен относительно центра общеземного эллипсоида примерно на 155 м). Новая система координат топографических карт отнесена к эллипсоиду Красовского и называется СК-95.

Геодезические координаты.

Координатными линиями являются меридианы и параллели.

Геодезический меридиан - линия, образованная сечением эллипсоида плоскостью, проходящей через малую ось эллипсоида и заданную точку на поверхности.

Геодезическая параллель - линия, образованная сечением эллипсоида в заданной точке плоскостью, перпендикулярной его малой оси.

Начальные линии (линии отсчета) – нулевой меридиан и экватор. По международному соглашению за начальный (нулевой) меридиан принят **Гринвичский меридиан**, проходящий через меридианный круг старой обсерватории в Гринвиче (Лондон). **Экватор** – параллель с радиусом, равным большой полуоси эллипсоида.

Геодезическая широта B – угол между нормалью к поверхности эллипсоида в заданной точке и плоскостью экватора. Широту отсчитывают от экватора в северном и южном направлениях, значения меняются от 0^0 (на экваторе) до 90^0 на полюсах.

Геодезическая долгота L – двугранный угол между плоскостью меридиана заданной точки и плоскостью начального меридиана. Долготу отсчитывают от нулевого меридиана в восточном и западном направлениях, значения меняются от 0^0 до 180^0 .

Определение геодезических координат по топографической карте.

Северная и южная линии внутренней рамки листа топографической карты являются параллелями, западная и восточная – меридианами. Во всех четырех углах листа карты подписаны значения широты и долготы.

Между внутренней и внешней рамками выделена градусная рамка в виде двойной

линии с переменной заливкой белым и черным цветами. Каждый интервал (белый или черный) равен $1'$. Этот минутный интервал разделен с помощью точек на 10-секундные отрезки. Если соединить аналогичные точки на северной и южной стороне листа получим меридиан с известной долготой. Соответственно при соединении аналогичных точек на западной и восточной стороне получим параллель с известной широтой.

Чтобы определить геодезические координаты (широту и долготу) точки нужно через нее провести перпендикуляры к градусной рамке листа топографической карты (рис. 1).

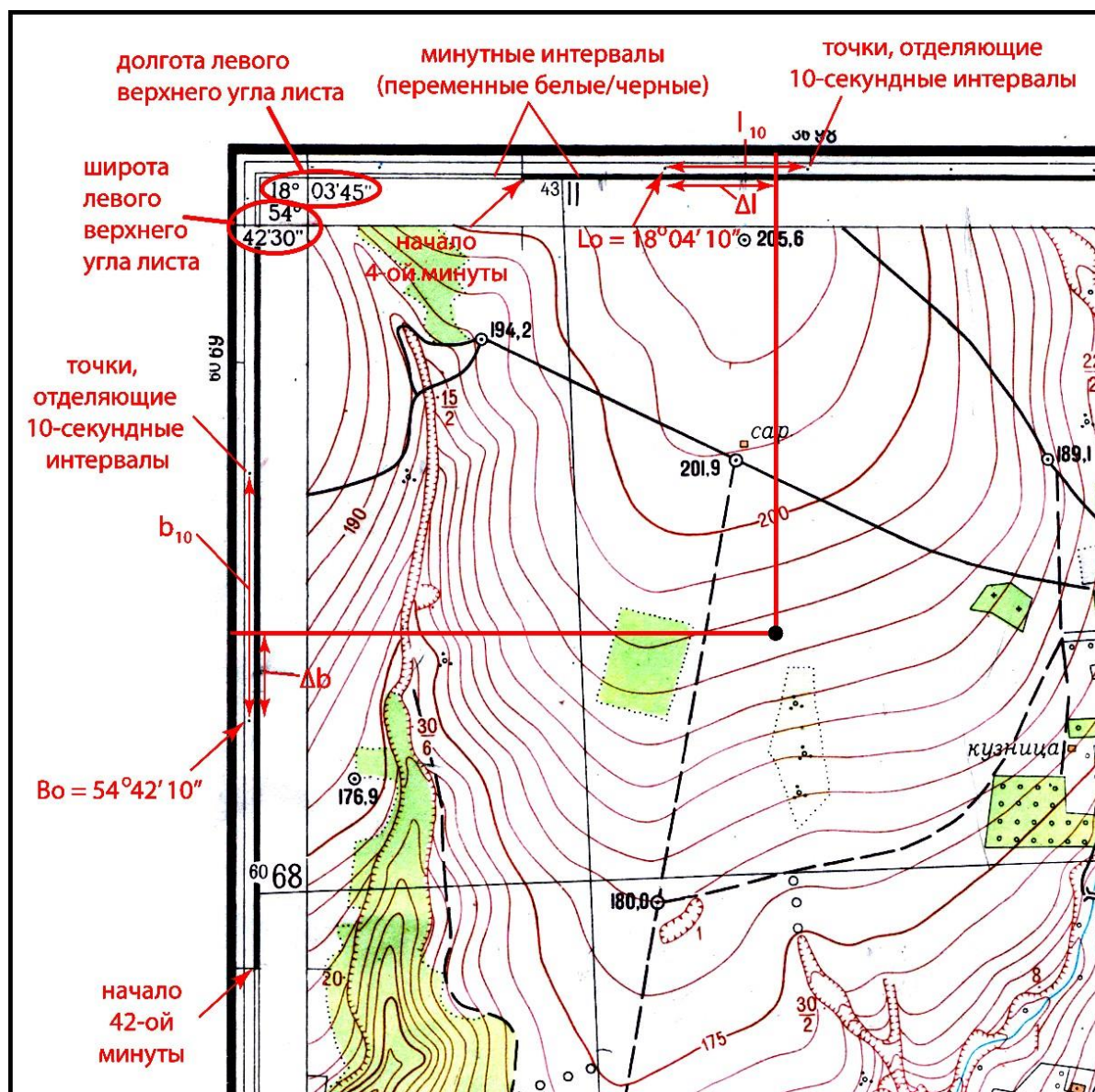


Рис. 1. Определение геодезических координат.

Проводим перпендикуляр к западной стороне листа. Находим пересечение с градусной рамкой. Далее определяем широту ближайшей южной точки, отделяющей 10-секундные интервалы (B_0). Измеряем длину 10-секундного интервала (b_{10}) и расстояние от ближайшей точки до отметки пересечения перпендикуляра с градусной рамкой (Δb).

Широту заданной точки можно вычислить по формуле $B = B_0 + (\Delta b * 10'' / b_{10})$.

Чтобы определить долготу заданной точки, необходимо опустить перпендикуляр на южную сторону листа карты, определить долготу ближайшей западной точки, отделяющей 10-секундные интервалы (L_0). Далее процесс аналогичен предыдущему, формула выглядит как $L = L_0 + (\Delta l * 10'' / l_{10})$.

Масштаб – величина, характеризующая степень уменьшения длины отрезка на местности при его отображении на карте. На картах масштаб указывается обязательно. Подпись масштаба возможна в нескольких вариантах.

Численный масштаб представляется в виде дроби с единицей в числителе, например, 1 : 10 000, 1 : 100 000 и т.д. Именованный **масштаб** – это запись вида «в 1 сантиметре 100 метров», «в 1 сантиметре 1 километр». **Линейный масштаб** дается в виде масштабной линейки, которая облегчает измерение длин по топографической карте. На топографических картах, как правило, даются все три варианта (рис. 2).



Рис. 2. – Подписи масштаба топографических карт (сверху вниз: численный, именованный, линейный).

Картографическая проекция – математически определенный способ изображения эллипсоида на плоскости. В России для составления топографических карт используют **проекцию Гаусса-Крюгера**. Это поперечно-цилиндрическая равноугольная зональная проекция.

Что значит цилиндрическая? Изображение проецируется (переносится) на боковую поверхность цилиндра, описанного вокруг эллипсоида или вписанного в него.

Что значит поперечно-цилиндрическая? Ось описанного цилиндра лежит в плоскости экватора, перпендикулярна (поперечна) оси вращения Земли.

Что значит равноугольная? Без искажений передаются углы, искажаются площади.

Что значит зональная? На плоскость проецируют только часть земного эллипсоида, т.е. определенную зону, как правило, ограниченную двумя меридианами.

В проекции Гаусса-Крюгера размер зон для топографических карт ограничен 6-ю градусами по долготе. Зоны располагаются последовательно от нулевого (Гринвичского меридиана) в направлении с запада на восток. Т.е. 1-я зона ограничена меридианами 0^0 и

6⁰ в.д., 2-я – 6⁰ и 12⁰ в.д., 60-я – 6⁰ и 0⁰ з.д.

Через центр зоны проходит **осевой меридиан**, являющийся касательным к боковой поверхности гипотетического цилиндра. Таким образом, для 1-й зоны осевой меридиан будет иметь долготу 3⁰ в.д., 2-й – 9⁰ в.д. и т.д. Чтобы определить долготу осевого меридиана по номеру зоны, можно воспользоваться формулами:

для восточного полушария $L = 6 \cdot n - 3$

для западного полушария $L = 180 - 6 \cdot (n - 30) + 3$,

где n – номер зоны.

Прямоугольные координаты.

На топографических картах применяется зональная прямоугольная система координат. Координаты – абсцисса и ордината – определяются в метрах. За **ось ординат** Y принята линия экватора (рис. 3), а за **ось абсцисс** X – северное направление осевых меридианов зон. Начало отсчета по оси ординат смещено на 500 км к западу, чтобы исключить отрицательные значения ординат.

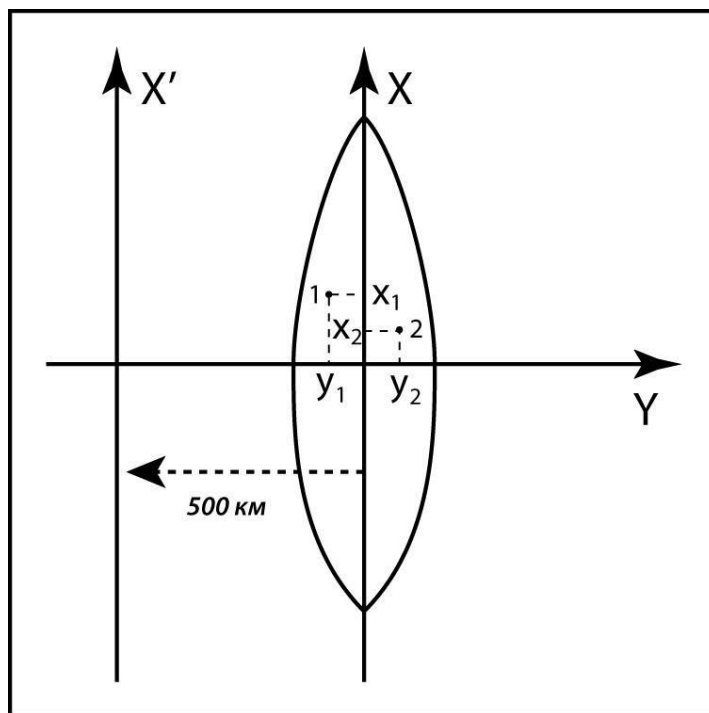


Рис. 3. Система плоских прямоугольных координат

Для устранения неоднозначности определения ординат, в ее состав вводится номер зоны (первые одна или две цифры). Таким образом, запись ординаты вида «4 312 000» означает, что заданная точка находится в 4-й зоне на расстоянии 312 км от смещенного осевого меридиана (число меньше 500 км, т.е. точка западнее осевого меридиана). Абсцисса вида «6 066 000» означает, что точка находится на расстоянии 6 066 км от экватора.

Определение прямоугольных координат по топографической карте.

Прямоугольные координаты определяют с помощью координатной (километровой) сетки, представляющей собой сеть линий, параллельных экватору и осевому меридиану зоны.

Для определения прямоугольных координат заданной точки (рис. 4) сначала нужно найти координаты левого нижнего угла квадрата, образованного линиями километровой сетки, в котором расположена точка. Т.е. X_0 и Y_0 , записанные в метрах.

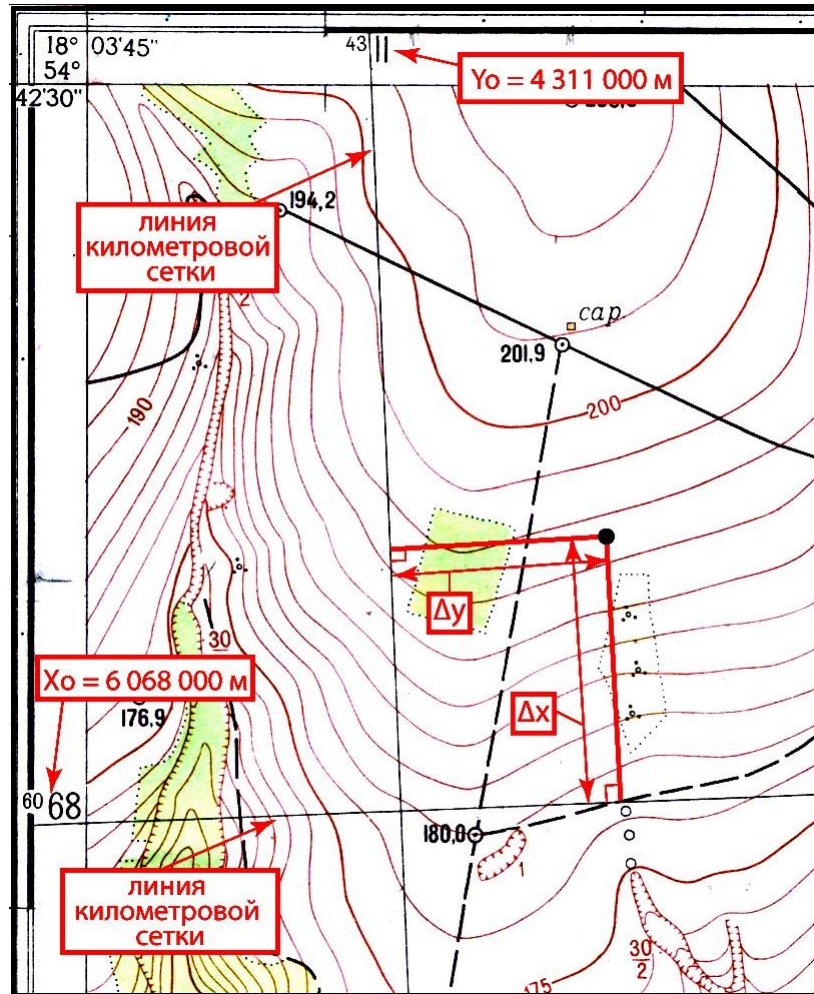


Рис. 4. Определение прямоугольных координат.

Далее необходимо из заданной точки опустить перпендикуляры к левой и нижней линиям километровой сетки, измерить с помощью циркуля-измерителя длины отрезков и перевести, используя численный масштаб, в метры на местности. Получим приращения прямоугольных координат Δx и Δy .

Искомые абсцисса и ординаты рассчитываются по формулам:

$$X = X_0 + \Delta x \quad Y = Y_0 + \Delta y.$$

Полярные координаты.

Для решения многих задач применяют полярные координаты, когда положение

заданной точки относительно нулевой (полюса) определяется **углом направления** между полярной осью и радиусом-вектором и **длиной радиуса-вектора**. Единицы измерения, таким образом, смешанные – градусы и метры.

В качестве полярной оси может быть выбрано любая линия: геодезический или магнитный меридиан, произвольное направление, но при работе с топографическими картами чаще всего используются вертикальные линии километровой сетки, т.е. линии, параллельные оси Х. Угол, отсчитываемый по часовой стрелке от северного направления линии параллельной оси абсцисс, проходящей через исходную точку, до направления на искомую точку, называется **дирекционным углом α** .

Ориентирующие углы.

Кроме дирекционного угла определить положения заданного двумя точками направления можно с помощью геодезического и магнитного азимутов.

Геодезический азимут A_g – угол, отсчитываемый по часовой стрелке от северного направления геодезического меридиана, проходящего через исходную точку, до направления на объект.

Магнитный азимут A_m – угол, отсчитываемый по часовой стрелке от северного направления магнитного меридиана, проходящего через исходную точку, до направления на объект.

Почему не совпадает положение вертикальных линий сетки и геодезических меридианов? Все линии сетки на карте – прямые линии, меридианы в проекции Гаусса-Крюгера отображаются линиями с малой кривизной. Исключение составляет осевой меридиан (прямая). Чем далее от центра зоны отстоит меридиан, тем больше кривизна линии и, соответственно, расхождение с линией сетки.

Угол между меридианом точки и вертикальными линиями прямоугольной координатной сетки называется **Гауссовым сближением меридианов γ** . Значение можно вычислить по формуле: $\gamma = (L - L_0) * \sin B$. Нетрудно заметить, что сближение меридианов отсутствует на начальных линиях отсчета: осевом меридиане и экваторе. Значение Гауссова сближения меридианов могут быть как положительными, так и отрицательными, в зависимости от положения от осевого меридиана. Хотя в каждой точке может определено уникальное значение Гауссова сближения меридианов, их разброс по

одному листу карты незначителен. Поэтому для каждого листа высчитывают среднее значение сближения меридианов и указывают его в зарамочном оформлении.

Почему не совпадает положение геодезического и магнитного меридианов?

Положение магнитных полюсов не совпадает с положением географических полюсов.

Так, северный магнитный полюс в 2005 г. имел координаты $82^{\circ} 07'$ с.ш., $114^{\circ} 04'$ з.д.

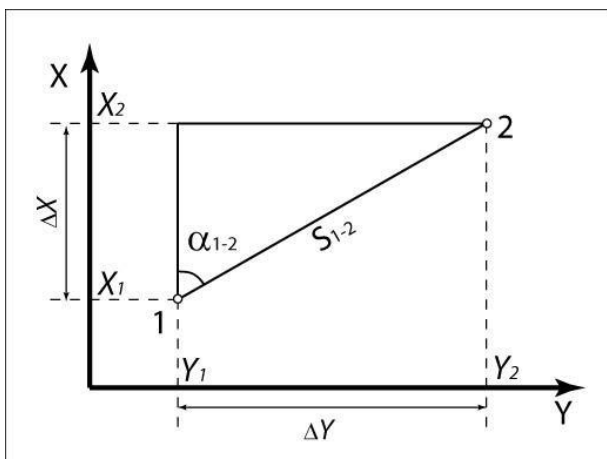
Положение магнитных полюсов непостоянно, скорость смещения также меняется.

Угол между северными направлениями геодезического и магнитного меридианов называется **магнитным склонением** или склонением магнитной стрелки **D**. Магнитное склонение может быть восточным (положительным) и западным (отрицательным), что показывает, с какой стороны от геодезического проходит магнитный меридиан.

Величина магнитного склонения на фиксированную дату указана в зарамочном оформлении топографической карты, там же обязательно присутствует величина ежегодного изменения магнитного склонения. Для того, чтобы рассчитать действующее значение магнитного склонения, необходимо рассчитать поправку с учетом срока, прошедшего от фиксированной даты и прибавить ее к первоначальному значению.

Соотношение дирекционного угла, геодезического и магнитного азимутов определяют формулы: $A_r = \alpha + \gamma$ и $A_r = A_m + D$.

Взаимосвязь между полярными и прямоугольными координатами.



Если полярные координаты представлены дирекционным углом и горизонтальным проложением (длиной отрезка на плоскости), легко связать их с прямоугольными координатами. На рис. представлены две точки **1** и **2**. Их прямоугольные координаты представлены соответствующими парами (X_1, Y_1) и (X_2, Y_2) . Вычислив приращения координат

между точками, определим длину катетов прямоугольного треугольника. Отсюда, полярные координаты можно вычислить по следующим простым формулам:

$$\alpha_{1-2} = \arctg (\Delta Y / \Delta X) \quad S_{1-2} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$$

Вычисление полярных координат по известным прямоугольным называется **обратной геодезической задачей**.

Вычисление прямоугольных координат точки **2** (X_2, Y_2) по известным

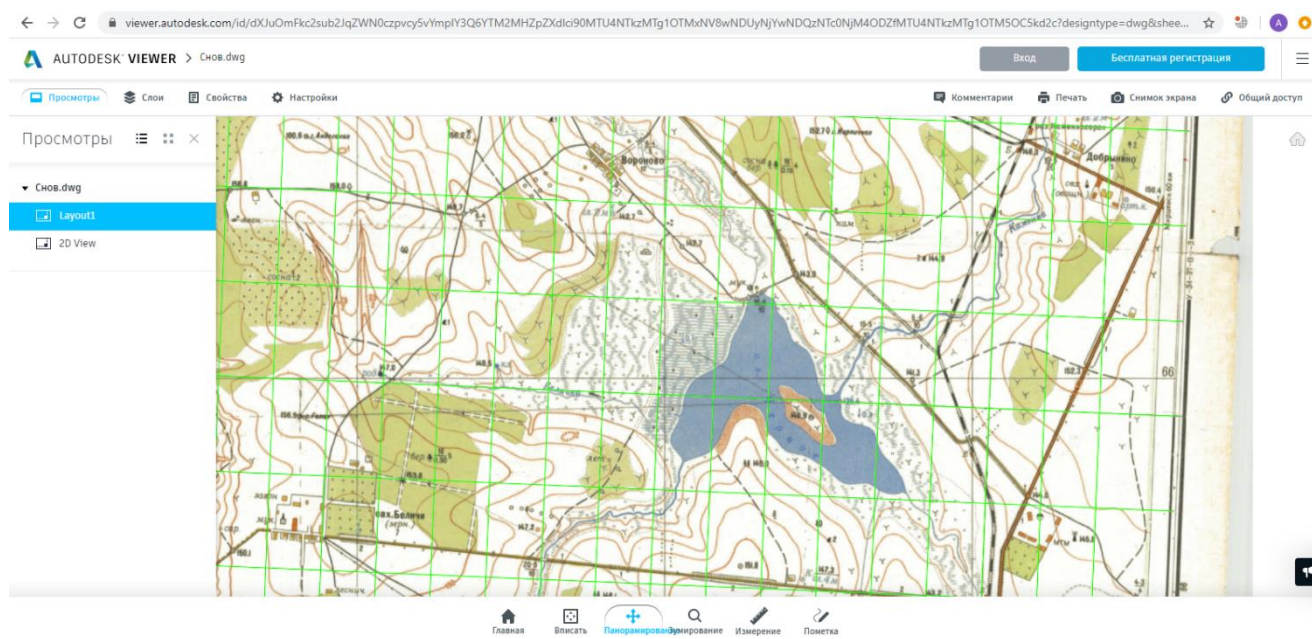
дирекционному углу α_{1-2} и горизонтальному проложению S_{1-2} и прямоугольным координатам точки 1 (X_1, Y_1) называется **прямой геодезической задачей** и осуществляется по формулам:

$$X_2 = X_1 + S_{1-2} \cdot \cos \alpha_{1-2}$$

$$Y_2 = Y_1 + S_{1-2} \cdot \sin \alpha_{1-2}$$

УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЯ:

1. Запустить онлайн-вьюер. Откроется учебная топографическая карта.



Менять масштаб просматриваемого изображения можно колесиком мыши. Дополнительно в файле точки, соответствующие 10-секундным отрезкам, **соединены зелеными линиями**. Т.е. это дополнительно проведенные параллели и меридианы.

2. Выбрать две точки на листе топографической карты, к которым будут привязаны все измерения. Указать их названия в шапке бланка.

Исходные параметры

На карте даны две точки 1,2 (A,B):

1-я (A) _____

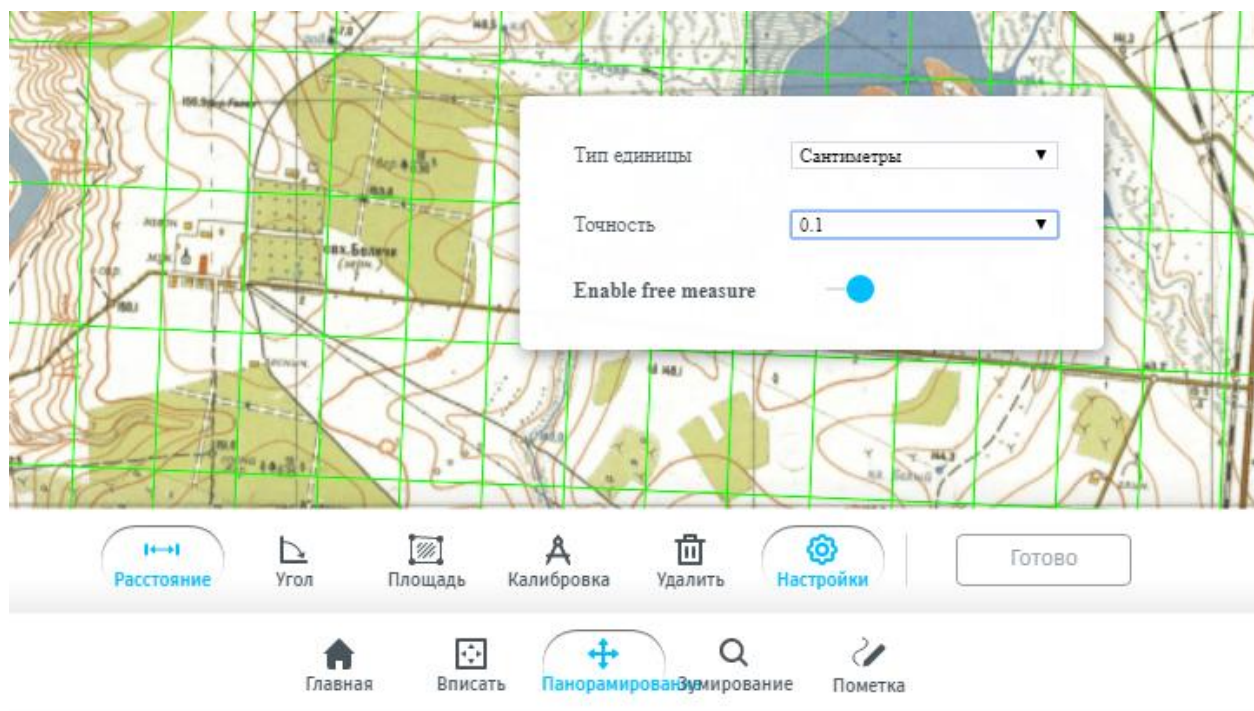
2-я (B) _____

3. Описать лист топографической карты, заполнив таблицу 1. Указать масштаб карты (численный вид), номер зоны, долготу осевого меридиана зоны, номенклатуру.

Номенклатура	
Номер зоны	

Долгота осевого	
Масштаб карты	

4. Определить геодезические координаты точек – широту (В) и долготу (L) – с точностью до 1 секунды. Нужно выбрать инструмент **Измерение** (расположено на нижней панели меню). Откроется дополнительное меню для измерений. Необходимо зайти в Настройки, установить единицы измерений (сантиметры), точность (до 0,1). Обязательно подвиньте рычажок Enable free measure.



Нужно провести перпендикуляр от выбранной точки до ближайших южной и западной зеленых линий, т.е. до ближайшей южной параллели с известной широтой и ближайшего западного меридиана с известной долготой. Когда вы отметите вторую точку отрезка, появится расстояние в см. Нужно перевести расстояние в секунды, если известно, что 10-секундный отрезок по широте составляет 3,1 см, а по долготы - 1,8 см.

Заполнить таблицу 3.

Номера точек	Геодезические координаты	
	В (широта)	L (долгота)
1 (А)		
2 (В)		

5. Определить прямоугольные координаты точек – абсциссу и ординату – с точностью до 5 м.

Измерения проводить аналогично пункту 4, но перпендикуляры проводить к линиям

километровой сетки. Вычислить разность соответствующих координат точек. Заполнить таблицу 2.

Номера точек	Прямоугольные координаты, м	
	X	Y
1 (А)		
2 (В)		
$\Delta =$		

6. Измерение расстояния и дирекционного угла:

Проведите измерение расстояния от 1-й до 2-й точки S в см, переведите в метры на местности, значение внесите в таблицу 4.

	Измеренные	Вычисленные
Дирекционный угол (α) направления: 1-2 (А,В)		
Расстояние (S) между точками: 1-2 (А-В), м		

Выберите инструмент измерения углов. Чтобы измерить дирекционный угол, нужно отметить 3 точки: первая точка (1) это проекция вашей точки А на ось Y (выберите горизонтальную линию сетки севернее вашей точки, поскольку дирекционный угол считается от северного направления линии сетки (оси X) до выбранного направления), вторая (2) - ваша точка А, третья (3) - ваша точка В.



Обратите внимание, что измерения углов в программе ведутся по часовой (от 0^0 до 180^0) и

против часовой (от 0^0 до 180^0). Если измеряемый Вами угол больше 180^0 , необходимо полученное значение вычесть из 360^0 . На рисунке при измеренном значении $131,8^0$ дирекционный угол будет равен $228,2^0$. Измеренное (или рассчитанное) значение дирекционного угла α выбранного направления нужно внести в строки таблиц 4 (измеренные) и 5.

Внимание! Измеренное значение вносится в бланк дважды и должно быть одинаковым!

7. Вычислить дирекционный угол A выбранного направления и расстояние S , решив обратную геодезическую задачу. Полученные значения округлить до $0,5^0$ и 1 м соответственно, данные занести в таблицу 4. Сравнить измеренные и вычисленные значения дирекционного угла и расстояния. Разность значений не должна превышать 1^0 для углов и 10 м для расстояний.

8. Определить, пользуясь формулами и информацией из зарамочного оформления карты, другие ориентирующие углы выбранного направления (точка 1 – точка 2), последовательно заполняя таблицу 5.

Ориентируемая линия	1-2 (А-В)
Дирекционный угол α	
Сближение меридианов γ	
Геодезический азимут A	
Магнитное склонение D	
Магнитный азимут A_m	

- Определить среднее значение Гауссова сближения меридианов γ на листе карты.
- Вычислить геодезический азимут A_f выбранного направления.
- Вычислить величину склонения магнитной стрелки D на текущую дату.
- Вычислить магнитный азимут A_m выбранного направления.