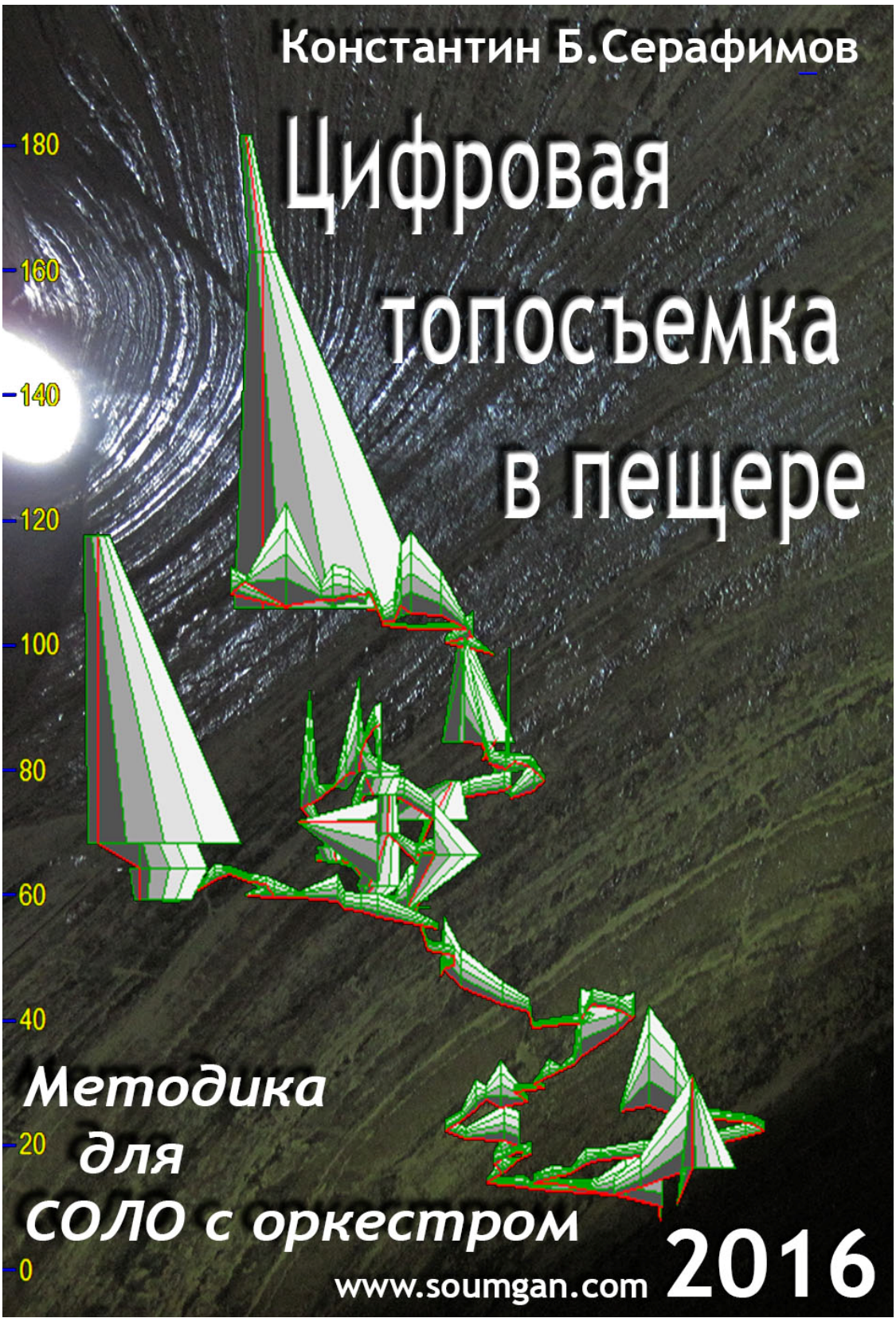
АССОЦИАЦИЯ СПЕЛЕОЛОГОВ УРАЛА

Книжная полка АСУ
Выпуск 22



Пермь - 2016

Спелео-группа «Fantom»

Цифровая топосъемка в пещере

методика для соло с «оркестром»

Konstantin B.Serafimov
http://www.soumgan.com
24 октября 2015 года

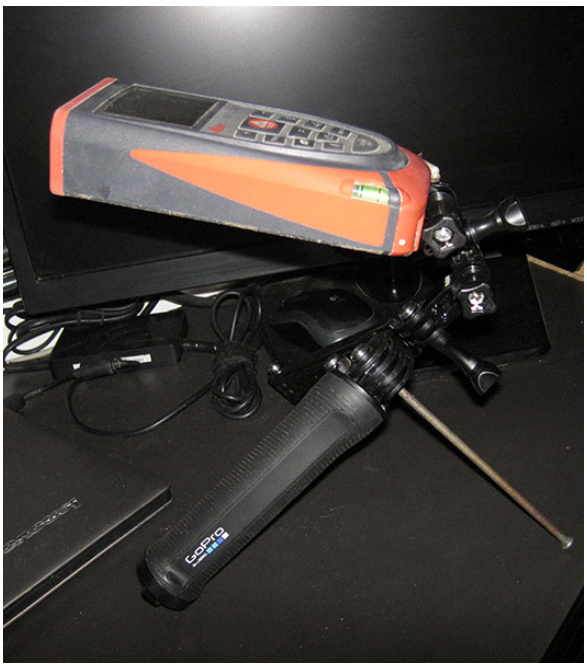
Предлагаемая вниманию методика родилась для решения вполне конкретной задачи: составление топо-схемы некогда крупнейшей, а на сегодня второй по протяженности системы Мира в каменной соли, находящейся в Израиле.

Местной особенностью является ограниченность числа, невысокая квалификация и разобщенность спелеологов страны. А имеющих представление о топографической съемке подземных полостей вообще по пальцам пересчитать.

Серьезной проблемой является немотивированный запрет на посещение пещер со стороны местных природоохранных организаций, что вынуждает вести партизанскую войну малыми группами.

Все перечисленные обстоятельства исправлению не поддаются.

Поэтому пришлось задуматься о методике, позволяющей проводить съемку в одиночку. А если удастся найти напарника – так кашу маслом не испортишь!



Оглавление

Существующие методики ..... стр. 4
1. Топофил ..... стр. 4
2. Особенности съемки «топофилом» ..... стр. 7
А) Растяжение нитки ..... стр. 7
Б) Фиксация нити ..... стр. 7
В) Расположение станций ..... стр. 7

Инструмент и мы ..... стр. 8
Основные принципы методики ..... стр. 9
Ключевые определения стр.10

Измерительный инструмент стр.10
1. Лазерный дальномер стр.11
2. Таинственный "Disto X" стр.12
3. Цифровой клинометр стр.13
4. Цифровой компас стр.13
5. Комплексные программы стр.14
6. Вопрос защищенности инструмента стр.14
7. Вопрос точности стр.15

Оборудование съемочных станций стр.16
1. Штатив стр.17
А) Размер стр.17
Б) Конструкция головки стр.17
2. Переоборудование штатива стр.18
3. Адаптация под крепление специальной платформы стр.19
4. Обеспечение минимально удобного базового расстояния стр.20
А) Максимальная высота штатива стр.20
Б) Минимальная высота штатива стр.20
5. Платформа для измерительного инструмента стр.21
А) Конструкция стр.21
Б) Материал стр.21
В) Форма стр.21
Г) Размеры стр.22
Д) Геометрия стр.22
6. Крепление платформы к штативу стр.23
7. Мишень стр.25
8. Центровка стр.25

Методика топографической съемки стр.26
Кое-что о положении базы измерительного инструмента стр.28
А) Кнопка «On/Dist» стр.28
Б) Разворот штатива стр.29

Измерение азимутов круто-наклонных ходов стр.30
Измерение больших уклонов стр.31
Вопрос калибровки стр.32
1. Калибровка компаса стр.32
А) Способ вращения вокруг трех осей стр.32
Б) Способ вращения восьмеркой стр.32
2. Калибровка клинометра стр.33

Некоторые выводы и рекомендации стр.33

Существующие методики

Не я первый пришел к идее соло-топографической съемки. Как известно, «*ничто не ново под луной*».

Главной проблемой соло-топосъемки является измерение расстояний между двумя станциями. Традиционные методики измерения расстояний между станциями предполагают минимум двух исполнителей.

1. Топофил

Между тем уже очень давно существует инструмент для соло.

Еще в середине XX века выдающийся французский спелеолог, инженер и изобретатель Бруно́ Дрессле́р (*Bruno Dressler*) предлагает устройство под названием «Топофил» (***topofil***), измеряющее расстояния с помощью механического счетчика оборотов. Счетчик приводится в действие вращением специального вала намотанной на него нитью.

Алгоритм измерения расстояний топофилом следующий.

Конец нити привязывается на станции. При движении съемщика к следующей станции нить выходит из «топофила», как паутина у паука. Запас нити содержится на катушке с другой стороны вала механического счетчика, который и измеряет длину прошедшей через вал нити.

Дресслер не был изобретателем принципа: ранее подобные устройства выпускались компанией «*Chaix*» для лесных хозяйств. Именно их стоимость и хрупкость стали причиной создания Дресслером в 1964 году первого спелеологического «Топофила» в прочном алюминиевом корпусе, с пузырьковым уровнем и транспортиром для измерения углов (**Рис. 01**).

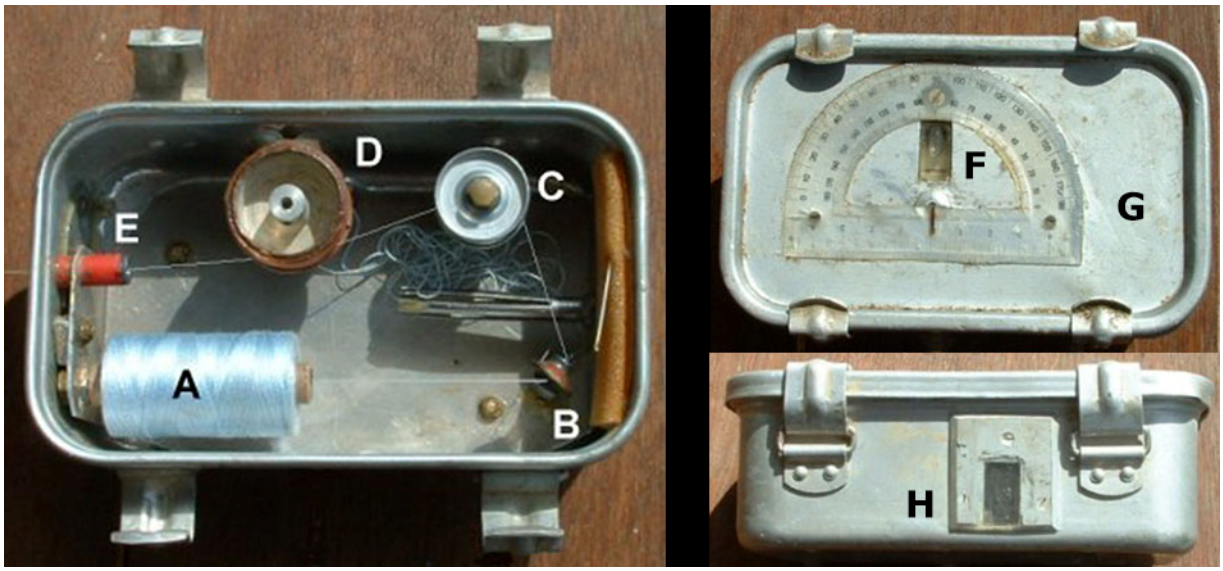


Рис. 01. Топофил Дресслера (1964 год)

A – катушка ниток (1 км); **B** – нитенаправитель; **C** – натяжитель нити от швейной машинки; **D** – вал счетчика оборотов; **E** – втулка выхода нити; **F** – пузырьковый уровень; **G** – транспортир; **H** – окно счетчика.

Между **B** и **C** закреплена ось для запасной катушки.

Позднее за изготовление усовершенствованных топофилов (**Рис.02**) берется Джо Марбах (*Jo Marbach*) – известный французский спелеолог, производитель спелео-снаряжения и автор всех трех редакций «библии» французской вертикальной спелеологии: «*Techniques de la Spéléologie Alpine*».

Рис.02. Топофил Марбаха (фото из книги «Techniques de la Spéléologie Alpine», 1980, стр.307)

И, наконец, к 1972 году Пьер Риас (*Pierre Rias*) – спелеолог группы «Вулкан» города Лиона (*le groupe spéléo lyonnais Vulcain - G. S. Vulcain di Lyon*), дополняет «Топофил» компасом, придав инструменту почти современный вид (**Рис.03**). Отсчет азимута берется по той же нити, по которой отсчитывается расстояние и измеряются уклоны.

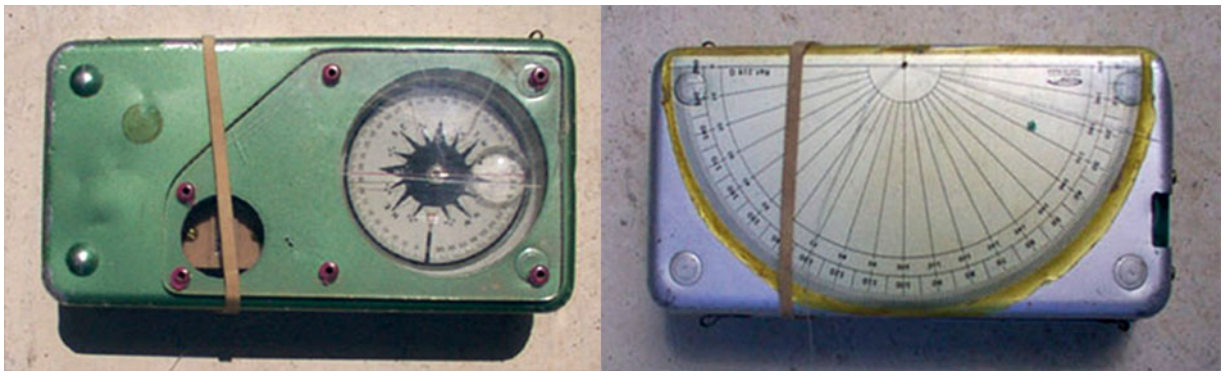


Рис.03. Топофил Пьера Риаса производства спелео-группы «Vulcain», 1972 года,
слева – вид сверху (окно счетчика неудачно перекрыто резинкой),
справа – задняя сторона с транспортиром для измерения вертикальных углов.

С тех пор, с некоторыми перерывами, топофилы системы Пьера Риаса производятся в Лионе спелеогруппой «Вулкан». К концу XX века они не претерпели принципиальных изменений, хотя получили ряд усовершенствований для увеличения точности измерений и облегчения обслуживания (**Рис.04**)

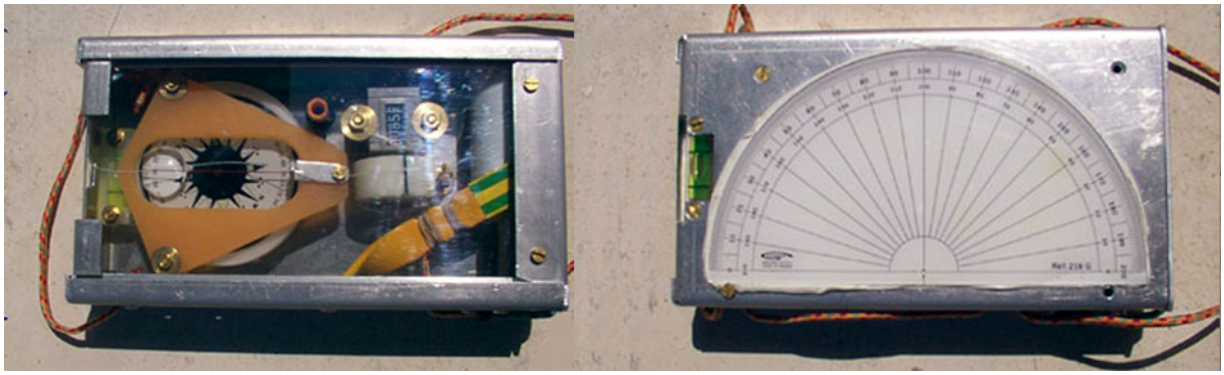


Рис.04. Топофил системы Пьера Риаса производства спелео-группы «Volcain», 2000 год.

Топофилами было отснято много пещер во Франции. В том числе глубочайшая до недавнего времени система – Гуффр Жан-Бернар (*Gouffre Jean-Bernard*) в Верхней Савойе, в исследованиях и съемке которой принимал участие Пьер Риас.

Летом 1988 года я впервые увидел топофил у польских спелеологов (**Рис.05**).

К сожалению, я ни разу не видел, как работают с топофилом в реальной обстановке, но зато смог рассмотреть сам приборчик во всех подробностях и с квалифицированными объяснениями. И не пожалел пленки, чтобы хоть так унести с собой впечатление чего-то нового и совершенного.

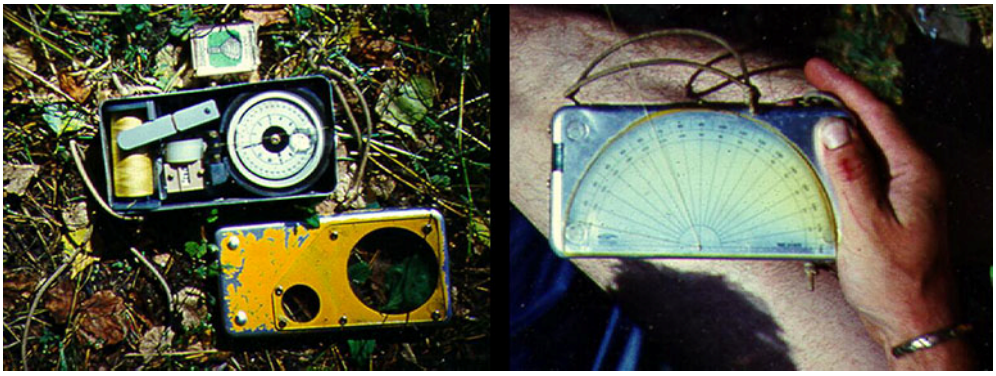


Рис.05. Топофил польского спелеолога Кристиана Парма (*Cristian Parma*), экспедиция Кутук-Сумган, август, 1988 год.

Много лет я периодически возвращался к мыслям о топофиле.

Но реальная необходимость в нем возникла только тогда, когда я столкнулся с двумя факторами:

- недостатком квалифицированных съемщиков: наименьшее из зол, и
- особо сложными условиями съемки, с которыми столкнулся в колодцах соляного купола Сдом на западном берегу Мёртвого моря: сильная камнепадность, исключающая или почти исключающая возможность работы даже вдвоем.

Итак, купить топофил.

Это оказалось непростой задачей! Так как до сих пор единственным изготовителем и продавцом «топофилов» все также остается французский спелеоклуб «Вулкан», и выйти на след нелегко. Но, кто ищет!...

Благодаря моей доче Каролине, в апреле 2015 года я стал счастливым обладателем «Топофила», присланного нам французами по почте (**Рис.06**). В ценах весны 2015 года топофил в полной комплектации обошелся в 330 евро.

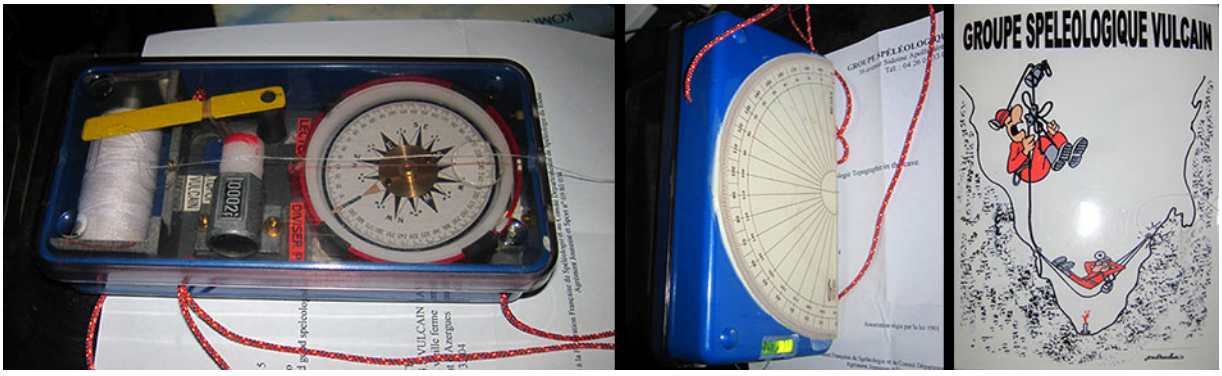


Рис.06. Мой топофил в пластиковом корпусе и эмблема спелео-группы «Vulcain», июнь 2015 года.

Стоимость и прейскурант удалось найти в журнале «*Echo des Vulcains*», выпускаемом спелео-группой города Лиона.

Заказ можно оформить через Интернет:

http://www.groupe-speleo-vulcain.com/services/commander-livre-goodies-speleo/

Предлагаются как отдельные составляющие «топофила», так и весь инструмент в сборе.

На сегодняшний день я не знаю другого инструмента, позволяющего сделать съемку пещеры в одиночку с точностью, достаточной для нужд практической спелеологии, и максимально технологично: без челночных ходок туда-обратно вдоль съемочного хода. Если в суб-горизонтальной пещере, достаточно просторной, это просто дополнительные затраты времени и сил, то в более сложных условиях эти затраты начинают превышать разумные размеры.

2. Особенности съемки «топофилом»

У меня нет большого опыта работы с «топофилом», хотя основные моменты осваиваются легко.

Съемка топофилом ведется обратными замерами (*backsights*): от каждой последующей станции к предыдущей.

Общие рекомендации по съемке «топофилом» можно прочитать в книге Алана Уэрайльда «Вертикаль» (*Alan Warild, Vertical*, 2007, стр.175, «Съемка топофилом», мой перевод на русский: http://www.soumgan.com/phpBB2/viewtopic.php?f=29&t=277), а также найти в Интернете.

Практическая работа с топофилом выявляет некоторые, не очевидные поначалу, тонкости работы с этим чудом французской изобретательности.

А) Растяжение нитки

Счетчик оборотов «Топофила» позволяет измерять расстояния с точностью до 0,5 см. Однако сопротивление счетчика приводит к растяжению тонкой нити и измерению меньшего расстояния, чем не самом деле. Погрешность зависит от качества нити. Погрешность следует определить заранее для внесения поправки.

Б) Фиксация нити

После достижения следующей станции уже выданную нить невозможно зафиксировать: чуть перетянул, и проехал станцию. Это создает неудобства при замерах и требует навыка работы с топофилом. Нанесение фломастером метки на нить не решает проблемы. Единожды вытянутую нитку можно намотать обратно, только открыв крышку прибора, с помощью не технологичных манипуляций. Помимо потери времени, это чревато загрязнением прибора.

Измерять азимут было бы проще при хорошо натянутой нити (**Рис.8**), но натянуть ее сложно. При измерении уклона изгиб нити под ее весом неизбежно приводит к погрешностям.

В) Расположение станций

Так как мы вынуждены привязывать конец нити на каждой предыдущей станции, удобнее размещать их на стенах, а не на полу. Однако найти удобный мини-выступ в подходящем месте непросто. Альтернативой становится привязывание нити к камешкам и прочие хитрости, которые приходится изобретать по ходу съемки в каждой конкретной точке. Тем самым трудно достичь единообразия расположения съемочных точек относительно рельефа снимаемого хода. Это не критично, но не добавляет удобства и добавляет погрешности.

Снова навык, навык и навык.

Современная модель топофила, на мой взгляд, имеет ряд конструктивных недостатков, но их обсуждение не входит в рамки этой статьи.

В то же время «Топофил» представляется пока единственным удобным инструментом для топосъемки вертикальных колодцев, провешенных веревкой с промежуточными закреплениями.

В условиях очень камнепадной пещеры «Топофил» представляется мне также единственно безопасным инструментом съемки, так как, повторю, напарник выше по колодцу – это вариант самоубийства.

В субгоризонтальных лабиринтах «Топофил» кажется менее удобным, что и подвигло меня на разработку представляемой методики.

Рис.8. Съемка топофилом (фото из книги «Vertical» by Alan Warild, Australia, 2007).

Инструмент и мы

Опыт топографической съемки в разных пещерах и чтение специальной литературы постепенно подвигают к пониманию, что каким бы совершенным ни был топографический инструмент, главная проблема всегда заключается в самих съемщиках. Именно наши действия являются причиной ошибок и погрешностей любых измерений.

На этом фоне меня весьма забавляют не прекращаемые рассуждения о точности инструмента: тот позволяет измерять с точностью до 1 градуса, этот до 30 секунд, а иной – до 0,5 сантиметра.

Инструмент становится все совершеннее, и это замечательно.

Но мы-то, сами исполнители, все так же недалеки от обезьяны. Именно мы являемся главной причиной всех неточностей, на которые инструмент был бы попросту не способен, не будь он в наших руках (**Рис.9**).

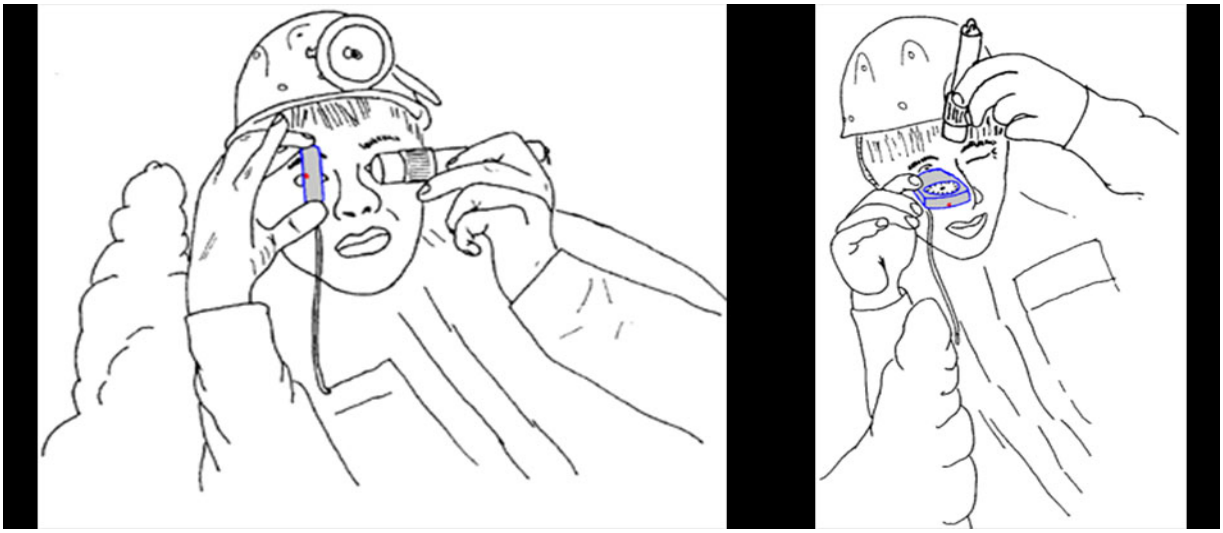


Рис.9. Съемка компасом и клинометром «Suunto», популярными в спелеологии (рисунки из книги «Vertical» by Alan Warild, Australia, 2007**).**

Напрашивается вывод, что надо постараться уменьшить наше влияние на топосъемку – как-то «вырвать» инструмент из рук съемщиков и дать ему выполнять свою работу, опираясь только на пещеру и свои технические возможности.

В этом заключается суть идеи, положенной в основу описываемой методики.

Идея не нова, так как в большинстве геодезических методов съемки инструмент принято располагать на штативах – никак не в руках съемщика! Очевидно также, что в условиях пещеры использование традиционных штативов имеет ощутимые сложности (**Рис.10**).

Рис.10. Теодолитная съемка в пещерах,
слева – фото из Интернета, присланное Б.Максимовым, спелеоклуб «Подолье», Тернополь;
справа – пещера Киндерлинская, Урал (фото ник exrtem56 - http://photoshare.ru/photo10812756.html).

Однако в определенном перечне ситуаций теодолитная съемка попросту невозможна: вертикальные колодцы и меандры, сильно обводненные ходы, подводные пещеры и т.п.

И все-таки попытаться свести к минимуму наше воздействие на съемочный инструмент имеет прямой смысл.

Основные принципы методики

Еще раз скажу, что ничего принципиально нового я не изобрел.

Все составляющие в той или иной форме прекрасно известны в геодезии и подробно описаны в специальной литературе для профессионалов в этой области.

Я просто адаптировал кое-что для съемки пещеры.

Основных принципов два:

- Съемочный инструмент должен быть цифровым.

- В момент измерений инструмент не должен находить в руках съемщика.

Попробую описать эти составляющие, но сначала, для простоты изложения и взаимопонимания, есть смысл ввести ряд определений.

Ключевые определения

Станция инструмента – станция, на которой располагается топосъемочный инструмент и с которой производятся измерения. По сути, физическая точка на полу пещеры.

Станция мишени – съемочная станция, на которой располагается мишень и до которой производятся измерения. Тоже физическая точка на полу пещеры. В идеале, в процессе съемки в точности совпадающая с точкой станции инструмента.

Мишень – некое устройство (аналог геодезической рейки), на которое производится визирование топосъемочным инструментом.

База измерительного инструмента – некая точка в пространстве, от которой производится отсчет расстояния между станциями.

База измерительного инструмента должна совпадать по вертикали со станцией инструмента. Иными словами инструмент должен располагаться над станцией так, чтобы его база находилась точно по вертикали над ней.

Базовое расстояние инструмента – расстояние по вертикали от станции (от пола пещеры) до базы измерительного инструмента.

Базовое расстояние мишени – расстояние по вертикали от станции до центра мишени, на который производится визирование.

Платформа – приспособление к штативу для размещения инструмента при визировании.

Визирующая сторона – сторона платформы, задающая направление длинной оси измерительного инструмента. Эта сторона параллельна направлению визирования – прямой линии, соединяющей две станции.

Опорная сторона – сторона платформы (ее бортик), на которую опирается инструмент при измерении вертикальных углов. Обычно это нижняя под уклон ее сторона. Однако опорной может служить и передний бортик платформы может служить опорной стороной для измерения азимутов при крутых вертикальных уклонах – для устранения погрешности магнитометра из-за его ориентации в пространстве.

Измерительный инструмент

Будучи хорошо знаком с механическим измерительным инструментом (компасы, буссоли, эклиметры, рулетки и т.п.) я решил заменить их цифровыми, благо, таковые уже есть и вполне доступны.

Понятно, что я не являюсь первопроходцем в этой области. Уж очень соблазнительно воспользоваться преимуществами цифровых приборов над механическими!

В частности, об удачном использовании цифрового инструмента пишет опять же Алан Уэрайлд в последней редакции книги «Вертикаль» (*Alan Warild “Vertical”, 2007*). На странице 172 в разделе «Электронные инструменты» Алан кратко описывает «топофил» своей конструкции (**Рис.07**):

«*Для эксперимента я установил электронный клинометр и электронный компас на дальномер "Disto". Получилось нечто вроде "цифрового топофила" без нити. После изначальной регулировки клинометр и компас "визируют" по лазерному лучу.*

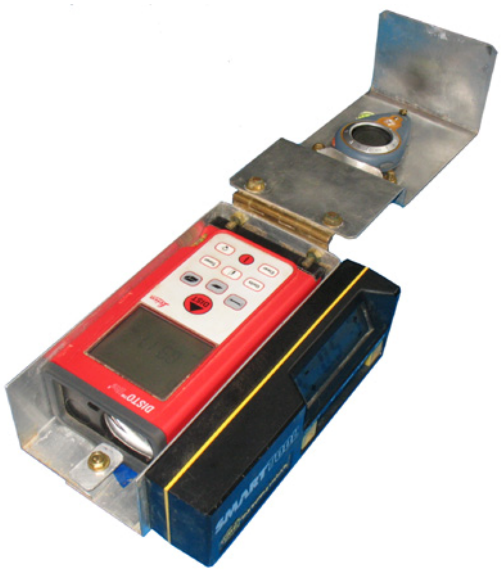
Нацельте лазер на цель, нажмите фиксирующуюся кнопку на клинометре, зафиксируйте показание компаса, затем возьмите расстояние.

Теперь вы можете прочитать показания инструментов удобно, а не под неким неуклюжим углом. Процедура более проста, чем с "Suunto", и не столь легка как с "Topofil", но вам не нужно заботиться о нити.

Вы все еще рискуете возможностью ошибки при переписывании показаний инструментов в журнал. Есть надежда, что вы сделаете меньше ошибок при переписывании цифровых отсчетов, чем при работе с аналоговыми инструментами».

На фото видно, что корпус топофила выполнен из немагнитных материалов.

Проблемой для компаса являются магнитные поля, создаваемые лазерным дальномером и клинометром, прежде всего – батарейками их питания.



Но так как взаимное расположение всех составляющих стабильно, то, вероятно, можно учесть погрешности влияния на компас изначальной его регулировкой (калибровкой).

Я не знаю, какие именно инструменты использовал Алан, а потому ничего не могу сказать о их характеристиках и возможностях.

Рис.07. Электронный топофил Алана Уэрайлда

Скажу только, что изначально я тоже думал об электронном топофиле, но из-за недостатка составляющих (не удалось купить электронный компас и клинометр с удовлетворительными характеристиками при нормальной цене) пошел более доступным путем.

1. Лазерный дальномер

Лазерный дальномер (рулетка) лежит в основе большинства современных методик топосъемки пещер.

С 2006 года я пользовался дальномером «**Leica Disto A5**»: паспортная точность измерений: ± 2,0 мм; дальность до 200 м (**Рис.11, слева**).

Несмотря на то, что эта модель уже не производится, по основным характеристикам она мало отличается от последующих более современных моделей.

Большим плюсом является питание от 2-х обычных элементов **AA**, которых хватает очень надолго.

Большим минусом – то, что обычные батарейки магнитные, и даже выключенный дальномер создает девиацию рядом расположенного компаса.

Следующим шагом в развитии лазерных дальномеров стало оснащение их акселерометрами – сенсорами для измерения вертикальных углов.

Такие модели как «**Disto X310**» (см. выше **Рис.11, в середине**) и другие – имеют встроенные сенсоры для измерения вертикальных углов, что является их большим плюсом.

Рис.11. Лазерные дальномеры фирмы «Leica»
слева – **Disto A5** – только дальномер;
в середине – **Disto X310** – дальномер с клинометром;
справа – **DISTO S910** – дальномер последней (на конец 2015) года модели с клинометром и компасом.

2. Таинственный “Disto X”

Пока суд да дело, спелеологи мира вспомнили о «эпохе самодельщиков», разработав систему дооснащения покупных дальномеров фирмы «**Leica**» необходимыми сенсорами и системами с соответствующей перепрошивкой электроники. Итоговый вариант получил название «**Disto X**» и долго морочил головы тем, кто пытался понять, что это такое и где это можно купить?

Оказалось, что купить негде – самоделка. Понятно, что посильная только квалифицированным электронщикам и то не многим. На кухне, без соответствующего образования и навыков не осилишь.

Система не ограничивается собственно инструментом «три-в-одном», а является разработкой **Paperless Cave Surveying** – «Безбумажной Съемки Пещер». То есть, автоматизированной электронной системы измерений, перенесения информации в портативный компьютер с помощью беспроводной коммуникации **Bluetooth** в режиме «**on line**» с одновременной обработкой данных и построением первичной топо-схемы пещеры.

Громадный шаг вперед в технологии подземной топосъемки!

Эта разработка не имеет отношения к фирме «**Leica**». Полную информацию по ней можно найти в Интернете на сайте - http://paperless.bheeb.ch/ .

Со временем и фирма «**Leica**» тоже начала включать магнитометр в свои приборы последних моделей, такие как – «**Disto D810 touch**» и «**Leica DISTO S910**» (см. выше **Рис.8 справа**).

Один из основных недостатков инструментов последних поколений – их цена, которая на конец 2015 года не вызывала энтузиазма для их приобретения и широкого использования в пещерах.

Главным же недостатком мне представляется не предназначенность этих инструментов для маршрутной топографической съемки – в отличие от самодельного «**Disto X**».

К счастью, нужные нам электронные сенсоры сегодня получают все больше разнообразных «гаджетов» и среди них, прежде всего, смартфоны.

3. Цифровой клинометр

Для измерения вертикальных углов (уклонов) электронное устройство должно иметь в конструкции G-сенсор или акселерометр. Оказалось, что в моем смартфоне «**Cat B15»** он есть (**Рис.12**). Главная роль в этом «открытии», как и в приобретении супер-мобильника, принадлежит моему компьютерному богу-спасателю – сыну Борку.

Американская фирма «**Caterpillar**» славится производством «не убиваемых» мобильных телефонов для условий повышенной «неблагоприятности» – именно то, что необходимо для пещер.

Довольно быстро я остановился на программе «**Clinometer**» (ОС Android).

Рис.12. Смартфон «Caterpillar B15» и программа «Clinometer» для ОС Android

Особенно наглядно чувствуешь прелесть цифрового угломера при малых углах уклона съемочного хода, характерного для русел водотоков – не приходится больше принимать решения, типа: «*А пусть будет 3 градуса!*»

Главным преимуществом цифрового клинометра считаю простую калибровку и достаточную независимость измерений от положения инструмента в пространстве – не нужно ловить вертикальную плоскость и следить, чтобы стрелка не застряла при перекосе. Уклоны – причем одновременно продольные и поперечные – измеряются относительно длинной оси в любом положении смартфона.

4. Цифровой компас

Оснастив свой смартфон акселерометром, американцы почему-то не подумали о магнитометре (*Magnetic Field Sensor*). В результате я с огромным разочарованием убедился, что программы компаса на «**Cat B15**» не работают.

Но войдя во вкус с измерением уклона, мне очень хотелось сделать и измерение азимутов столь же технологичным и удобным.

Проблема получила решение, благодаря моей доче Каролине, постоянно оказывающей нашим исследованиям неоценимую помощь. Она выделила для нужд израильской спелеологии свой смартфон «**Nokia Lumia 900**», имеющий все необходимое (**Рис.13**).

Программ компаса для смартфонов существует предостаточно. Оставалось выбрать наиболее удобную. Я остановился на программе «**Compas4WP**» (ОС Windows).

Сравнение с механическими компасами дает вполне сопоставимые результаты.

И снова главным преимуществом цифрового компаса считаю простоту калибровки и достаточную независимость измерений от положения смартфона – отпадает необходимость чрезмерно ловить горизонтальную плоскость и связанная с этим неточность измерений азимутов при визировании с большими вертикальными углами.

Хочу заметить, что этот момент следует заранее исследовать для каждого конкретного смартфона, чтобы определить допустимые углы перекоса плоскости смартфона относительно горизонтали, как в продольном, так и в поперечном направлении.

Рис.13. Смартфон Nokia Lumia 900 и программа «Compass4WP» в работе

5. Комплексные программы

Конечно, пользоваться попеременно двумя физическими устройствами менее удобно, чем одним, имеющим конструктивно оба сенсора. Такие смартфоны есть и доступны. В частности, «**Nokia Lumia 900**» имеет оба сенсора.

Программы для одновременного измерения азимута и уклона тоже не редкость. Могу привести две, которые опробовал в работе. Это «**Compass Level**» (на русском языке называется «Компас с уровнем» - https://trashbox.ru/topics/70160/compass-level-2.3.7) и «**Spirit level & Compass**» от **plaYaid**, что по моему разумению означает «Пузырьковый уровень и Компас», но российские приколисты перевели как «Уровень Духа» (**Рис.14, справа**)
(https://play.google.com/store/apps/details?id=net.playaid.spiritlevel&hl=ru).

6. Вопрос защищенности инструмента

Главной проблемой смартфонов, оснащенных обоими сенсорами, типа «**Nokia Lumia 900**», является отсутствие защиты от агрессивных внешних факторов. Пыль, вода, грязь, удары – это не для них.

Понятно, что обычные смартфоны не выдерживают условий пещеры. Мне пока удается не угробить «Нокию», но работа с ней требует повышенного внимания и аккуратности. Приходится заклеивать все разъемы пластырем, переносить в специальном жестком кофре и работать в постоянном страхе уронить или придавить смартфон по ходу.

К сожалению, полноценных смартфонов эндуро-класса не так уж много в продаже.

Очень кстати «**Caterpillar**» начал производить новую модель своего «вездехода» – «**Cat S50**», на этот раз имеющую все необходимые конструктивные характеристики и более-менее доступную цену (**Рис.14**).

Весьма вероятно, что есть другие смартфоны, подходящие для работы в пещерах – пыльных, мокрых, грязных, с разным климатом, но я с ними не знаком.

Рис.14. Смартфон Cat S50 и программа «Spirit Level & Compass» в действии.

7. Вопрос точности

Сенсоры гравитации и магнитного поля, встроенные в смартфоны, как и любые приборы для ориентации в пространстве, могут иметь погрешности и ошибки, зависящие от многих факторов. Чтобы свести их к минимальным, существуют разные методики, в зависимости от серьезности решаемых задач. В Интернете довольно активно обсуждаются вопросы калибровки обоих сенсоров, и на этом я остановлюсь ниже (см. раздел **«Вопрос калибровки»**). Разные программы компаса и клинометра имеют различные варианты и интерфейсы калибровки. Кроме того, конструктивные особенности смартфонов накладывают определенный отпечаток на работу сенсоров и программ, их использующих.

Использование акселерометров и магнитометров в пещерах имеет ряд особенностей, по сравнению с использованием их на поверхности.

Главный плюс – отсутствие множества магнитных полей разной силы и динамики, создаваемых бесконечным разнообразием устройств и материалов, которыми богата наша современность. В подземном мире действует только магнитное поле Земли, не считая случайных и весьма редких аномалий. Если мы позаботимся о своем снаряжении, чтобы устранить девиацию от него, то фактически магнитометр будет реагировать только на геомагнитное поле.

Акселерометру вообще ничего не мешает, так как в пещере мы передвигаемся очень и очень медленно, а внешние переменные ускорения, например, от вибраций различного происхождения, отсутствуют.

В связи с этим калибровка инструмента облегчается, а стабильность показаний заметно более высока. Насколько существенно, я осознал, сражаясь дома с программами на своем новом «**Cat S50**» и сравнивая показания с механическими компасами и уровнями. Я обнаружил даже присутствие металлических болтов в столе, не говоря уже о всех остальных источниках влияния на показания несчастной электроники.

В таких условиях не помогает даже калибровка, которой хватает на очень не долгое время, после чего сенсоры начинают потихоньку – или не потихоньку – съезжать со своих позиций.

Признаюсь, что после этого полтергейста у меня даже возникло чувство, что цифровая съемка все еще удел мечтаний. Очень расстроился…

Но в пещере картина меняется разительно! Наверно благодаря пространственной однородности магнитной и гравитационной обстановки под землей, будучи откалиброваны, сенсоры работают стабильно в диапазоне ориентаций, обычном для топосъемки. В этом легко убедиться, периодически сравнивая их показания с механическим инструментом, который полезно носить с собой. Даже если с работой электроники все будет хорошо, то в аварийной ситуации будет жаль прекращать работу только потому, что сел аккумулятор смартфона.

Мои приспособления для расположения инструмента, о которых речь пойдет ниже, делают такие проверки точными и необременительными. Мне они показались оптимистичными настолько, что вызвали доверие к смартфонам, как инструменту для съемки. В совокупности с предлагаемой методикой работы, на мой взгляд, получается весьма и весьма эффективно.

Оборудование съемочных станций

Поскольку главным условием методики является отсутствие контакта инструмента и рук съемщика в момент измерений, необходимо было придумать, на чем располагать инструмент и с чем ему взаимодействовать: во что целиться?

В общем и целом: для инструмента нужен штатив, а для цели – мишень.

По ходу съемки на каждой станции поочередно располагаем либо штатив с измерительным инструментом, либо мишень.

Оба устройства должны удовлетворять двум основным требованиям:

А) Штатив и мишень должны обеспечивать одинаковое расстояние по вертикали от станции (точка на полу пещеры), **как до базы измерительного инструмента** (штатив), **так и до центра мишени.**

Требование не ново – оно является общим для любого нивелирования, то есть, измерения вертикальных углов на местности. А также более чем полезно для угломерной съемки.

Б) Штатив и мишень должны быть небольшой высоты, чтобы:

- помещаться под сводами низких лазов;
- не только помещаться, но и дать возможность считать показания;
- максимально снизить погрешность станции, возникающую за счет отклонения базы измерительного инструмента и центра мишени от вертикали над станцией на полу пещеры.

В ходе отработки методики я использовал два разных штатива с базовым расстоянием – 11 и 13,5 см и мишени соответствующей высоты.

Дополнительное условие: базовое расстояние штатива не зависит от высоты хода и остается постоянным.

В этом есть определенные неудобства, так как приходится работать в партере (процесс облегчают наколенники и налокотники). Но – еще раз подчеркну – главный плюс в том, что – при прочих равных малая высота штатива и мишени существенно уменьшают погрешность станции. А

также положительно влияет на единообразие алгоритма измерения уклонов и расстояний по съемочному ходу и последующую обработку измерений.

Теперь надо рассказать о штативах и мишени, потому что их конструкция сильно влияет на все аспекты работы с цифровым инструментом.

1. Штатив

В настоящее время существует большое многообразие фото-штативов.
Главное требование к штативу – полное отсутствие магнитных деталей.

А) Размер

Принципиально существуют два размера штативов: полноформатные – позволяющие работать стоя, и мини-штативы. Для предлагаемой методики годятся оба размера. Большой штатив используется в положении на боку. По совокупности это менее удобно, хотя есть и плюсы – например, можно располагать штатив в расщелинах и между глыб, перекидывая его как мостик.

Мини-штатив нуждается в более выборочной установке, но, будучи установлен, удобнее в визировании.

Б) Конструкция головки

Конструкция самого штатива не так важна. Важна конструкция его головки – поворотной части, к которой крепится фотоаппарат или камера, а в нашем случае – измерительный инструмент. Она должна обеспечивать полноценное визирование в двух основных плоскостях и диапазонах углов:

- в вертикальной плоскости: от +90° (вертикаль вверх) до -90° (вертикаль вниз);
- в горизонтальной плоскости: в круговом диапазоне 360°.

В реале штативы с подходящими для топосъемки головками существуют и, в частности, производятся фирмой «**Leica**» именно для ее дальномеров (**Рис.15**).

Традиционный недостаток – цена.

Есть и второстепенный – высота, рассчитанная на работу стоя.

Рис.15. Спец-адаптер TA-36 для штатива Leica TRI 100.

Наиболее доступны фотографические штативы. Но их поворотная часть не рассчитана для расположения измерительного инструмента. Это общий недостаток всех фото-штативов.

При выборе штатива следует обратить внимание на конструкцию его головки.

Головка подавляющего большинства серьезных фото-штативов имеют две оси поворота: вертикальную и горизонтальную. Чтобы привести горизонтальную ось к горизонту, а вертикальную – к вертикали (третья степень свободы) используют регулировку длины ножек.

Головка второй группы штативов имеет шаровый шарнир и, соответственно, дополнительную возможность регулировки ее положения. Выставить горизонтальную и вертикальную плоскости поворота можно, не прикасаясь к ножкам. Однако минусом такой конструкции является сложность и в итоге – слабость фиксации головки в нужном положении. Вторым недостатком является ограниченность поворота головки в вертикальной плоскости – о диапазоне «плюс-минус 90» не приходится и мечтать.

Опробовав оба варианта, я остановился на полноформатном фото-штативе с двух-осевой головкой и подверг его некоторой трансформации, которая заключается в следующем.

2. Переоборудование штатива

Каким бы ни был фото-штатив, все магнитные детали – а они есть – надо заменить на немагнитные. Несмотря на то, что основные массивные детали штативов изготовлены из легких сплавов или пластика, оси и регулировочные болты остаются стальными и в большинстве случаев – даже если сталь нержавеющая – магнитными.

Определить это можно с помощью механического компаса. Но при вычислении магнитных деталей следует иметь ввиду, что в любом штативе есть достаточно укромные места, в которых могут прятаться детальки, которые даже при незначительной массе могут все-таки создавать девиацию. Коварность этих деталей в том, что их влияние на магнитометр не постоянно, а зависит от относительного взаиморасположения инструмента и штатива, которое меняется в зависимости от съемочных точек: поворот в разных плоскостях при визировании в различных направлениях.

Замена – задача не самая простая, но посильная (**Рис.16**).

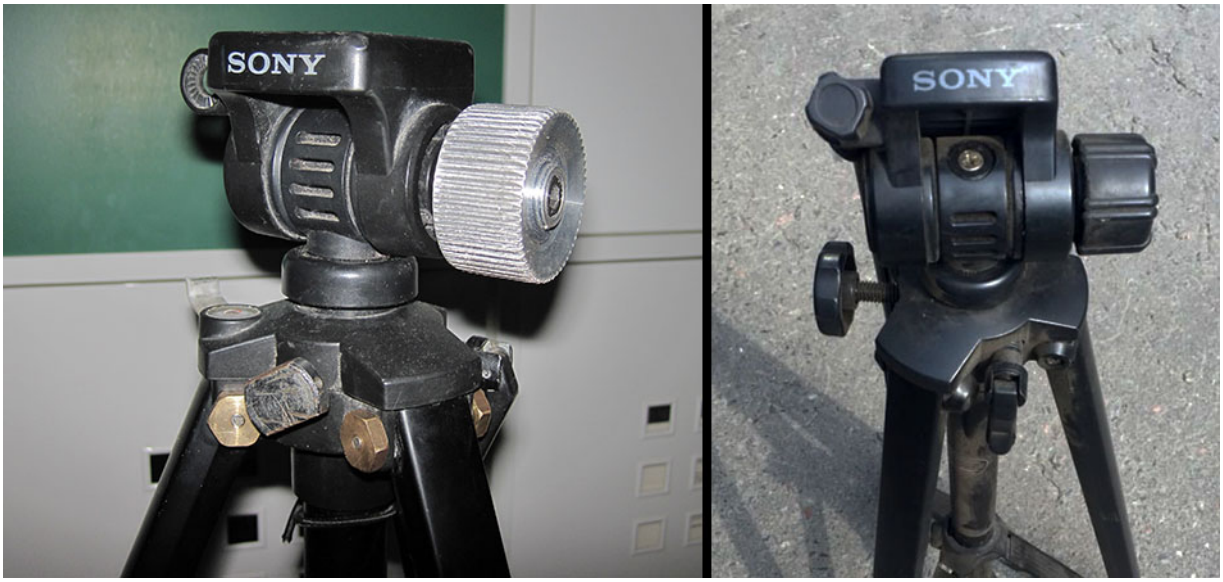


Рис.16. Большой штатив «Sony VCT R620» до (справа) и с замененными магнитными деталями (слева).

Конечно, можно попытаться приобрести штатив с немагнитными металлическими деталями, как например, аксессуары для экстрим-камер «**GoPro**» (**Рис.17, справа**).

Сегодня это тоже реально, но, к сожалению, только в обычных магазинах, если прийти с аналоговым компасом. В Интернете найти информацию о магнитных свойствах штативов практически невозможно.

Рис.17. Мини-штативы:
слева – «**Matin MP-202**» со слабомагнитными металлическими деталями, подлежащими замене;
справа – монопод-штатив «**GoPro AFAEM-001**» полностью немагнитный.

3. Адаптация под крепление специальной платформы

Просто штатива недостаточно. На нем надо закрепить измерительный инструмент в положении визирования. Если это «счастье три-в-одном» и головка штатива соответствующей конструкции (см. выше **Рис. 12**), то все просто. Но если приходится работать тремя и даже двумя разными инструментами на фото-штативе поочередно на каждой станции, то задача усложняется.

Я нашел решение в виде платформы с бортиками, закрепляемой на головке штатива и способной поворачиваться вместе с ней и самим штативом в нужных плоскостях и необходимом для съемки диапазоне углов.

Платформа должна быть изготовлена из немагнитных материалов.

Я опробовал разные варианты платформ, их опишу далее.

Важное условие: штатив должен позволять крепление такой платформы – жесткое и в правильном положении относительно осей вращения при поворотах во время визирования. В зависимости от конструкции штатива узел крепления платформы должен быть соответствующим, и, скорее всего, его придется продумать, подогнать или изготовить.

По ходу работы с разными штативами я изготовил два варианта узла крепления платформы:
- «ласточкин хвост» для паза головки большого штатива «**Sony VCT R620**» (**Рис.18**);
- болтовое соединение с головкой мини-штатива «**Matin MP-202**» (**Рис.19**).

Рис.18. Вариант крепления платформы к головке типа «ласточкин хвост» штатива «Sony VCT R620».

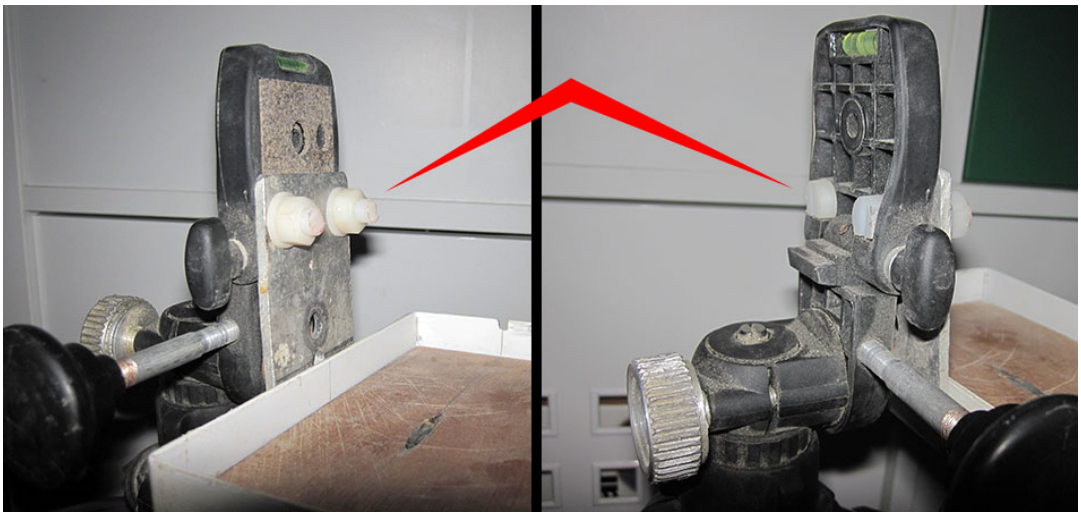


Рис.19. Вариант крепления платформы к головке штатива «Matin MP-202» пластиковыми болтами.

В обоих вариантах были использованы только немагнитные материалы, в том числе пластиковые болты с шайбами и гайками, которые пришлось покупать специально.

Конечно, конкретные варианты конструкции могут быть иными.

4. Обеспечение минимально удобного базового расстояния

Как уже было сказано, расстояние от земли до базы измерительного инструмента должно быть минимально удобным, исходя из двух требований:

А) Максимальная высота штатива

Высота штатива должна позволять съемку низких лазов и обеспечить возможность считывания показаний инструмента под их низкими потолками – максимальная высота.

Б) Минимальная высота штатива

Одновременно высота штатива должна позволять поворот платформы с инструментом от -90° до +90° в вертикальной плоскости.

Как бонус получаем минимальное вертикальное смещение базы измерительного инструмента и центра мишени над станцией. Самый важный момент на самом деле с точки зрения собственно топо-съемки.

Здесь все зависит от конкретного штатива, выбранного для съемки. Собственно, как уже было сказано, варианта всего два: большой штатив (полномерный), и маленький.

Большой штатив можно использовать только в лежачем, горизонтальном положении. Чтобы обеспечить параллельность горизонтальной оси вращения земле и фиксированное расстояние инструмента от станции, нужен упор определенной длины.

Варианты упора могут быть разные (**Рис.20**).

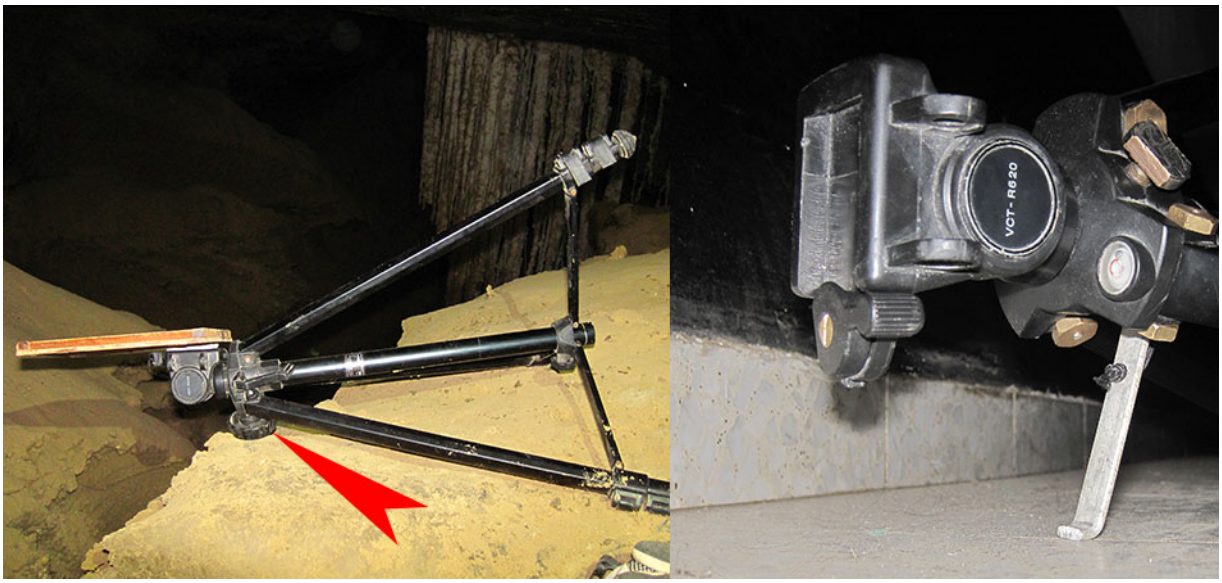


Рис.20. Обеспечение базового расстояния при лежащем большом штативе:
слева – с помощью головки штатного винта фиксации выдвижной штанги;
справа – вариант самодельной ножки.

Мини-штативы используются в нормальном положении, и заботиться есть смысл только о их балансировке – чтобы не опрокинулся, если платформа с инструментом установлены на нем асимметрично (**Рис.21**)

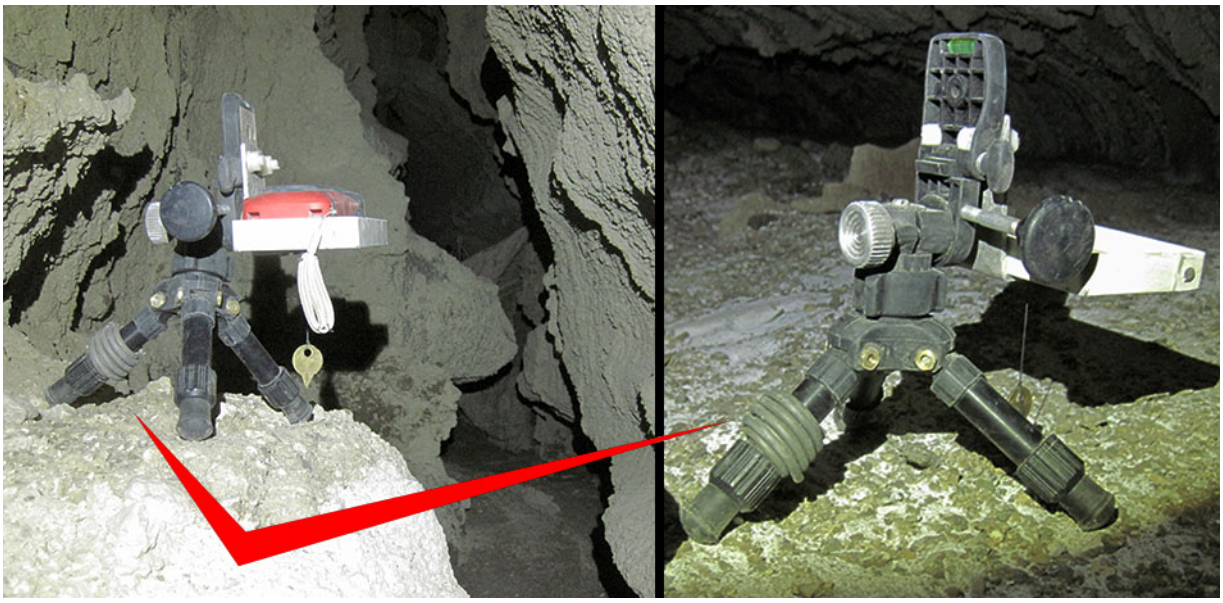


Рис.21. Балансир мини-штатива из оловянной проволоки-припоя**.**

5. Платформа для измерительного инструмента

Платформа для топо-инструмента имеет две составляющие: собственно платформа и узел ее крепления к штативу. Варианты конструкции узлов крепления мы рассмотрели выше (см. **Рис. 18 и 19**).

А) Конструкция

Собственно платформа состоит из платы, на которую кладется инструмент, и бортиков, не дающих инструменту съехать и упасть с платформы при измерениях и, одновременно, не мешающие визированию.

Б) Материал

Любой немагнитный. Первую платформу я сделал из дерева (**Рис.22, слева**). Сделать легко, но есть минус: дерево при увлажнении с последующим высыханием чаще всего «ведет», и за геометрию ручаться сложно. Но для пробной модели дерево прекрасно подходит: легко мастерить без особых хитростей. И не критично для сухих пещер.

В дальнейшем делал платформы с бортиками из алюминиевых сплавов и донышком из фанеры (**Рис.22, справа**). Можно сделать из пластмассы, из чего угодно, лишь бы не было магнитных деталей.

В) Форма

Я сделал и опробовал в работе 2 варианта платформы: квадратную и прямоугольную (**Рис.22**).

Идея прямоугольной платформы заключалась в возможности располагать на ней инструмент в любом из 4-х основных направлений, независимо от положения штатива. Кроме этого, углы квадратной платформы помогают при радиально-полярной съемке залов, задавая дополнительную разбивку под 45°.

Однако на практике ни разу не захотелось расположить инструмент поперек основной визирующей стороны, а потому излишняя ее площадь и габариты требовали уменьшения.

В результате я сделал прямоугольную платформу. Она оказалась практичнее, чем квадратная, и стала основной в дальнейшем.

Г) Размеры

Размеры платформы определяются максимальными габаритами конкретного измерительного инструмента, который используется при топосъемке.

Расстояние между короткими бортиками платформы определяется длиной самого длинного инструмента. У меня длина **Cat S50** совпала с длиной **Disto A5** – 144,5 мм.

Реальная длина моей платформы между короткими бортиками 148 мм, так как это расстояние должно быть чуть больше, чем длина инструмента, чтобы он не застревал и легко устанавливался и снимался с платформы.

Ширина платформы, соответственно, определяется размером самого широкого инструмента. Однако расстояние между длинными бортиками должно позволять подцепить смартфон пальцами, чтобы аккуратно вынуть его из платформы, не сбив ее ориентации. Этому помогают короткие темляки, которыми я обычно оборудую свои «CAT», но обычные смартфоны их не имеют, что вызывает трудности в этой операции.

В моем случае самым широким оказался смартфон **Cat S50** (ширина 77 мм), а реальное расстояние между длинными бортиками – 81 мм.

Д) Геометрия

Один из бортиков (обычно ближний к креплению на штатив) задает направление визирования всеми инструментами, расположенными на платформе. То есть, перед визированием инструмент кладется к нему вплотную, что обеспечивает единое направление для всех измерений.

Назовем этот бортик – **визирующая сторона платформы** (**Рис.22**).

Рис.22. Форма платформы для инструмента: квадратная и прямоугольная

Два бортика, перпендикулярные визирующему, должны располагаться под правильным прямым углом к нему.

Это важно для измерений под круто восходящими и нисходящими вертикальными углами, когда возможны отклонения в работе обоих сенсоров (см. ниже раздел «Измерение азимутов круто-наклонных ходов»).

Поэтому при изготовлении платформы следует обратить на это особое внимание и добиться полного соответствия углов 90°.

6. Крепление платформы к штативу

Какой бы ни была конструкция самого крепления, платформа не может располагаться на штативе произвольно относительно вертикальной и горизонтальной осей ее вращения.

Это наиболее тонкий момент.

Конкретное решение зависит от штатива, но следует соблюсти следующее условие:

- ось вертикального поворота платформы должна проходить через линию лазерного луча и пересекать его под прямым углом.

Это необходимо для того, чтобы база съемочного инструмента (лазерного дальномера) на всех станциях находилась по вертикали на заданном расстоянии, равном базовому (см. выше Определения), над каждой станцией и при повороте платформы вокруг горизонтальной оси (при измерении уклонов) не смещалась в стороны. Это требование критично только по отношению к лазерному дальномеру, так как уклоны и азимуты измеряются правильно вне зависимости от положения базы над станцией.

Еще раз внимательно рассмотрим **Рис.15** выше. Мы увидим, что фирменный штатив и адаптер для дальномеров «Disto» соблюдает это условие – задняя торцевая поверхность дальномера, от которой обычно производятся измерения расстояний, расположена так, что ось вертикального вращения проходит через нее и одновременно пересекается с линией лазерного луча.

При этом сам дальномер расположен консольно относительно оси своего вертикального поворота, и его вес создает вращающий момент, требующей надежной фиксации поворотного шарнира адаптера.

При дистанционном управлении дальномером, что возможно только на самых последних моделях линейки «**Disto**», все проще. Но при непосредственном управлении с помощью кнопок и даже тач-скрина (сенсорный экран последних моделей), очень легко даже незначительным усилием сместить инструмент и нарушить направление визирования.

Чтобы устранить этот недостаток, я решил размещать дальномер симметрично относительно горизонтальной оси его вращения (**Рис.23, 24** и **25**).

Рис.23. Расположение дальномера относительно оси вертикального поворота платформы на большом штативе в лежачем положении: ось параллельна платформе и проходит через виртуальную линию лазерного луча в окошечке излучателя.

Рис.24. Расположение лазерного дальномера на поворотной платформе большого штатива.

Рис.25. Расположение дальномера на платформе мини-штатива: все три оси (вертикального поворота, лазерного луча и отвеса от базы инструмента до станции) проходят перпендикулярно друг другу через базу измерительного инструмента.

Это приводит к смещению задней плоскости дальномера относительно базы измерительного инструмента на определенную фиксированную величину, которую потом следует учесть при обработке результатов каждого замера.

Для моего «**Disto A5**» эта поправка составляет – 7,5 см (0,075 м) на каждый замер.

Поправка задается нами осознанно – заранее определенной и постоянной величины, а потому легко учитывается при обработке результатов.

Но зато мы выигрываем возможность легко управлять кнопками, не рискуя нарушить нацеленность лазерного луча и, соответственно, исказить вертикальный угол – уклон. Также существенно облегчается фиксация положения платформы с инструментом в любом положении, так как вращательных моментов за счет смещения центра тяжести с оси вращения нет.

7. Мишень

В общем случае мишень – это приспособление, несущее точку, в которую направляется лазерный луч.

В качестве мишени можно использовать разные, даже весьма сложные приспособления (**Рис.26, слева**). Мы начинали с фанерки, поставленной стоймя с помощью сварочного зажима (**Рис.26, в середине**).

В последнем варианте я использую пластиковую пробку, привинченную к мини-штативу (**Рис.26, справа**). Минимально возможное расстояние от центра мишени до пола – 11,25 см, максимальное – 16 см. Диаметр черной точки – 5 мм.

Практика показывает, что с помощью штатива с платформой лазер достаточно легко навести даже на такую маленькую точку на приличном расстоянии – до 20 метров, чего более чем достаточно для съемки.

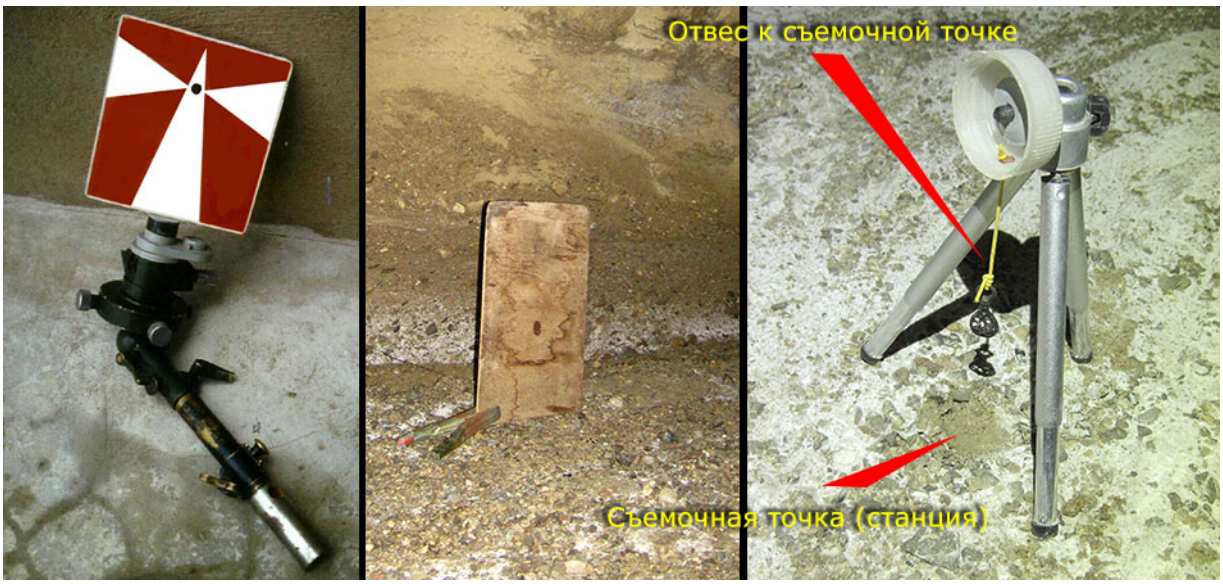


Рис.26. Варианты мишени

- слева – фото мишени, присланное Б. Максимовым г.Тернополь клуб "Подолье";

- в середине – первый простейший вариант нашей мишени на стадии изучения возможностей метода;

- справа – конечный вариант моей мишени (2015 год).

8. Центровка

Чтобы проще размещать инструмент и мишень на станциях, их полезно снабдить отвесами.

К платформе отвес прикреплен в точке, лежащей на условном пересечении оси вертикального поворота платформы и условном продолжении линии лазерного луча от окошечка излучателя к задней поверхности дальномера, от которой обычно ведется отсчет расстояний (см. выше **Рис. 23** и **Рис.25**).

Чтобы точно определить точку прикрепления отвеса к платформе, придется немного потрудиться с измерениями, но это не трудно.

Понятно, что материал отвеса должен быть не магнитным.

К мишени отвес прикреплен точно под центральной точкой (**Рис.26, справа**).

Методика топографической съемки

Если работать в одиночку, как и с топофилом, съемку удобнее вести обратными замерами от последующей станции к предыдущей.

При работе вдвоем можно снимать как прямыми, так и обратными замерами.

В любом случае лидеру съемки следует работать с измерительным инструментом и определять положение станций: либо командуя напарником, размещающим мишень впереди по ходу (прямая съемка), либо самому выбирать следующую точку под штатив (обратная съемка).

Так как расположить штатив сложнее, чем мишень, съемка обратными замерами мне представляется предпочтительнее.

Последовательность действий следующая.

1. Ставим мишень на первую съемочную точку, обратив ее в сторону второй съемочный точки.

(Если это самая первая точка, измеряем для нее расстояния LRUD (Left-Right-Up-Down) и записываем их в журнал).

2. Выбираем вторую съемочную точку и на ней размещаем штатив с платформой.

3. Кладем на платформу дальномер, плотно прижав его длинной стороной к визирующей стороне (бортику) платформы, а задней – к ее опорной стороне (**Рис.27, слева**).

При этом расстояние фактически измеряется от опорной стороны платформы.

4. Включаем дальномер, наводим лазер на мишень, в ее центр, и фиксируем положение платформы соответствующим винтом головки штатива (**Рис.27, справа**).

5. Убедившись, что лазерный луч точно и стабильно наведен на мишень, аккуратно (чтобы не сместить луч) **нажимаем на кнопку «Dist» дальномера**. Затем считываем показание и записываем в пикетажный журнал измеренное расстояние между точками.

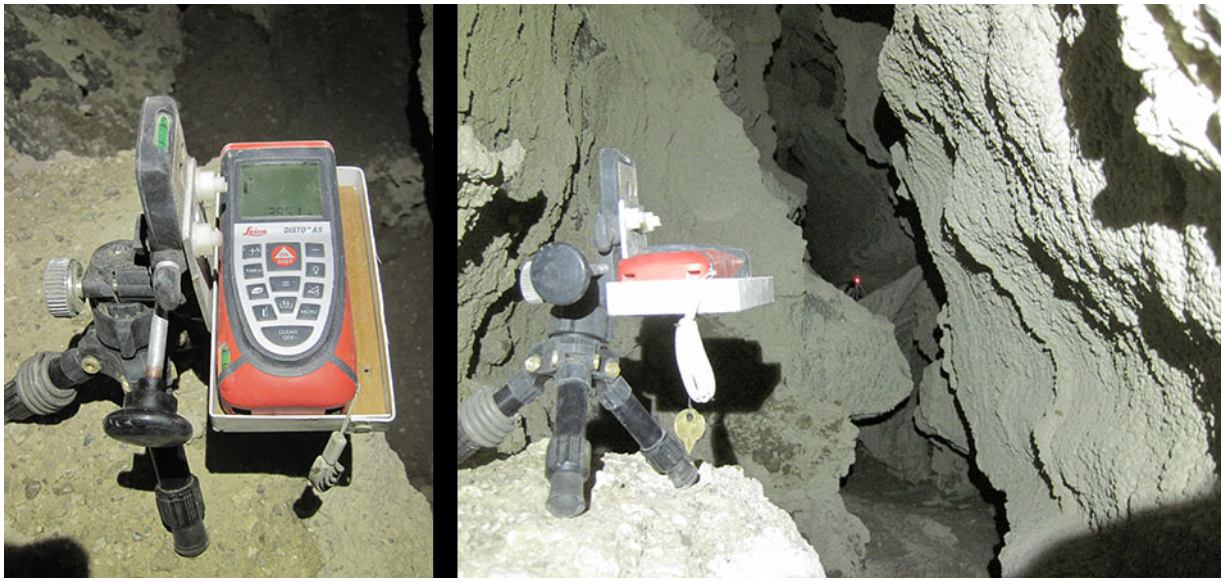


Рис. 27. Расположение лазерного дальномера на платформе штатива и наведение его на мишень.

6. **Аккуратно снимаем дальномер с платформы и на его место кладем смартфон с включенным клинометром**, прижав его длинной стороной к визирующей стороне платформы.

Угол уклона измеряется автоматически. Остается только считать и записать показание в пикетажный журнал.

7. Точно так же аккуратно снимаем смартфон и кладем на него другой с включенной программой компаса, точно также прижав длинной стороной к визирующей стороне платформы.

Азимут измеряется автоматически. Считываем и записываем показание.

Понятно, что если в нашем распоряжении смартфон с обоими сенсорами, то операция 7 исключается из перечня: положили смартфон и получили сразу уклон и азимут: остается только записать.

8. Не забываем измерить расстояния LRUD (Left-Right-Up-Down) и записать их в журнал.

Обычно расстояния легче измерять сразу же после снятия дальномера с платформы, пока он еще не убран в кофр, а уже потом приступать к манипуляциям смартфоном.

9. Переносим мишень, оставляя пока штатив на месте.

Здесь нам надо выполнить два последовательных действия: проверить, одинакова ли высота центра мишени и базы инструмента именно над этой точкой, и после этого установить мишень на место штатива так, чтобы центр ее четко встал над съемочной точкой.

А – Проверка совпадения центра мишени с базой инструмента

Мы помним, что – расстояние по вертикали от базы измерительного инструмента (точки пересечения оси вертикального поворота платформы и линии лазерного луча) до станции должно быть равно расстоянию от станции до центра мишени на той же станции.

Однако иногда трудно расположить штатив над станцией и обеспечить достаточно горизонтальное положение платформы, не прибегая к манипуляции длиной ножек штатива. При этом базовое расстояние (от базы инструмента до точки на полу) может измениться – увеличиться. Если же на полу мягкий слой, то ножки штатива могут углубиться в него, и базовое расстояние уменьшится.

Но нам нужно, чтобы центр мишени располагался на той же высоте над станцией, как и база инструмента! Пусть это расстояние чуть больше или чуть меньше, но на каждой станции оно должно быть одинаковым.

Для этого ставим мишень вплотную к платформе в горизонтальном ее положении (ориентируемся по пузырьковому уровню на штативе), и, если что-то сбилось при переноске или есть особенности установки из-за капризов микрорельефа, подгоняем высоту мишени регулировкой ее ножек – или удлиняем их, или заглубляем в грунт (**Рис.25, слева**).

Б – Вертикальная центровка положения мишени над съемочной точкой.

Сделать это можно и на глаз, но лучше – с использованием отвесов.

Саму точку лучше обозначить на полу луночкой или камешком, положенным точно под отвесом штатива. Затем убираем штатив и ставим над станцией мишень, располагая отвес мишени точно над точкой (**Рис.28, справа**).

Небольшое расстояние по вертикали до точки позволяет сделать погрешность станции весьма незначительной.

10. Переносим штатив, устанавливаем его на следующей съемочной точке и повторяем все операции.

Рис.28. Проверка одинаковости высоты расположения над станцией базы инструмента и центра мишени, и установка мишени.

Съемочные пикеты-марки лучше оставлять на станциях после того, как сделаны измерения и непосредственно перед тем, как снять мишень, чтобы перенести ее к следующей точке. Кладем номерную марку, придавливаем ее камешком или фиксируем на месте иначе и снимаем мишень (см. ниже **Рис.29, справа**).

Кое-что о положении базы измерительного инструмента

Основным измерительным инструментом в моей методике является лазерный дальномер. Его конструкция задает всю остальную геометрию измерений.

Фактической **точкой отсчета расстояния** между съемочными станциями **является пересечение линии лазерного луча и оси горизонтального вращения** головки штатива (см. выше **Рис.23** и **Рис.25**). Именно **эта точка сохраняет постоянное расстояние от пола** при вертикальных поворотах платформы.

Можно сказать, что относительно этой точки происходит вращение лазерного луча при изменении его угла по вертикали.

Поскольку конструктивно измерение расстояний лазерным дальномером производится от его задней поверхности (или от передней), логично было бы расположить дальномер на поворотной платформе так, чтобы его задняя поверхность совпадала с осью горизонтального вращения платформы. Вернее, ось горизонтального вращения платформы проходила через плоскость задней поверхности лазерного дальномера. Именно так сделаны фирменные адаптеры «**Leica**» (см. выше **Рис. 15**).

Поначалу я так и сделал.

Однако такое расположение дальномера имеет ряд не очевидных поначалу недостатков.

А) Кнопка «On/Dist»

При таком положении дальномер располагается консольно относительно оси горизонтального поворота, и его вес создает определенный вращательный момент, который приходится компенсировать затягиванием болта, фиксирующего конфигурацию штатива. Это, впрочем, не вызывает особых проблем.

Хуже то, что для получения отсчета расстояния нужно нажать на соответствующую кнопку «On/Dist», которая также, оказывается, вынесена вперед относительно оси горизонтального вращения. И при этом, если болт фиксации поворота платформы недостаточно затянут, даже

достаточно легкое нажатие может сместить лазерный луч вниз или вывести сам штатив из равновесия.

Обе неприятности случались не раз, вынуждая заново целиться лазером в мишень.

Б) Разворот штатива

К сожалению, конфигурация хода пещеры не везде позволяет располагать штатив платформой вправо (наиболее удобное положение для правшей) или влево, если платформа закреплена на штативе слева. Крепить так, как на штатном штативе «Leica» (см. выше **Рис.12**), для пещеры неудобно – не удается соблюсти одновременно и минимально удобное расстояние по вертикали над точкой и устойчивость инструмента.

В таких неудобных местах платформу приходится развернуть на 180°, чтобы платформа оказалась с противоположной стороны. При этом консольно расположенная платформа оказывается диаметрально с другой стороны, относительно горизонтальной оси ее поворота. Соответственно, дальномер тоже надо развернуть на платформе на 180°, а его задняя поверхность оказывается далеко от базы.

Можно, конечно, включить функцию измерения расстояний от передней поверхности дальномера, но чтобы добиться совпадения ее плоскости с осью горизонтального вращения, нужно очень точно изготовить саму платформу – точно по длине дальномера, исключив любые его смещения вдоль длинной оси. Само по себе это не трудно, но тут есть два неудобства:

А – если смартфон имеет более длинный корпус, чем дальномер, то его на такую платформу не установить, но, к счастью, это бывает редко;

Б – становится сложно устанавливать на платформу и снимать с нее сам дальномер, не сдвинув штатив.

Кроме того, лучше, когда замеры производятся единообразно, так как при смене базовой поверхности дальномера легко допустить ошибку.

Оба эти затруднения отсутствуют, если закрепить платформу симметрично относительно оси горизонтального поворота, так чтобы ее края выдавались в обе стороны одинаково.

С одной стороны, не требуется сильно затягивать болт фиксации, так как вес платформы с инструментом не вызывает заметного вращательного момента. И намного проще нажимать кнопку «**On/Dist**» (**Рис.29, слева** и **в центре**).

С другой стороны, становится не важно, как расположен штатив, так как положение дальномера относительно оси горизонтального вращения становится постоянным.

Однако при этом возникает необходимость вносить поправку к измеренным расстояниям. От величины каждого замера следует вычесть величину, равную расстоянию от горизонтальной оси вращения штатива до задней поверхности дальномера.

Для «**Disto A5**» эта поправка составляет 7,5 см.

Поскольку она вносится для всех без исключения замеров, то делать это лучше в стадии обработки данных, а в пикетажку заносить числовые показания без поправки. При таком подходе вероятность ошибки минимальна.

Рис.29. Работа с дальномером значительно облегчается при симметричном расположении платформы относительно оси ее горизонтального поворота.

Справа – постановка съемочной марки-пикета на станции перед переносом мишени

Измерение азимутов круто-наклонных ходов

Известно, что измерение аналоговыми компасами азимутов направлений ходов с крутыми уклонами затруднено из-за невозможности оптического визирования со станции на станцию. В восходящих ходах визирование проще – можно ориентироваться, например, на мерную ленту при традиционных методах съемки. В нисходящих ходах любые ориентиры отсутствуют, и остается полагаться на интуицию. Это происходит потому, что аналоговые компасы нуждаются в горизонтальном положении, при котором магнитная стрелка не задевает корпус и может свободно вращаться.

Цифровые компасы в этом отношении более независимы – некоторый перекос инструмента в любой плоскости не влияет на показания компаса. Однако при больших отклонениях плоскости инструмента от горизонтальной плоскости может наблюдаться изменение его показаний (**Рис.30, слева**).

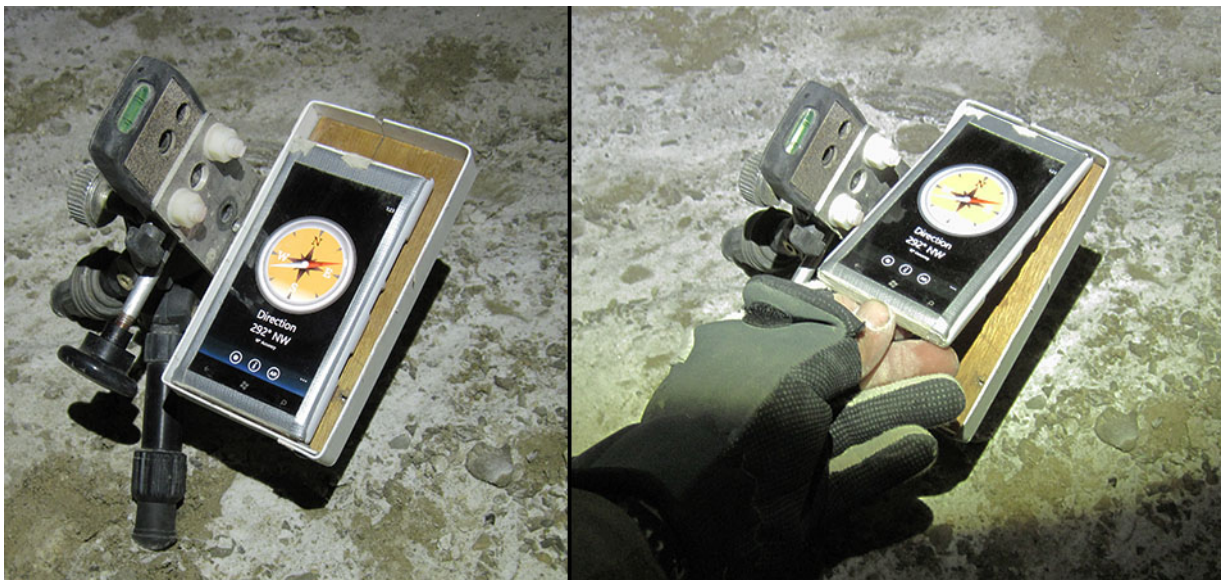


Рис.30. Измерение азимутов при больших уклонах.

Каждый конкретный инструмент по-своему реагирует на степень отклонения от горизонтали. Следует изучить его поведение заранее, что достаточно просто. Только делать это надо не дома, а на каком-нибудь пустыре, чтобы исключить влияние многочисленных техногенных магнитных полей, создаваемых самыми разными предметами и процессами, непременно присутствующими в помещениях и рядом с ними.

Большим преимуществом описываемой методики является возможность точного измерения азимутов при любых вертикальных уклонах хода.

Этому способствуют опорные бортики платформы.

Если возникает сомнение в показаниях компаса – а лучше всегда перепроверяться – то делаем просто: аккуратно опирая смартфон в опорный бортик, приподнимаем его в горизонтальное положение и снимаем отсчет. Направление 100-процентно правильное, так как платформа выставлена по лазерному лучу.

На **Рис.30** выше можно заметить, что показания компаса при наклонном положении смартфона (слева) и горизонтальном (справа) не отличаются ни на градус. Но это свойство замечательной «**Нокии 900**», магнитометр которой вообще удивительно стабилен!

В любом случае, способ измерения азимутов при больших уклонах с помощью платформы на штативе прекрасно работает.

Измерение больших уклонов

Большинство программ для измерения вертикальных углов (уклонов) имеют удобный интерфейс для считывания показаний при любой величине уклонов от +90° до -90°.

Но иногда программа отказывается показывать значения углов больше 45°, например, при пузырьковом интерфейсе, который прекрасно работает при малых уклонах (**Рис.28, слева**).

Платформа на штативе позволяет располагать смартфон в любом положении: как нормальном – лежа (**Рис.31, слева**) так и на ребре (**Рис.31, справа**). Так как величину уклона задает дно платформы, угол которой выставлен по лазерному лучу, то нет разницы, как располагать на ней смартфон с клинометром. И это большое удобство!

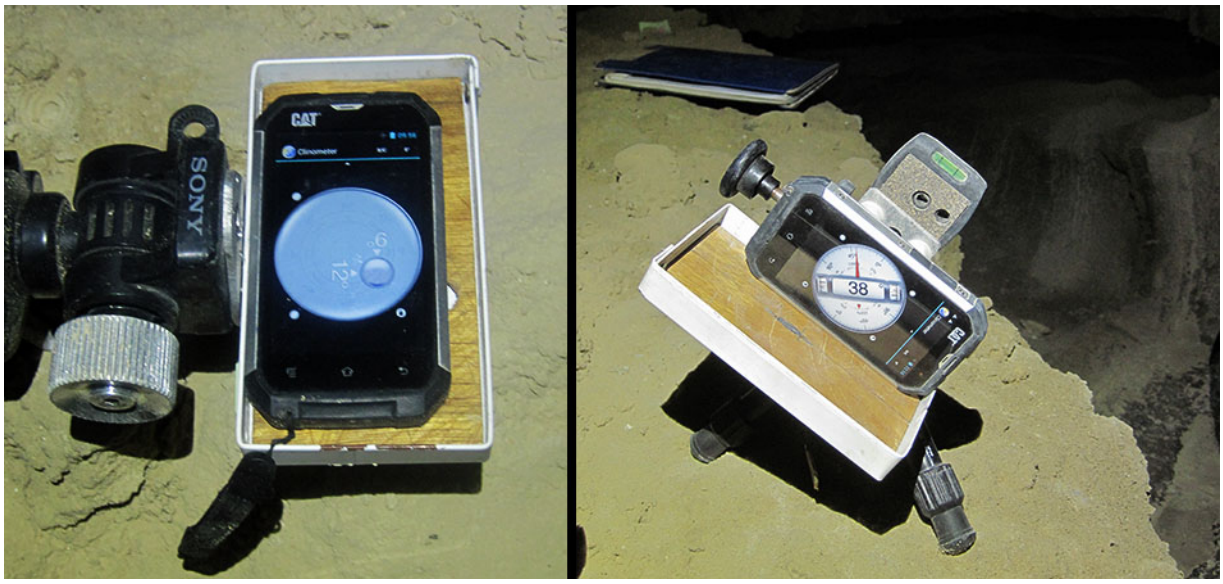


Рис.31. Измерение малых (слева) и больших (справа) уклонов программой «Clinometr»

Вопрос калибровки

Сенсоры акселерометра и магнитометра, поставляющие информацию о величине горизонтальных и вертикальных углов, изначально нуждаются в настройке, то есть, калибровке. Проще говоря, нужно «объяснить» сенсорам, где верх, где низ, и куда направление на север.

Некоторые производители калибруют свои смартфоны, некоторые нет. В любом случае следует убедиться в соответствии показаний действительности и, если нужно, привести их в соответствие.

Каждый из сенсоров калибруется по-своему. Любая пригодная нашим целям программа клинометра и компаса имеет в настройках калибровку (**Calibrate**). Жмем кнопку и следуем инструкциям программы. В Интернете можно найти описание способов калибровки и видео соответствующих действий.

Если программа не имеет возможности калибровки, лучше с ней не связываться.

1. Калибровка компаса

Принципиально мне встречались только два способа с небольшими вариациями. Назову их «способ вращения вокруг трех осей» и «способ вращения восьмеркой». Коротко опишу эти способы, просто для констатации (подробности можно спросить у «дяди Гугла»).

А) Способ вращения вокруг трех осей

Смартфон с включенным компасом медленно вращаем – 3 полных оборота (каждый оборот в течение 5 секунд) вокруг каждой из трех взаимно перпендикулярных осей (**Рис.32, слева**).

Последовательность осей вращения значения не имеет.

Итого процесс калибровки занимает примерно 1 минуту.

Б) Способ вращения восьмеркой

Смартфон с включенным компасом медленно вращаем, описывая им восьмерки и не слишком заботясь об ориентации смартфона в пространстве (**Рис.32, справа**). По инструкциям надо описать не менее 8 восьмерок. На практике программа иногда сама включает интерфейс компаса, когда калибровка состоялась.

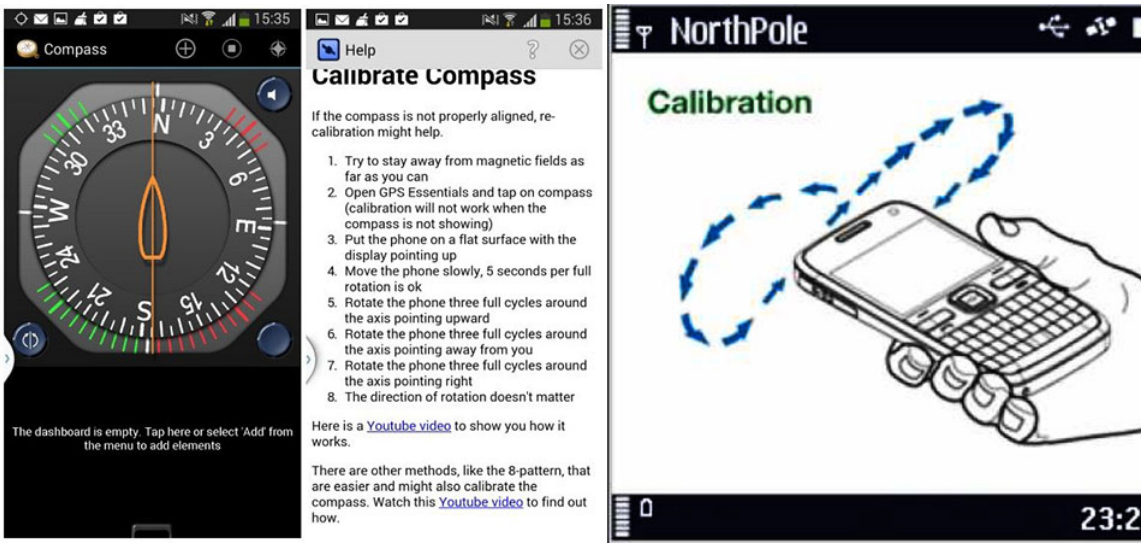


Рис.32. Способы калибровки магнитометров для программ компаса в смартфонах.

Оба способа необходимо применять, только вдали от бытовых приборов, работающей аппаратуры, и любых предметов и процессов, могущих являться источником магнитных и электромагнитных возмущений.

В процессе калибровки компаса более чем полезно иметь под рукой обычный аналоговый компас для сопоставления. А также не стоит с ним расставаться в ходе работ в пещере – периодические проверки точности электроники не помешают и на аварийный случай пригодится.

2. Калибровка клинометра

С этим все проще. В общем и целом сенсоры акселерометра вообще работают более четко, так взаимодействуют с физическими полями другого рода.

Любая заслуживающая внимания программа клинометра имеет в настройках возможность калибровки. В общем и целом калибровка требует положить смартфон на горизонтальную поверхность и нажать кнопку «**Calibrate**».

Очевидно, что перед этим следует проверить горизонтальность выбранной поверхности простым аналоговым пузырьковым уровнем.

Калибровку клинометра следует применять, только если возникают сомнения в его работе. Для этого полезно периодически сравнивать показания цифрового угломера с аналоговым уровнем, а также иметь такой уровень с собой во время съемки в пещере (на том же штативе, например).

Некоторые выводы и рекомендации

1) Удобство использования для топосъемки в пещерах смартфонов с соответствующими сенсорами и программами мне кажется неоспоримым, также как их превосходство в этом отношении над традиционными в этой области аналоговыми компасами и угломерами, даже такими популярными как «**Suunto**».

2) Даже в обводненных и грязных пещерах такие смартфоны, как «**Cat S90**», достаточно защищены, чтобы без опаски использоваться для съемочных работ. Запасы энергии аккумулятора в режиме «полета» хватает на длительное время, а все более доступные в настоящее время емкие аккумуляторные батареи «**power bank**» обеспечат подзарядку в длительных выходах под землю (**Рис.33**).

Рис.30. Транспортировка и обслуживание электронных инструментов для топосъемки
слева – наш обычный набор топо-инструмента в пластиковом кофре во время транспортировки;
справа – подзарядка смартфонов с помощью пауэр-банков с ПБЛ.

3) Лазерные дальномеры даже простейших «устаревших» моделей хорошо работают, достаточно доступны в продаже и вполне защищены от пыли и влаги (не воды!), чтобы их использовать в пещерах. При этом многие работают на обычных батарейках АА (кроме последних на начало 2016 года дорогих моделей).

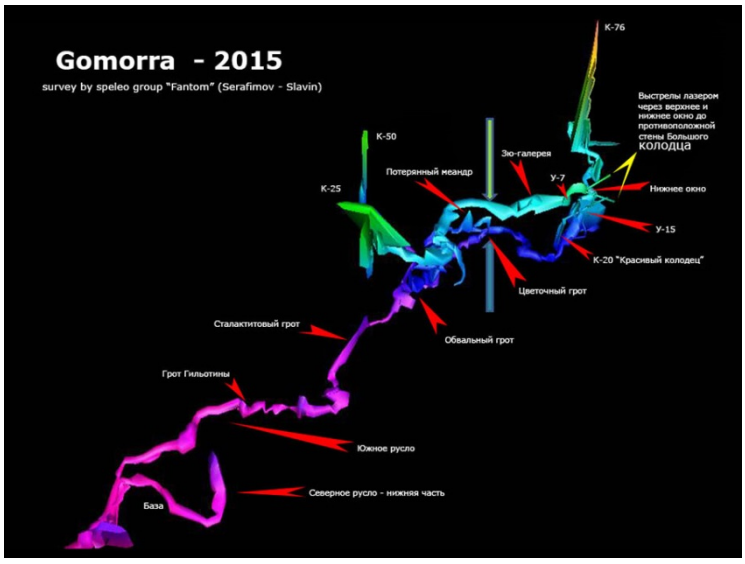
4) Использование оборудованных платформами (или иным подходящим креплением) для топо-инструмента мини-штативов и лазерных мишеней, позволяет в значительной мере уменьшить погрешность станции на каждой съемочной точке и повысить точность визирования при измерении расстояний, горизонтальных и вертикальных углов.

5) Предлагаемая методика съемки удобна и эффективна для работы предельно малыми группами: вдвоем и даже соло в условиях низких, узких и круто наклонных ходов (**Рис.34**).

Рис.34. Съемка в разных условиях пещеры с помощью описываемой методики.

Несмотря на то, что настоящая методика разрабатывалась для специфических и крайне неблагоприятных условий отдельно взятой страны, возможно, она окажется полезной и в других регионах, пещерах и условиях, благодаря своей неприхотливости, удобству исполнения и хорошей точности.

И безусловно пригодится для использования минимальными группами, а также соло.



Константин Б.Серафимов

Начато 26 октября 2015 года
Накануне отложенного из-за непогоды выезда в Гоморру

Закончено 31 января 2016 года