

УДК 550.85

И. В. Холошин

*Криворожский государственный педагогический университет*

## ПРИМЕНЕНИЕ GPS ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГЕОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Розглянуті основні напрями вживання GPS навігації на польовому етапі опробування родовищ корисних копалин у зв'язку з проведенням геолого-технологічного картування. Надаємо аналіз принципам і методам визначення координат пунктів (точок) відбору проб за допомогою GPS: пристрої, програмне забезпечення, види карт, системи координат, методичні прийоми. Викладені перспективи подальших досліджень у науковому напрямі.

*Ключові слова:* GPS, картування, родовище корисних копалин.

Рассмотрены основные направления использования GPS навигации на полевом этапе опробования месторождений полезных ископаемых в связи с проведением геолого-технологического картографирования. Сделан анализ принципов и методов определения координат пунктов (точек) отбора проб при помощи GPS: устройства, программное обеспечение, виды карт, системы координат, методические приемы. Изложены перспективы последующих исследований в этом направлении.

*Ключевые слова:* GPS, картирование, месторождение полезных ископаемых.

The main directions of GPS navigation on the field testing phase of mineral deposits in connection with the geological – technological mapping are considered. An analysis principles and methods of determining the coordinates of points (dots) sampling with GPS: used equipment, software, types of maps, coordinate systems, instructional techniques. Outlined the prospects for further research in this scientific field.

*Keywords:* GPS, mapping, minerals.

**Введение.** Геолого-технологическое опробование, являясь частью единого процесса геолого-технологического картирования месторождений полезных ископаемых, включает в себя отбор многочисленных геолого-минералогических и технологических проб. Оно осуществляется из скважин и горных выработок, пройденных при разведке месторождений или специально проходимых для этой цели. Количество пунктов, из которых отбираются пробы, зависит от степени неравномерности оруденения. Чем больше изменчивость текстурно-структурных особенностей руд, их минерального и химического состава, тем больше необходимо иметь мест отбора проб для обеспечения представительности процесса опробования [1]. Исходя из этого, весьма важен правильный выбор необходимого количества и расположения пунктов отбора проб. В зависимости от размера, объема запасов и природной неоднородности месторождения, количество проб, обеспечивающих построение полноценной его геолого-технологической модели, может колебаться от нескольких сотен, до нескольких десятков тысяч.

Важнейшим условием, обеспечивающим объективность и достоверность получаемых результатов, является точная пространственная привязка отбираемых проб. Традиционно, в картировании для этого используется геодезическая координатная привязка данных, с применением оптических угломерных и дальномерных приборов. Учитывая объемы опробования, становится понятным, насколько сложной, дорогостоящей и трудоемкой является эта работа.

Сегодня электронные технологии внесли поистине революционные изменения в процесс привязки данных. Широкое распространение получили в настоящее

время глобальные позиционирующие системы (GPS). Эти устройства позволяют определять координаты любой точки на местности автономно, без наземных геодезических измерений, повышая производительность работ по координатной привязке точек на местности в 10–15 раз [2]. Без преувеличения можно сказать, что внедрение GPS в практику геолого-технологического картирования открывает принципиально новые возможности в повышении эффективности и увеличение точности результатов полевого этапа опробования месторождений полезных ископаемых.

**Исходные предпосылки.** Спутниковая навигация сегодня нашла повсеместное применение во многих областях науки и техники. Например, услуги по GPS измерениям широко востребованы в геодезии и картографии для создания и развития опорных геодезических сетей; в картографии GPS используют для полевой координатной привязки аэрофото и космических снимков земной поверхности, а в строительстве – при проведении инженерно-геодезических изысканий, выносе проекта в натуру, разбивке, и т. д. [2–4]. Имеется уже определенный опыт использования спутниковой навигации и в полевых геологических изысканиях [5]. Что же касается геолого-технологического картирования, то информация о планомерных, целенаправленных и методически обоснованных работах в этой области, в настоящее время, практически отсутствует [6]. Связано это, очевидно, с отсутствием подготовленных кадров, слабой материально-технической базой соответствующих геологических организаций и, несомненно, недостаточной методической разработкой способа. Данная статья ставит своей целью частично восполнить этот пробел.

**Цели и задачи.** Целью данной работы является показать возможности и огромный потенциал применения GPS при проведении геолого-технологического картирования месторождений полезных ископаемых. Задача исследования заключается в разработке принципов и методов определения координат пунктов (точек) отбора минералого-технологических и технологических.

**Основное содержание.** GPS измерения обладают множеством преимуществ перед другими методами определения координат местности. Среди достоинств данного способа определения координат, имеющих особое значение для его применения в полевой период геолого-технологического опробования, выделяются такие как: быстрое получение результатов, иногда даже в режиме реального времени, возможность эксплуатации в сложных метеорологических условиях, а также вычисление координат при большом расстоянии между исходными и определяемыми точками, находящимися вне визуальной досягаемости. Обусловлено это, в первую очередь, принципом функционирования системы GPS.

Система основана на использовании 24 искусственных спутников, запущенных на высокие орбиты и постоянно посылающих на Землю радиосигналы.

В результате обработки сигналов способом линейной засечки из 4 наиболее удобно расположенных спутников (по скорости прохождения сигналов определяется расстояние до каждого из спутников), в районе искомого объекта возникает облако точек с приблизительными координатами, рассчитанными на разный момент времени (часто через 5 секунд) за весь период измерений (рис. 1). Дальше программным методом вычисляется некоторое усредненное значение координат.

Точность определения координат зависит от класса приёмника GPS, от режима и условий работы, продолжительности измерений, и колеблется от нескольких метров до первых сантиметров. Такая точность позволяет применять спутниковую навигацию даже при картировании мелких рудопроявлений в масштабе 1:500.

Остановимся на принципах и методах определения координат точек способом GPS. Начнем с GPS навигаторов. Все представленные сегодня на рынке GPS

навигаторы можно разделить на портативные приборы, стационарные приборы и профессиональные комплексы. Портативные GPS навигаторы представляют собой миниатюрные приборы со встроенной GPS антенной, как правило, в водонепроницаемом ударопрочном корпусе (рис. 2). Широкий модельный ряд подобных приборов включает как простейшие устройства, сохраняющие в памяти только координаты точек, так и более сложные модели, позволяющие загружать электронные карты (в том числе и геолого-структурные) и отображать на них текущее положение. Отдельные модели имеют встроенный электронный магнитный компас, для ориентации по сторонам света независимо от приема спутниковых сигналов и барометрический высотомер. Для определения местоположения пунктов наблюдения и решения задач навигации, применяются кодовые спутниковые приемники компании **Garmin** типа GPS II Plus, GPS12 и др., которые, имея сравнительно невысокую стоимость, обеспечивают точность определения плановых координат в абсолютном режиме до 5 м, а при учете региональной поправки – около 2 м. Исходя из этого, портативные навигаторы являются наиболее удобными для полевого этапа геолого-технологического картирования.

Стационарные GPS навигаторы – это приборы, которые размещаются на приборной панели автомобиля и имеют расширенный набор функций для использования в автомобиле. В связи со спецификой работ, при геолого-технологическом опробовании имеют ограниченное применение.

Профессиональные навигационные комплексы, работающие в системе со специализированным оборудованием, используются для высокоточных измерений. Для этих целей используются GPS-приемники геодезического класса (рис. 3).



Рис. 2. Портативный GPS навигатор

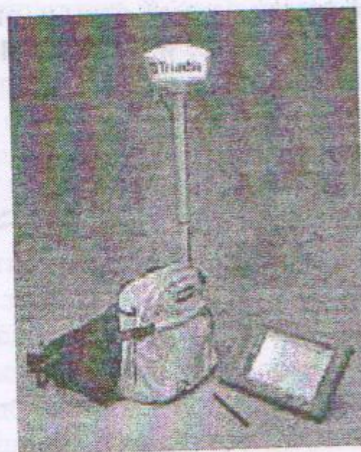


Рис. 3. GPS навигатор геодезического класса

Использование таких приборов в режиме статики (прибор «база» находится на закрепленной точке с известными координатами, а «мобильный» прибор перемещается по определяемым точкам, производя на них измерения) позволяет получать координаты пунктов с точностью до сантиметров. Большой популярностью среди профессионалов пользуются приемники компании **Trimble** – одного из ведущих производителей GPS-оборудования. Эта компания предлагает на рынке весь спектр GPS-

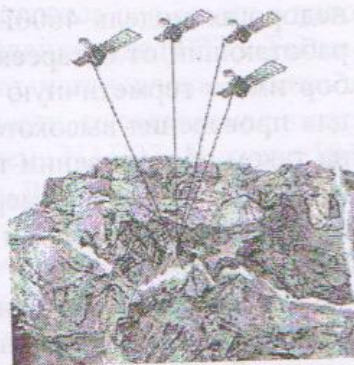


Рис. 1. Схема работы системы GPS: определение координат точки по расстоянию до 4-х спутников

приемников геодезического класса. Наиболее популярна компактная и относительно недорогая модель 4600LS – одночастотный GPS-приемник геодезического класса, работающий от батареек и не нуждающийся во внешнем источнике питания. Прибор имеет герметичную и ударопрочную конструкцию и эффективно применяется для проведения высокоточных GPS-съемок. Однако, учитывая тот факт, что работа на таком оборудовании требует высокой квалификации сотрудников, а также высокую себестоимость замеров, применяются они лишь при крупномасштабном (1:500 и крупнее) опробовании мелких геологических объектов (например, золотоносные жилы).

Следует иметь в виду, что GPS навигатор умеет лишь выдавать найденные координаты. Как эти данные будут использованы, зависит от программного обеспечения. Существует достаточно много навигационных программ, позволяющих обработать и отобразить данные, полученные от GPS. Выбор этих программ зависит, в первую очередь, от модели навигатора и вида карт. В навигации применяются карты двух видов: векторные и растровые электронные.

**Векторные изображения** описываются математическими уравнениями (векторами), содержащими полную информацию об их основных параметрах (размере, цвете, форме и местоположении). **Растровые изображения** состоят из конечного набора точек (пикселей) разного цвета. Для использования в GPS, карту в этом случае, необходимо не только отсканировать, но и «привязать» к координатной сетке. Каждая из этих видов карт имеет свои преимущества и недостатки и может одинаково успешно применяться при геолого-технологическом картировании. Выбор их обусловлен, в первую очередь, ГИС программой, используемой для построения геолого-технологических карт. Используя собственный опыт, следует признать более приемлемым растровый формат для геологических карт различного вида.

Для работы с растровыми картами чаще всего применяется навигационная программа **OziExplorer**, а с векторными – **ГИС Русса**. Работа с данными программами требует определенных навыков и опыта, но учитывая тот факт, что это выходит за рамки данной статьи, ограничимся только ссылками на соответствующие сайты в Интернете: [www.ozieplorer.com](http://www.ozieplorer.com); [www.gisrusa2.com](http://www.gisrusa2.com).

Более детально необходимо остановиться на характеристике систем координат, определяемых GPS навигатором, поскольку она позволяет однозначно установить положение любой точки на неоднородной и сложной поверхности Земли. Связано это с тем, что в системах координат и математических описаниях поверхности Земли (моделях) нет единства.

На рис. 4 показан разрез Земли – геоид. Он не идеален и обладает довольно сложной формой, которая не поддается математическому описанию. Усредняя все выпуклости и впадины можно получить сфероид с ми-



Рис. 4. Соотношение геодезических датумов и поверхности Земли

незначительно возможными искажениями для всей поверхности Земли – эллипсоид. Это будет геоцентрический датум. Если его параметры подбираются для Земли в целом, то такой эллипсоид получил название Общего Земного Эллипсоида (ОЗЭ). Таковым является система WGS-84. По умолчанию в навигаторах установлена именно эта система. Если параметры выбраны для ограниченной области, то задаваемая ими система координат является локальной, как, например, система NAD27 (Пулково 1942) широко применяемая для территории России и Украины. Разница между точками с одинаковыми координатами, но приведёнными в этих двух датумах составляет от 10 до 150 м. Поэтому, имея координаты какой-либо точки на поверхности Земли необходимо знать в каком датуме они были зафиксированы. При этом рекомендуется, чтобы система координат картоматериалов и навигатора соответствовали друг другу. В противном случае требуются дополнительные перерасчеты. Выбор системы координат определяется настройками GPS навигатора и установкой навигационной программы.

Существует два основных режима определения координат с использованием GPS аппаратуры:

1. Абсолютный – когда координаты GPS навигатора вычисляются по показаниям в навигационном окне прибора, относительно абсолютных координат спутников на любой момент измерений (рис. 5). К его преимуществам относится быстрота получаемых результатов, простота и низкая стоимость навигаторов, а недостаток – возникновение различного рода ошибок (нарушение точности и синхронности часов, задержки в движении электромагнитной волны, не точная информация о моментальных координатах спутников, нестабильные условия приёма на антенне и др.), не позволяющих гарантировать точность получаемых координат лучше двух–пяти метров.

2. Относительный режим определения координат подразумевает использование одновременно нескольких спутниковых приёмников, как минимум один из которых позиционируется на геодезическом пункте с известными координатами. Таким образом, положение искомым точек вычисляется не относительно моментальных координат спутников, а по приращению относительно заданного исходного значения на Земле. Данный режим определения координат отличается высокой точностью (до 0,1 метра), однако характеризуется невозможностью получения корректных по точности данных о координатах в короткое время, при существенном удорожании стоимости замеров.

Детально следует остановиться на распределении пунктов отбора проб. Они должны располагаться по картируемому месторождению равномерно, но с учетом направления максимальной изменчивости вещественного состава и текстурно-структурных особенностей руд. В этой связи, при разработке в подготовительный этап схемы отбора проб, на электронную карту с помощью ПЭВМ выносятся по правильной сетке точки опробования (расстояние между ними определяется масштабом картирования) со сгущением в участках, где отмечается наибольшая неоднородность руд. В дальнейшем эти точки в качестве путевых точек «загружают» из компьютера в GPS навигатор. В полевой этап геолого-технологического картирования, двигаясь по этим точкам с помощью навигатора, в отмеченных на карте приемника местах производится отбор необходимых проб. Минералого-технологические и технологические пробы должны отличаться цветом и маркировкой.



Рис. 5. Навигационное окно портативного GPS приемника

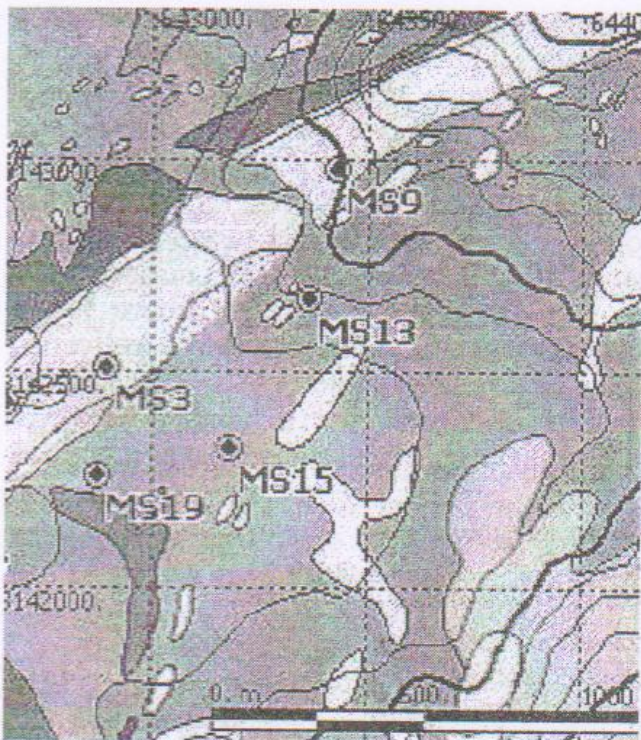


Рис. 6. Фрагмент карты опробования Ковдорского карбонатитового месторождения (горизонт +94 м)

Однако в процессе опробования, геологи часто сталкиваются с проблемой невозможности отбора проб в местах, отмеченных навигатором (например, участки работы технологического оборудования в карьере, зоны обрушения и т. д.). В этом случае отбор пробы осуществляется в максимально доступном месте. Нередко возникает необходимость и в дополнительных пунктах опробования при обнаружении в поле зон или участков, нуждающихся в более глубоком исследовании. При этом должны быть сняты координаты новых точек опробования. В камеральный период эти точки из GPS навигатора переносятся на электронную карту в компьютер (рис. 6). Современные навигаторы могут запоминать до нескольких сотен путевых точек.

Полученный нами опыт проведения геолого-технологического опробования месторождений полезных ископаемых с помощью GPS навигатора в абсолютном режиме, позволяет рекомендовать следующие методические приемы при определении координат точек опробования:

1. При определении координат в каждой точке отбора проб следует проводить не менее 7-ми измерений с интервалом не менее 10. Два крайних измерения отбрасываются, а из остальных выводится среднее. Если прибор имеет функцию усреднения (например, приборы **Garmin** серий GPS 12), то замеры необходимо проводить не менее 1 на каждой точке.
2. При отборе технологических проб рекомендуется определять координаты трех точек, расположенных не ближе 15 м друг от друга и образующих треугольник с углами не менее 30°.
3. Измерения следует производить при максимальной точности прибора.
4. При определении координат следует вести журнал отбора проб, в котором отмечается время проведения измерений (год, дата, часы, минуты), время и количество измерений на точке, оцениваемая точность, усредненное местоположение.

Бурное развитие компьютерной техники вносит свои коррективы в методику картирования месторождений полезных ископаемых с помощью спутниковой навигации. Так, в настоящее время, в помощь геологам поступили мобильные устройства **Discover Mobile**, делающие сбор, управление, обработку и анализ практически любых наборов пространственных данных во время полевых исследований удобным и как никогда простым. Полная поддержка GPS, обширный набор инструментов для создания и редактирования объектов, позволяет с помощью **Discover Mobile** картировать геологические границы, разломы, обнажения и т. п., которые автоматически появляются на цифровой карте миникомпьютера.

Разрабатываемая на основе геолого-технологического картирования модель

месторождения, направлена, в первую очередь, на обеспечение управления технологических режимов в условиях горно-обогатительного предприятия [7]. Сегодня GPS навигация внедряется уже и в процесс контроля за процессами рудоподготовки. Так, в настоящее время, на горно-обогатительных комбинатах России и Украины широко внедряется в производство система диспетчеризации «Карьер», представляющая автоматизированную систему управления горно-транспортным комплексом, в которой одним из элементов является модуль слежения за технологическим транспортом с помощью GPS [8].

**Выводы.** Таким образом, применение GPS навигации при проведении геолого-технологического картирования месторождений полезных ископаемых является крайне перспективным. Широкое внедрение этого метода в практику геологоразведочных работ будет способствовать увеличению эффективности результатов работ, при существенном снижении их стоимости. При этом, прежде всего, следует обратить внимание на следующие аспекты этой проблемы: необходимость подготовки кадров в области геоинформационных технологий; улучшение материально-технической базы соответствующих геологических организаций и разработка новых методических приемов определения координат точек отбора с помощью GPS.

### Библиографические ссылки

1. Коц, Г. А. Технологическое опробование и картирование месторождений / Г. А. Коц, С. Ф. Чернопятов, И. В. Шманенков. – М., 1980. – 288 с.
2. Берлянт, А. М. Электронное картографирование в России / А. М. Берлянт // Соросовский образовательный журнал. – Т. 6. – 2000. – № 1. – С. 64–70.
3. Бровко Б. А. Особенности использования спутниковых навигационных технологий в системе КТМ для актуализации цифровых дежурных топографических основ / Б. А. Бровко, С. А. Ефимов, Б. А. Бородко, А. В. Струнников // Геодезия и картография. – 2007. – №4. – С. 13–19.
4. Леонов, Б. К. GPS: Все что Вы хотели знать, но боялись спросить / Б. К. Леонов. – М., 2006. – 352 с.
5. Баранов, Ю. Б. Геоинформационные технологии в геологии и недропользовании / Ю. Б. Баранов, Р. В. Грушин // Геопрофи. – 2006. – №2. – С. 4–7.
6. Холошин, І. В. Роль геоінформаційних технологій при геолого-технологічному картуванні родовищ / І. В. Холошин // Матеріали VI інтернет-конференції «Сучасність, наука, час. Взаємодія та взаємовплив». – К., 2009. – С. 11–14.
7. Пирогов, Б. И. Геолого-технологическое моделирование комплексных железорудных месторождений / Б. И. Пирогов, И. В. Холошин // Геолого-технологическое моделирование рудных месторождений. – СПб., 1993. – С. 83–95.
8. Владимиров, Д. Я. Система диспетчеризации «КАРЬЕР»: от мониторинга большегрузных автосамосвалов к управлению горно-транспортным комплексом и оптимизации горных работ в карьере / Д. Я. Владимиров, А. И. Клебанов, А. И. Перепелицин // Горная промышленность. – 2004. – №4. – С. 12–16.

Надійшла до редколегії 17.12.09