

СПЕЛЕОТОПОСЪЕМКА (топографическая съемка пещер)

Топографическая съемка пещер – это комплекс топографо-геодезических работ для определения формы и размера пещеры.

Топос (греч.) – место, местность

Графос (греч.) – писать

Спелеотопосъемка – самая суть спелеологии. Крымские спелеологи еще в пятидесятых годах сформулировали принцип "есть карта и описание - есть пещера, нет карты и описания - нет пещеры".

Главными целями и задачами топосъемки пещер являются:

1. Создание документа (на основании одного делается заключение о существовании пещеры)
2. Изучение пещеры (понимание закономерности и логики образования, устройства пещеры, а без этого понимания невозможны ни научные выводы, ни поиск новых продолжений, ни эффективное планирование дальнейших работ)
3. Привязка к местности (нанеся на карту местности нитки топосъемок известных на данном участке пещер, можно спрогнозировать место их разгрузки, оценить перспективу соединения пещер в единую систему, и наметить участки для поиска новых пещер)
4. Ориентирование в пещере (чтобы не заблудиться, либо найти/показать определенное место на поверхности)
5. Схема навески (длина требуемой веревки, количество перестежек => количество спитов, карабинов, ушей и т.д.)
6. Глубина/длина пещеры (поскольку борьба за самую глубокую (длинную) пещеру мира не утихает, то вопрос, чья пещера глубже(больше), можно выяснить только путем топосъемки)
7. Приоритет первопрохождения (чтобы раз и навсегда прекратить споры о том, кто первым прошел такой-то участок пещеры (или всю пещеру) решили: кто оттопосъемил, тот и считается первопроходцем)

Особенностями подземной топосъемки от поверхностной являются:

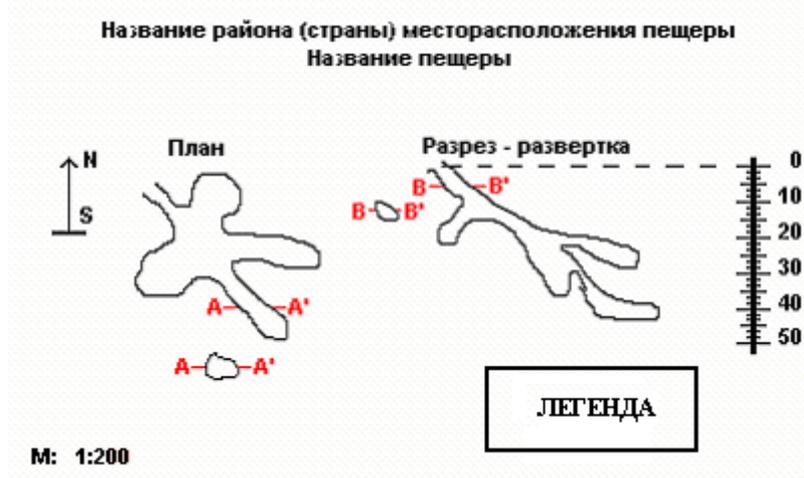
- Суровые условия работы. Вода, льющая в том числе и сверху, многие участки съемок представляют из себя колодцы, то есть работать приходится на веревке. Лед, снег, плохая освещенность.
- Если задача геодезиста (человек, который работает с поверхностной топосъемкой) состоит в том, чтобы получить проекцию рельефа (то есть двумерного объекта) на горизонтальную плоскость, то мы имеем дело уже с трехмерным объектом, имеющим трубообразную, часто ветвящуюся и вновь замыкающуюся на себя форму. Если горизонтальную пещеру можно представить на одной плоскости, то многоэтажную пещерную систему или вертикальную пропасть мы представляем в двух (или более) изображениях: плане и разрезе-развертке.
- Невозможность непосредственного измерения многих углов и расстояний. Находясь в отвесе на веревке, невозможно промерить расстояние до дальних стенок. Как правило, недоступен и потолок. Поэтому, многие расстояния оцениваются на глаз или косвенными методами (НО: на глаз – наименее точное и нежелательное к использованию).
- Ограниченность во времени. Длительность работ в природной пещере обычно не превышает нескольких дней. Проверить отстроенную съемку можно лишь на

поверхности, и все допущенные пробелы и ошибки либо исправляются сразу, либо уже в следующую экспедицию, что, несомненно, затягивает работу с готовым материалом.

В спелеологии пещера считается откартирована, если для нее составлены:

- план;
- разрез – развертка (на ее основании составляется схема навески снаряжения для вертикальной части полости);
- сечения (сечение хода).

Каждая карта должна иметь условные обозначения и содержать наименование объектов.



Масштаб – отношение длины на местности к единице длины на карте (1:500 – в 1 см. карты 500 см. местности) с обязательной линейкой.

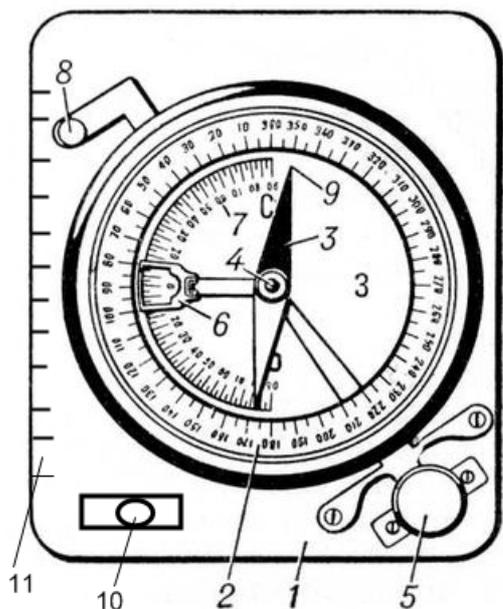
Легенда – отвечает на вопросы:

1. Кто и когда делал топосъемку (полевые работы);
2. Кто и когда чертил эту карту (камеральные работы);
3. Условные обозначения:
 - сталактиты, сталагмиты, сталагматы;
 - сифоны;
 - натеки и т.д. и т.п.
4. Наименования объектов и их названия (если имеются):
 - большой колодец;
 - тупик;
 - сифон № 1;
 - У3 (уступ 3 метра);
 - К150 (колодец глубиной 150 метров).

Инструменты, используемые для топосъемки.

В спелеологии обычно применяется полуинструментальная (без теодолита) съемка, погрешность которой не должна превышать 5%.

Для измерения магнитных азимутов используется горный компас:



- 1 — основание;
- 2 — лимб круга;
- 3 — магнитная стрелка;
- 4 — острие, на котором вращается магнитная стрелка;
- 5 — зажимный винт магнитной стрелки;
- 6 — отвес;
- 7 — лимб отвеса;
- 6-7 — эклиметр;
- 8 — зажим отвеса;
- 9 — северный конец магнитной стрелки;
- 10 — уровень;
- 11 — вдоль корпуса – сантиметровая шкала

Шкала компаса – цена деления 1° (всего - 360°). Используется обратная шкала (против часовой стрелки – 0° [12 по часам], 90° [9 по часам], 180° [6 по часам], 270° [3 по часам]).

На правильном горном компасе на южной стрелке намотана медная проволока (в качестве противовеса).

Компас располагается дыркой к себе.

По северной стрелке определяют азимут наблюдаемого объекта. Для этого визир компаса направляется наблюдателем на объект.

Допускается так же использование спортивных компасов с ценой деления шкалы в 1° . Шкала такого компаса – прямая (по часовой стрелке). Основное преимущество – устойчивая стрелка компаса. В этом случае, горный компас обычно используют только для измерения вертикальных углов (см. *эклиметр*).

Эклиметр (клинометр) – для измерения углов в вертикальной плоскости (встроен в горный компас).

Цена деления - 1° . Отсчет идет относительно середины шкалы (принимается за 0° , что соответствует показанию в горизонтальном положении). Будем обозначать рост глубин пещеры отрицательным углом (спуск), а ее уменьшение – положительным (подъем).

Рулетка (мерный шнур) – для определения длины хода. Обычно используются длиной от 10 до 30 метров. Мерный шнур изготавливается из обычной веревки диаметром 4 – 6 мм, через каждый метр которого завязан узел.

Карандаш, пикетажка (журнал съемки) – используются для записи данных топосъемки, по результатам которой и строится карта пещеры.

Пикеты – небольшие пронумерованные листки бумаги (или любого другого материала).

Лазерная рулетка «Disto» – более точный прибор для определения длины хода. Позволяет измерять расстояния до 100-та метров.

Suunto Tandem – для измерения магнитных азимутов и углов в вертикальной плоскости (и компас, и эклиметр два в одном). Принцип работы существенно не отличается от горного компаса. Оснащен окулярами (для азимута и склонения отдельно) для более точного измерения углов, точность измерения составляет $\pm 0,5^{\circ}$.

Гидронивелир – используется для точного определения перепада высот. (Например, когда перепад очень незначителен на большой протяженности; так же используется для разрешения споров о глубине пещер). Представляет собой манометр с большой шкалой (диаметр 10 – 20 см), который через штуцер соединяется с тонкой трубкой длиной 50 – 60 метров. На ее втором конце закрепляется небольшой пластмассовый сосуд с водой. Система заполняется дистиллированной или прокипяченной пресной водой с 5%-ной добавкой мыльного раствора и тарируется.

При работе с гидронивелиром надо следить, чтобы в верхней точке съемки непрерывно находился спелеолог с напорной емкостью, а в нижней – с манометром.

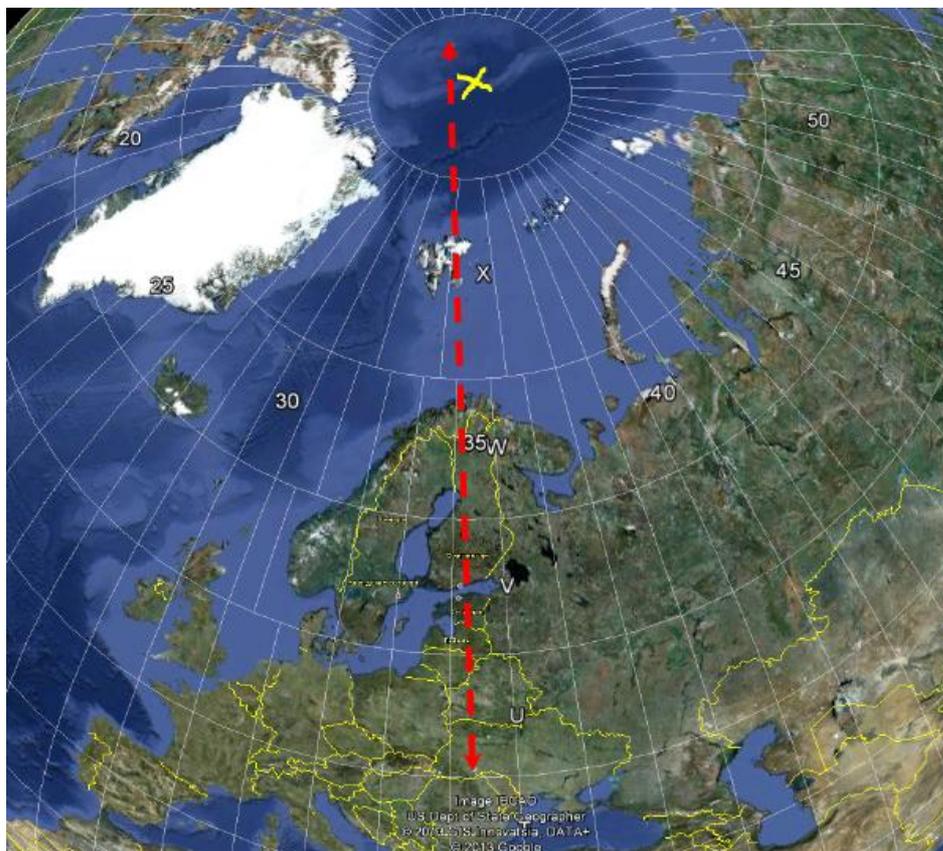
Û Азимут есть угол между направлением на магнитный север и направлением на предмет, причем этот угол отсчитывается по часовой стрелке и может иметь значения от 0 до 360 градусов.

Магнитный север и географический север не совпадают. Вообще-то магнитный север находится в Антарктиде, а северная стрелка указывает на южный магнитный полюс, ведь N тянется к S. Ну так вот, магнитный север, который на самом деле южный, находится в сотнях километров от географического полюса, да кроме того еще медленно перемещается.

Магнитная стрелка компаса указывает на магнитный, а не на географический полюс. Понятие о географическом, или, иначе, истинном, полюсе связано с представлением о форме Земли и характере ее вращения: Северный и Южный полюсы — это точки, через которые проходит ось вращения земного шара.

В то же время Земля обладает свойствами магнита, и вокруг нее существует магнитное поле. Как всякий магнит, она имеет два полюса, не совпадающие с географическими. Северный магнитный полюс находится под 74° северной широты и 100° западной долготы. Южный магнитный полюс лежит под 69° южной широты и 144° восточной долготы. *Магнитные полюсы с течением времени медленно перемещаются; правда, перемещения эти не настолько значительны, чтобы учитывать их для практических целей в топосъемке.*

Итак, существуют истинный и магнитный полюсы, не совпадающие между собой. Соответственно этому есть истинный и магнитный меридианы. И от того и от другого можно отсчитывать направление на нужный предмет. В одном случае мы будем иметь дело с истинным азимутом, в другом — с магнитным. Истинный азимут — это угол между истинным (географическим) меридианом и направлением на данный предмет. Магнитный азимут — угол между магнитным меридианом и направлением на данный предмет. Понятно, что истинный и магнитный азимуты отличаются на ту же самую величину, на которую магнитный меридиан отличается от истинного. Эта величина называется магнитным склонением. Если стрелка компаса отклоняется от истинного меридиана к востоку, магнитное склонение называют восточным, если стрелка отклоняется к западу, склонение называют западным. Восточное склонение часто обозначают знаком «+», западное — знаком «-». Величина магнитного склонения неодинакова в различной местности.



Все топосъемки строятся по магнитному меридиану, но если придется привязывать нитки ходов к географической карте, надо делать поправку на склонение. Именно поэтому необходимо обязательно указывать дату выполнения топосъемки (полевых работ).

Идея выполнения топосъемки очень простая.

У нас есть две точки (пикеты). С помощью рулетки измеряем расстояние между ними. Прикладывая компас к натянутой рулетке, замеряем азимут с одной точки на другую. Прикладывая к рулетке же эклиметр (прибор для измерения вертикальных углов - отвес и шкала в градусах), получаем вертикальный угол.

При использовании лазерной рулетки и *Suunto Tandem* смысл тот же самый, только при измерении углов отводите лазерную рулетку от прибора, иначе последний дает большую погрешность. Так же рекомендуется использование налобного фонарика с выносным блоком батареек (сзади на каску или на пояс).

Итак, мы получили расстояние между точками L , горизонтальный (a) и вертикальный (b) углы. Если мы примем первую точку за нулевую ($x=0, y=0, z=0$), а ось "Y" направим на магнитный север, то мы легко получим координаты второй точки.

Далее измеряем те же величины между второй и третьей точками, а координаты третьей точки получаем прибавлением к координатам второй точки вновь вычисленных X, Y и Z . Таким образом, соединив данные точки, мы получаем цепочку векторов с концевыми точками (пикетами) с известными координатами.

На плоскости (бумаге) мы строить только проекции наших векторов, вычислить которые можно зная свойства прямоугольного треугольника и теорему Пифагора.

$$\begin{aligned}X &= L \sin(a) \cos(b) \\ Y &= L \cos(a) \cos(b) \\ Z &= L \sin(b)\end{aligned}$$

Для плана пещеры (проекция на плоскость X - Y) мы берем первые две величины: X и Y .

Отстроив их на миллиметровке, мы получим "ход", который описывает нашу пещеру. А если мы в каждой точке измеряли расстояние от пикета до правой и левой стенок, то мы легко обрисуем наш ход и получим изображение еще и ширины ходов.

Но теперь мы хотим построить разрез-развертку.

Û Разрез-развертка – это разрез пещеры вертикальной поверхностью, изгибающейся вместе с изгибами пещеры.

Поэтому, для развертки мы вычисляем две величины:

$$\begin{aligned}L' &= L \cos(b) \\ Z &= L \sin(b)\end{aligned}$$

Как видим, здесь нет ни X , ни Y , вместо них вычисляется некая L' , поскольку горизонтальное направление поверхности сечения постоянно меняется. *Проекция L на горизонтальную плоскость называется проложением. А проекция L на вертикальную ось Z – превышением.*

Если пещера ветвится, то на плане это отражается ясно и понятно. Но на разрезе-развертке ситуация неоднозначна. Обычно две разветвившиеся развертки рисуют на одной плоскости. Одну из ветвей можно пустить вправо, другую влево, можно в одну сторону (если они вновь соединяются).



Работа происходит всегда в паре. Один человек (помощник) держит нулевой конец рулетки и ставит бумажки или камешки в качестве пикетов. Второй (сам топосъемщик) держит другой конец рулетки и отсчитывает по ней расстояние. Он же измеряет азимут и вертикальный угол и он же ведет записи и зарисовки.

При использовании лазерного дальномера, обязанности можно перераспределить, тогда один делает замеры, а второй заполняет пикетажный журнал, но есть нюансы по заполнению графы «примечание».

№ пикета	№ пикета	Длина (м)	Азимут (гориз. угол)	Склонение (вертик. угол)	Лево (м)	Право (м)	Верх (м)	Низ (м)	Примечание
1	2	58	5	-4	1.5	1	>15	0	в стену

Это значит: с пикета 1 на пикет 2, азимут 58, длина 5м, вертикальный угол -4° (наклон вниз), до правой стенки 1.5 м, до левой 1 метр, потолок не виден, но более 15м, стоим на полу, следующий пикет упирается прямо в стену (а не в середину прохода).

В графу «примечания» заносятся все дополнительные сведения, полученные в ходе съемки (высотное положение марок, замечания о морфологии, геологии, археологии полости, данные о глубине воды) с точки зрения начального пикета (т.е. пикета 1).

Дополнительно к записям делаются еще и рисунки. Любая развилка, зал, расширение зарисовываются. Время от времени рисуются также сечения. Для колодцев - сечения

горизонтальной плоскостью, для субгоризонтальных ходов - вертикальные сечения. На топосъемках они рисуются в виде выносок.

Û В процессе работы помощник и топосъемщик не должны меняться ролями. На одном и том же участке, с одним и тем же набором инструментов при всех прочих равных условиях, разные люди будут систематически получать разную точность. Это называется "тщательность исполнения". Тщательность исполнения это индивидуальная особенность каждого конкретного съемщика.

Û Топосъемка несколькими парами не есть хорошо. Такие съемки почти всегда отличаются низким качеством.

Û Тот, кто вел записи, тот и строит потом карту. Как бы аккуратно ни велись записи, посторонний человек в них не разберется или разберется, но допустит ошибки.

Û Строить карту надо не позже, чем через три дня после съемки. В первые дни человек еще может вспомнить как выглядело то, что он снимал. Потом все стирается из памяти и гораздо труднее выявить ошибки.

Û Пещеру надо стараться снимать от начала до конца одним компасом. Если работа идет в несколько пар, то надо знать различие в компасах и вносить поправки. Если и это невозможно (например, часть системы отснята много лет назад неизвестно каким компасом), то подстраивать к ней новую часть надо с неким перекрытием, "корнем". То есть, повторно отснять небольшую часть системы.

Если надо нарисовать отснятое прямо на месте, а это горная местность, то можно на миллиметровке откладывать транспортиром азимуты, а линейкой или циркулем - расстояния. Значения синусов выбиты на обратной стороне горного компаса или в комплект топосъемочного нужно еще включить таблицы Брадиса. Если нет транспортира, то можно использовать компас, сориентировав лист миллиметровки по линии север-юг. Но результат будет гораздо менее точен, по сравнению с вычислением координат.

Главная проблема в том, что при построении транспортиром ошибка накапливается от точки к точке, а при вычислении координат нет (исходим из того, что компьютер не ошибается и цифры мы набиваем без ошибок).

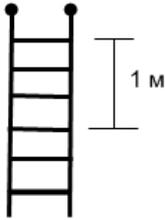
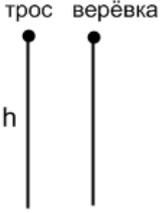
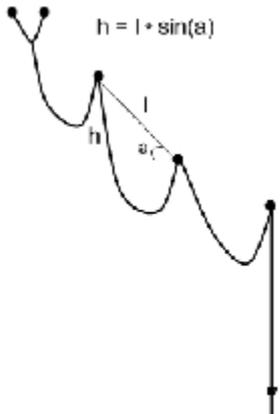
Кроме того, результат сильно зависит от масштаба построения и от аккуратности чертежника. Например, мы строим изображение в масштабе 1:500. Если, откладывая расстояния циркулем мы ошибемся на полмиллиметра, то это будет сразу ошибка в 25см на местности. Все это легко проверить: постройте один и тот же участок сначала транспортиром, а потом по координатам. Результаты могут отличаться довольно сильно.

Û Транспортиром строятся только черновые наброски, но не окончательный вариант топосъемки.

Сейчас существует множество программ для построения топосъемок. Они не только вычисляют координаты точек и представляют их в нарисованном виде, но и могут вычислять и разбрасывать ошибки в замкнутых контурах, обрисовывать стенки. Самые навороченные рисуют объемные изображения.

Топосъемка вертикальных частей пещер делается группой из 2-ух человек (не больше!). Одной из самых важных задач при проведении топосъемки вертикальных частей пещеры – определение высоты (глубины) колодцев.

Способы определения глубины колодца зависят от способа прохождения вертикальных участков полости.

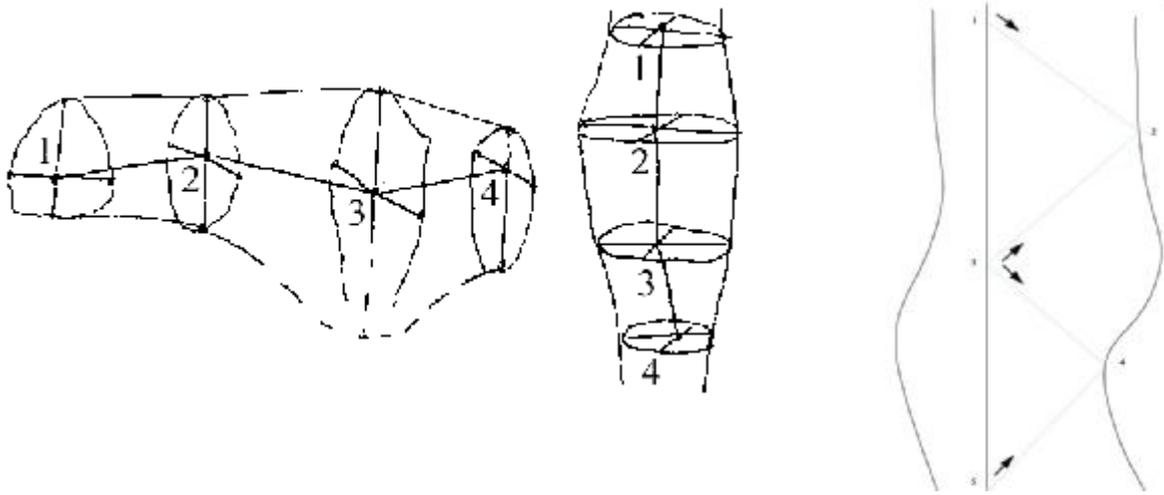
<p>Использование лесенок – использовался раньше, но встречается иногда и сейчас.</p> <p>Глубина колодца определяется по количеству ступенек на метр длины (на 1 метр приходится 3 ступеньки).</p>	
<p>Тросо–веревочная техника (ТВТ) – позволяет определять довольно точно глубину пролета, т.к. трос можно считать прямой, практически нерастяжимой нитью.</p> <p>Недостатком является увеличение ошибки измерения из-за использования промежуточных точек крепления – приходится считать свои пары шагов (движений), которые не очень точны.</p>	
<p>Single Rope Technic (SRT) – используется мерный шнур (тот же, что и при съемке горизонтальных участков). Измеряется расстояние от перестежки до перестежки с учетом их разноса по горизонтали:</p> $h_0 = h \sin(\alpha),$ <p>где h – расстояние между перестежками; α – угол наклона от горизонтального уровня.</p>	

При использовании лазерного дальномера удобнее использовать другой метод: мы замеряем длину вниз, угол и (если не строго вертикаль) азимут. Форму колодца обрисовываем либо по сторонам света С, Ю, З, В. Либо, если колодец в горизонтальном сечении вытянут, то по длинным и коротким направлениям. Пример записи:

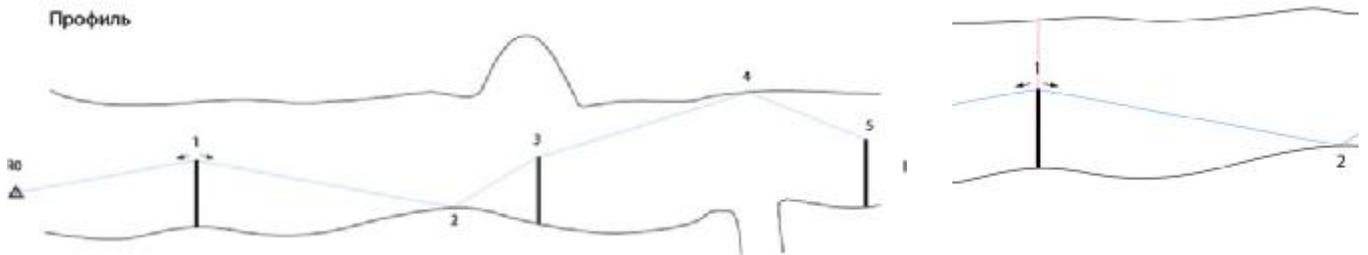
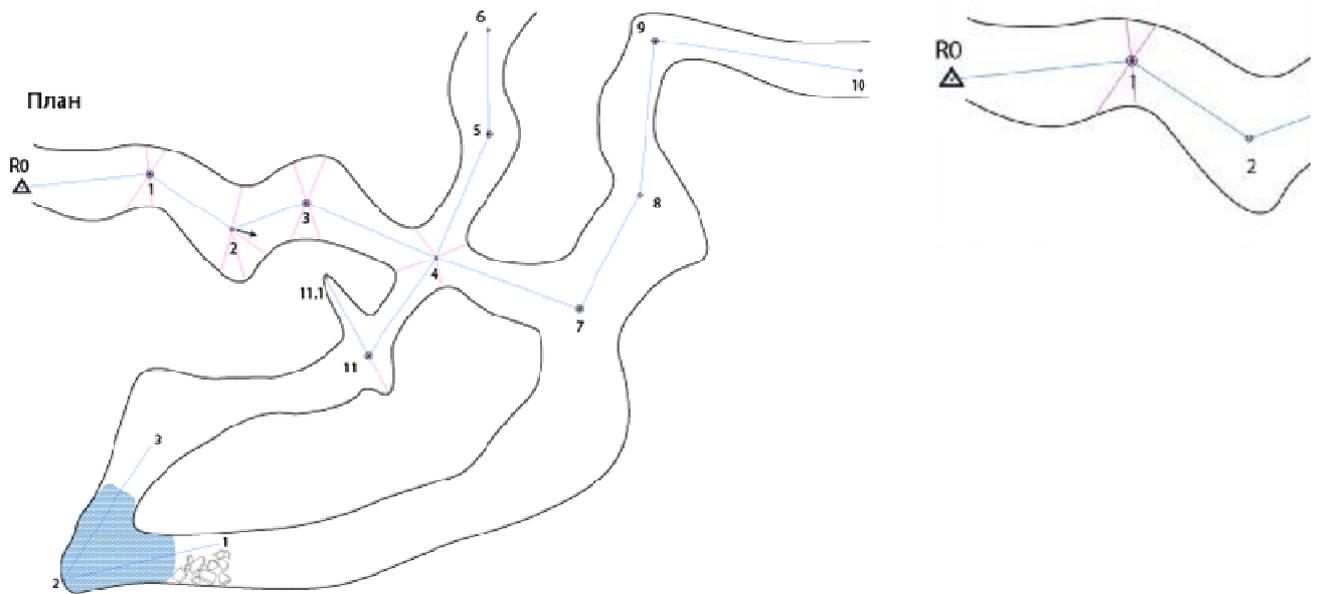
№ пк	№ пк	Длина	Азимут	Склонение	Лево	Право	Верх	Низ	Примечание
12	13	8	–	90	20-5.5	110-10	210-0	290->15	в стену

Это значит: с пикета 12 на пикет 13, азимута нет (строгая вертикаль), длина 8м, вертикальный угол 90°, расстояния до стенок по Аз20 - 5.5м, по Аз110 - 10м, по Аз 210 - нуль (мы висим у этой стены), по Аз 290 - видимость 15м, далее не видно за поворотом. Колодец.

Два способа обрисовки представлены на рисунке.



Топосъемка горизонтальных пещер или частей пещер.



Топосъемка лабиринтов.

Разведывательные группы из опытных спелеологов прокладывают магистральные линии съемки («антенны»), все боковые ходы маркируются реперными точками (стационарными пикетами), а короткие тупиковые ходы полностью картируются. Затем выделенные

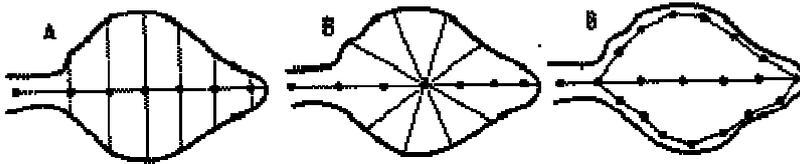
магистралями съёмочные поля разбиваются на отдельные поля, съёмка которых осуществляется несколькими группами, каждая из которых по окончании обхода полигона завершает детальную съёмку его внутренней части, а затем начинают обработку следующего полигона.

Если пещера имеет несколько этажей, то съёмка каждого из этажей производится отдельно, а затем поэтажные планы и разрезы увязываются между собой соединительной съёмкой.

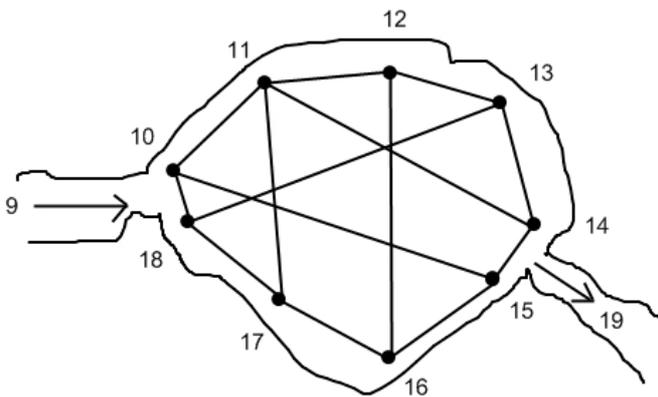
Топосъёмка больших залов.

Не очень крупные залы: метод радиального сечения с обходом – ставите пикет в центре и от него ставите точки по углам зала.

Если очень крупный, то от входа вести две нитки по периметру, замыкая их у выхода.



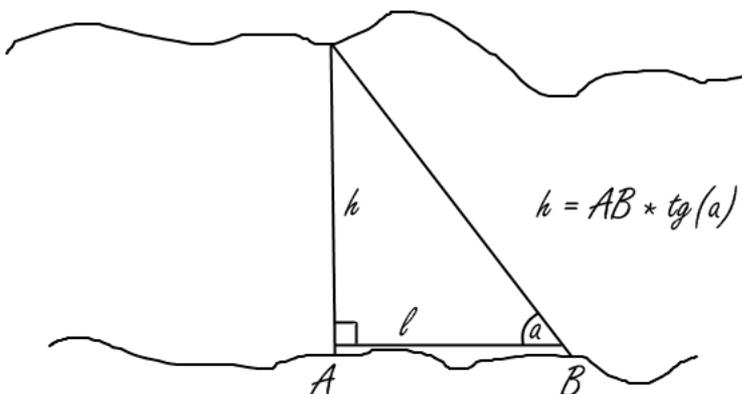
Метод замкнутого полигона.



Измерение высот потолка.

При использовании лазерного дальномера трудностей не возникает.

Триангуляционный метод.



Высоты до 7-10 м можно определить на глаз. Для этого надо развивать глазомер. Вы должны знать высоту стенки, на которой обычно тренируетесь дома, и помнить "как выглядит" эта высота.

Приближенные способы измерения.

Есть точки, находящиеся на главных цепочках (опорных ходах) топосъемки (магистральные точки), а есть точки обрисовки (расстояния до стенок, до углов зала, короткие цепочки в тупики). Если мы ошибемся в определении координат точки обрисовки, то на качестве дальнейших измерений это не отразится. Если же мы ошиблись в координатах магистральной точки, то ошибка перейдет во все без исключения точки, отмеренные от нее.

Û Ошибки измерений на магистралях накапливаются, а в точках обрисовки нет. Магистральные точки измеряются точными методами, а точки обрисовки могут измеряться приближенными способами.

Антропометрия – измерение малых расстояний различными частями тела. Ширина раскинутых рук до кончиков пальцев в точности равно росту человека. Это заметил еще Леонардо да Винчи. Длина от кончиков пальцев до согнутого локтя - 51см (старая русская мера длины - локоть как раз составляла 51 см). Рост с поднятой вверх рукой. Расстояние между растопыренными большим пальцем и мизинцем. Померьте свои расстояния и выучите их наизусть. Это не трудно, а пользы будет много.

Заключительный этап – проверка топосъемки.

1. Если ход не замкнут, то единственным надежным способом контроля является повторная съемка.

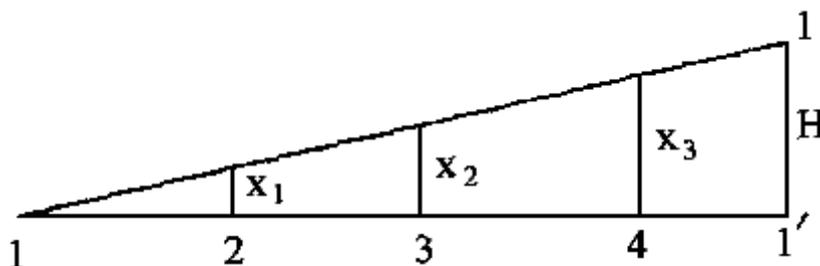
2. При замкнутом ходе необходимо определить наличие невязки и, если она не превышает допустимых пределов (5%), «увязать» нитку хода, «разбросав» невязку пропорционально длинам ходов.

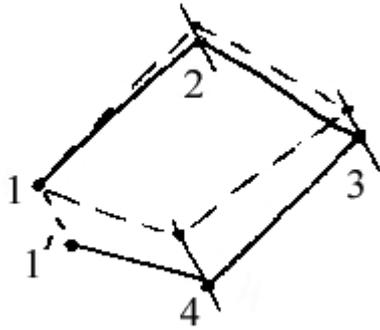
Невязка. Пусть у нас есть некоторая кольцеобразно замкнутая полость. Мы построили на ней замкнутую топонитку: 1-2-3-4-1. Очевидно, что если бы мы производили измерения с бесконечно большой точностью, то при построении на карте последняя точка совпала бы с первой точкой. Но каждое измерение мы делали с некоторой погрешностью, поэтому при построении последняя точка не попадет точно в первую, а ляжет где-то поблизости. Назовем ее 1'. Расстояние 1-1' называется линейной невязкой.

Невязка нужна для того, чтобы оценить качество топосъемки. Интуитивно понятно, что чем меньше невязка, тем лучше топосъемка. И чем длиннее замкнутый контур, тем больше будет невязка. Поэтому сказать: "невязка равна 1м." - значит ничего не сказать. Надо указать, для какого контура. Например: "невязка 1м на 10м" или "1м на 200м". В первом случае качество чрезвычайно плохое, во втором превосходное. По невязке мы получаем именно оценку качества, но не можем узнать качество точно. Почему? Во-первых, две ошибки могут уничтожить одна другую. Невязка близка нулю, а топосъемка при этом не верна. Во-вторых, не все ошибки отражаются на невязке.

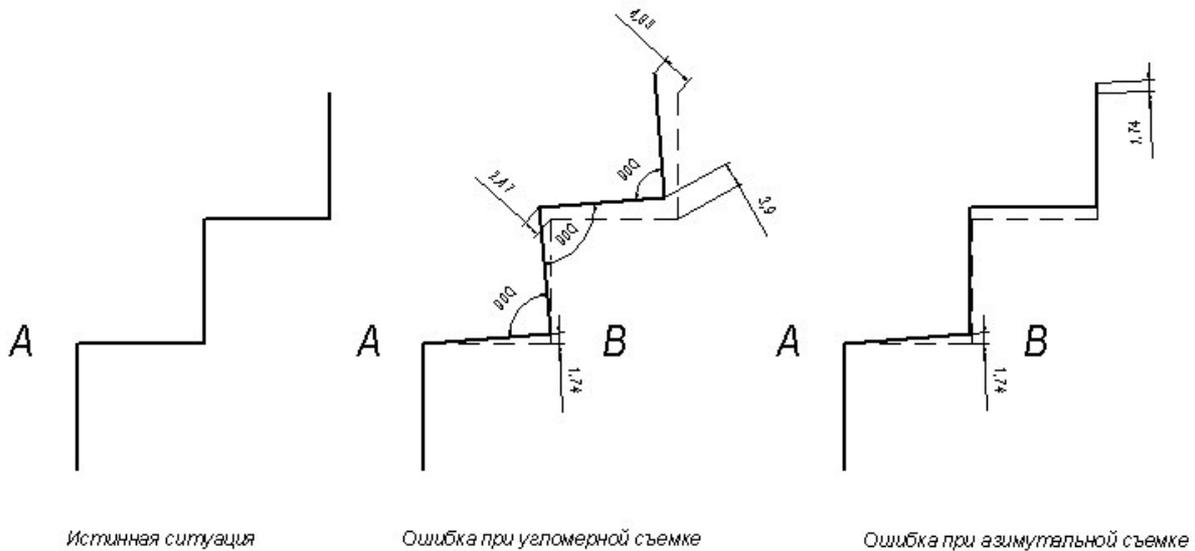
На невязке отражаются случайные ошибки. Систематические ошибки на ней не отражаются (например, если лимб компаса сбит на 10°).

Как сделать «увязку»? Пусть у нас контур состоит из четырех точек 1-2-3-4-1'. Развернем контур в линию следующим образом:





Перпендикулярно ему отложим невязку 1-1'. Теперь на топосъемке через все точки контура проведем серию линий, параллельных линии 1-1'. Циркулем будем брать расстояния поправок для каждой точки и откладывать их в одну и ту же сторону. По построенным точкам строим новый контур.



Это всего лишь один и самый простой способ разбрасывания невязки. Для более точной разброски используют стандартные методы, как для геодезической съемки.

Использованная литература:

1. Ориентирование и топосъемка в подземных полостях. Описание пещер. Дягтерев А.П. 2001.
2. Топографо-геодезические работы в горизонтальных пещерах. Грачев А.П. 2010.
3. «Лекция по спелеотопосъемке». Карнилович Александра. Спелеоклуб Сокольники-РУДН.
4. Центральный совет по туризму и экскурсиям. Методика описания пещер. – М. Центральное рекламное-информационное бюро Турист, 1980.