

С. О. Шевчук¹, Н. С. Косарев^{2}, Е. А. Генералова³,
А. Е. Мелеск³, Ю. М. Зюзин³, С. В. Барсуков¹*

Концепция универсального программного обеспечения для выполнения полного цикла геодезического обеспечения геолого-геофизических исследований

¹ АО «ЕМ-Разведка», г. Новосибирск, Российская Федерация

² Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

* kosarevnsk@yandex.ru

³ АО «Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья», г. Новосибирск, Российская Федерация

Аннотация: В статье рассмотрена концепция создания пакета программных продуктов, покрывающего большинство производственных процессов навигационного и геодезического обеспечения геолого-геофизических работ. Рассмотрены разновидности геолого-геофизических исследований, общая специфика и ключевые различия их навигационного, геодезического и топографического обеспечения. Сформирован ряд задач навигационно-геодезического обеспечения различных видов геолого-геофизических исследований и рассмотрен концепт программного обеспечения, обеспечивающего решения большинства поставленных задач. Предложена реализация данной концепции на базе программных продуктов, входящих в программный пакет RouteNav, а также на базе свободного ПО RTKLib. Сделаны выводы о необходимых усовершенствованиях и дополнениях.

Ключевые слова: геология, геофизика, геодезическое обеспечение, ГНСС, контроль, обработка геодезических измерений, RouteNav, RTKLib, GIS

S. Oh. Shevchuk¹, N. S. Kosarev^{2}, E. A. Generalova³,
A. Well. Melesk³, Yu. M. Zyuzin³, S. V. Barsukovs³*

Development of software for making a full-cycle geodetic support of geological and geophysical survey

¹ JSC «EM-Exploration», Novosibirsk, Russian Federation

² Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
* kosarevnsk@yandex.ru

³ JSC «Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Raw Materials», Novosibirsk, Russian Federation

Классификация геолого-геофизических работ

Геолого-геофизические работы (ГГР) – понятие, включающее в себя широкий спектр исследований строения недр Земли, обобщенной целью которых является получение информации о геологических объектах, залегающих на любой глубине в теле планеты. Для получения качественной информации о геологических объектах используют различные методы исследований, которые могут быть классифицированы, например, по решаемым задачам: наземные, подземные,

морские и аэрокосмические, или в зависимости от масштаба проводимых исследований и их задач: региональные и детальные.

Кроме того ГГР могут быть классифицированы как [1, 2]:

– рудные – поиск и разведка рудных месторождений, изучение массивов пород в целях разработки месторождений, детальное картирование складчатых областей;

– структурные – изучение строения земной коры и мантии, региональное геологическое картирование платформенных областей, поиски нефтегазоносных структур, исследование угольных бассейнов и др.;

– инженерно-геологические – изыскания и исследования неглубоко залегающих структур (до 200 м). Подавляющее большинство объектов инженерной геологии связано со строительством наземных сооружений (зданий, мостов, гидротехнических объектов, автомобильных и железных дорог и пр.) и подземных сооружений (стволов шахт, тоннелей, линий метрополитена). Кроме того, данные работы включают в себя исследования многолетнемерзлых толщ, вопросы прогнозирования оползней на берегах рек и других опасных природных явлений, поиск подземных вод и пр. относятся к инженерному направлению.

Как правило, ГГР имеют комплексный характер и включают в себя сразу несколько видов исследований. Например, геолого-геофизические работы на нефть и газ подразделяются на три условных этапа, характеризующихся различными масштабами, детальностью исследований и технологической базой: региональный, поисково-оценочный и разведочный [3].

Таким образом, можно констатировать широчайшее разнообразие видов ГГР, которые проводятся с применением технических средств, имеющих серьезные методические различия. Различия же в детальности указанных работ приводит к варьированию требований к получаемой результирующей продукции, которая, кроме прочего, зачастую представлена тематическими картами, профилями и трехмерными моделями местности и другими видами данных, которые всегда имеют жесткую территориальную привязку.

Кроме того, выполнение самих работ (полевых и камеральных) непременно требует оперирования различной топографо-геодезической информацией, среди которой – координаты и высоты исследуемых объектов и пунктов измерений, различная картографическая информация, а также, в случае динамических исследований с применением движущихся носителей измерительной аппаратуры, временных меток в единой системе отсчета времени. Указанные параметры определяются при выполнении навигационно-геодезического обеспечения (НГО) ГГР, которое выделяется в отдельную самостоятельную технологию, значительно варьирующуюся в зависимости от исходных геолого-геофизических методов и их детальности [4-6].

Задачи геодезического обеспечения НГО ГГР

Технология НГО ГГР регламентирована действующей Инструкцией [4], в соответствии с которой разрабатывается техническое задание на выполнение данных работ. Обобщенно НГО ГГР включает в себя:

– подготовку геодезической основы планируемых геолого-геофизических работ в виде топографических, географических, навигационных и других картографических материалов;

– определение на проектной топографической основе (разметка) проектных позиций геофизических измерений – пунктов, сетей, профилей, маршрутов;

– вынос в натуру позиций геолого-геофизических наблюдений (при необходимости);

– геодезическое сопровождение геолого-геофизических исследований – определение планово-высотного положения точек наблюдений в процессе съемочных работ;

– камеральную обработку геолого-геодезических измерений, включая оценку их точности;

– создание геодезической основы для геолого-геофизического картирования – предоставление результирующей геодезической информации.

Также существует ряд дополнительных задач навигационного обеспечения геолого-геофизических исследований, включающий:

– задание (проложение) проектных съемочных маршрутов в виде последовательности прохождения точек геофизических наблюдений;

– определение плановых координат и высот носителя аппаратуры геофизических измерений в процессе съемочных работ;

– управление ходом геофизической съемки путем сравнения измеренного местоположения точек наблюдения с запланированными, и выработки соответствующих указаний или сигналов для корректировки курса носителя аппаратуры геофизических наблюдений.

Конкретный состав данных этапов, очевидно, будет варьироваться в зависимости от видов ГГР и их детальности. Кроме того отдельные виды ГГР требуют выполнения специфических операций в процессе их проектирования, выполнения и контроля качества.

Вне зависимости от применяемой технологии и метода ГГР можно констатировать, что современные технологии их геодезического обеспечения обязательно выполняются в цифровом виде, а большинство технологических процессов автоматизировано или требует автоматизации. Еще одной заметной тенденцией является повсеместное использование аппаратуры глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), в силу их высокой эффективности непосредственно для выполнения таких работ [5-7].

Исходя из указанных задач, можно выделить ряд программных средств, применяемых для решения задач НГО ГГР:

– универсальные географические информационные системы (ГИС): MapInfo, ArcGIS, QGIS, GRASS и пр., используются чаще всего как для проектирования работ, так и при подготовке результирующих данных;

– САД-платформы, такие как AutoCAD, NanoCAD. В них могут быть представлены исходные данные от заказчиков, особенно при выполнении геолого-геофизических изысканий, связанных с проектированием и строительством

сооружений и путей сообщения. Зачастую указанные программы используются только на этапе подготовительных работ и при проектировании заданий на отдельные сеансы измерений;

- математическое программное обеспечение (ПО), такое как Golden Software Surfer, Mathcad и пр., зачастую применяемое при проектировании и контроле расстановок геофизических датчиков и при первичной оценке кондиционности геофизических данных;

- программы для подготовки проектных данных для полевой геодезической аппаратуры (как правило, навигационных приемников ГНСС): OziExplorer, Garmin MapSource, Global Mapper, SAS.Планета. Такие программы характеризуются поддержкой форматов навигационной ГНСС-аппаратуры и, зачастую, наличием встроенных навигационных карт или карт, загружаемых с открытых геопорталов [8, 9];

- программы для обработки измерений высокоточной аппаратуры ГНСС: Leica Geo Office, Topcon/Magnet Office Tools, GrafNav, Trimble Business Center, RTKLib и пр.;

- средства электронных таблиц (MS Office, Libre Office, Open Office), применяемые для форматирования каталогов итоговых данных и промежуточного формата данных для их передачи между различными программами.

Таким образом, технология НГО ГГР требует отдельных дорогостоящих программных решений и широкого спектра навыков у специалиста, выполняющего данные работы.

Концепция универсального программного обеспечения

Коллектив авторов в ходе многолетнего практического опыта выполнения НГО ГГР [10-13] в данной публикации предлагает подойти к концепции универсального продукта, который мог бы объединить в себе большинство или все технологические процессы НГО ГГР и имел бы совместимость с форматами другого ПО, применяемого в ГГР.

Для упрощения построения концепции, выделим три основных этапа НГО ГГР, на которых может потребоваться применение специального ПО [4, 6]:

- проектирование НГО ГГР, включая подготовку полевых работ (при их наличии);

- геодезическое и навигационное сопровождение полевых работ (если они являются частью технологии ГГР);

- обработка полученных измерений, анализ геодезической информации, подготовка результирующих каталогов.

Функции универсального ПО укрупненно приведены на (рис. 1).

Самым сложным этапом является этап проектирования НГО ГГР. Он может включать в себя, в зависимости от метода ГГР, широкий спектр операций, требующих автоматизации и эффективного и гибкого инструментария:

- импорт исходных данных из форматов ГИС, САД-систем, текстовых каталогов произвольного формата, векторных и растровых изображений, регулярных/нерегулярных сеток высот и пр.;

– разбивка и вынос точек измерений – разбивка участка работ на маршруты, разбивка маршрутов на пункты измерений, проектирование сложных измерительных систем (например, петель при съемке методом становления электромагнитного поля – ЗСБ), выполнение нумерации и наименования проектных пунктов по заданному алгоритму;

– оперирование в различных системах координат с гибким подходом к масштабированию, включая учет кривизны Земли в различных проекциях, выполнение пересчета координат в заданные системы, учет модели геоида, а также необходимость работы с высотами в разных системах высот;

– перевод проектных данных в формат, совместимый с полевой геодезической и навигационной аппаратурой и, при необходимости, с геофизическими приборами.

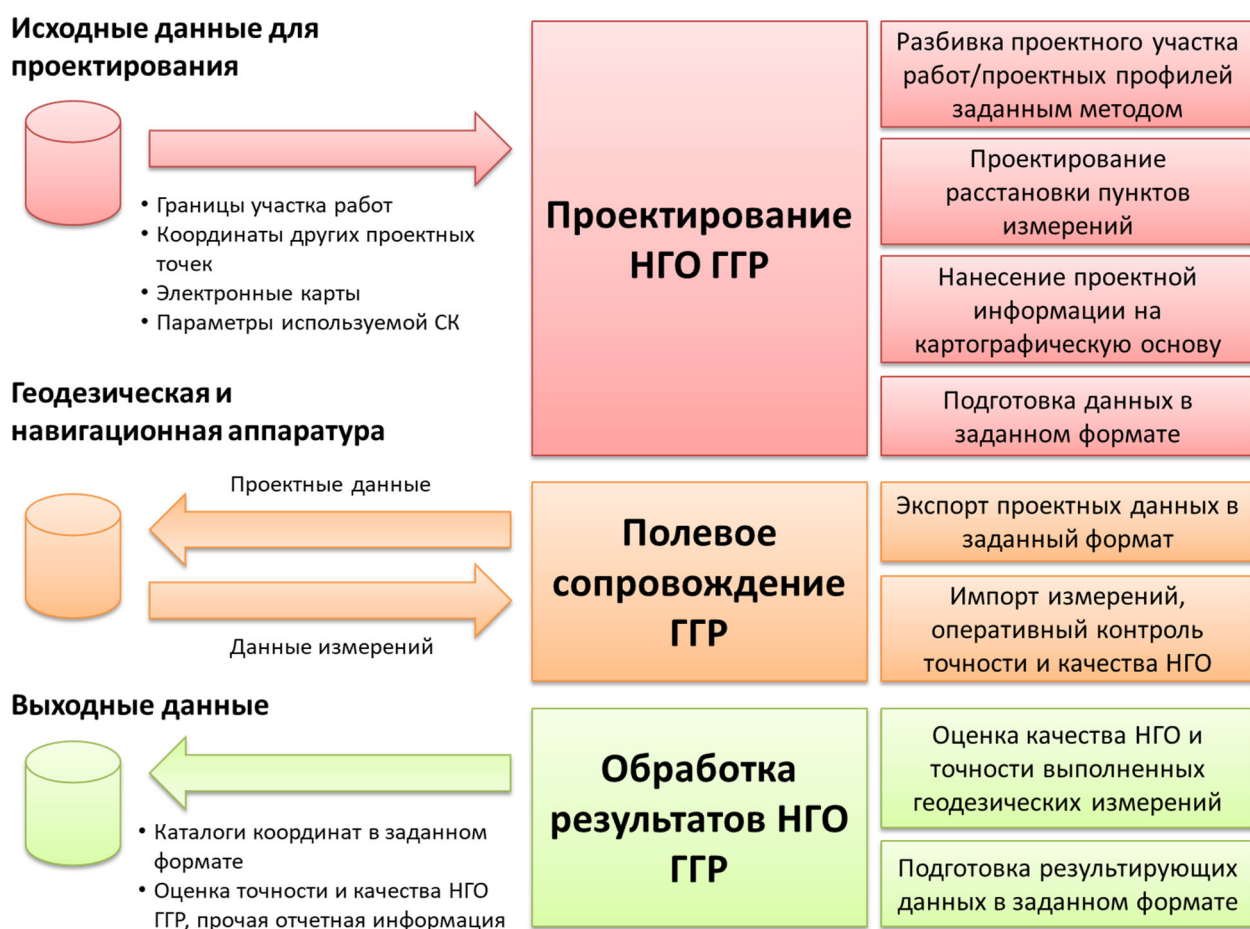


Рис. 1. Концепция универсального ПО для НГО ГГР

На этапе геодезического и навигационного сопровождения полевых работ проектные данные должны «порционно» загружаться в полевую аппаратуру, а также импортироваться из нее для выполнения оперативного анализа и оценки качества и точности выполнения НГО.

После завершения и ликвидации полевых работ выполняется камеральная обработка результатов геодезических измерений, целью которой является оценка точности и качества выполненных геодезических измерений, их соответствие допускам, сравнение проектных и фактических данных, а также подготовка результирующей продукции:

- вывод итоговых каталогов координат;
- отчеты по оценке точности и качества выполненных работ в контексте НГО;
- вывод результатов измерений в форматах, поддерживаемых ПО для обработки измерений геофизических датчиков;
- при необходимости цифровой вывод и/или печать итогового иллюстрирующего материала (карты, схемы, графики, пр.).

Важно отметить, что оценка точности может выполняться различными способами – от анализа множественных измерений и сравнения их с проектными данными, так и проверкой соответствия заданным дополнительным математическим условиям. Под качеством работ подразумеваются показатели, не относящиеся к точности геодезических измерений, например, соответствие наименований измеренных и проектных пунктов, отсутствие ошибок в метаданных.

Таким образом, обобщенное универсальное ПО должно обеспечить решение всех (или, по крайней мере, большинства) перечисленных задач без привлечения дополнительных внешних программных средств начиная с этапа загрузки исходных данных, и заканчивая выдачей результирующей и отчетной информации.

Универсальное программное обеспечение на базе RouteNav и RTKLib

Несмотря на сложность и объем концепции, существует возможность построения такого программного обеспечения на базе различных платформ.

Например, эта задача может быть решена с помощью адаптации универсальных ГИС с открытым кодом или модульной структурой, позволяющей программировать отдельные части под нужды пользователей (GRASS, QGIS, MapInfo, ArcGIS).

Также одним из вариантов может быть развитие специализированного ПО на базе RouteNav и RTKLib [10, 14, 15].

RouteNav – программный комплекс, изначально создававшийся под нужды навигационного обеспечения аэрогеофизической съемки. В последние годы его функционал значительно расширился в сторону геодезического обеспечения различных методов ГГР.

Текущие возможности RouteNav позволяют выполнять следующие виды работ НГО ГГР:

1) проектирование ГГР:

- импорт исходных данных (точек, границ участка работ, профилей) из произвольных текстовых форматов *.txt, *.csv и электронных таблиц *.xls, *.xlsx, а также формата Surfer *.bln, Google Earth *.kml, Garmin GPS eXchange *.gpx,

XML-формата миссий беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) *.mission и пр.;

- загрузка растровых подложек, предоставляемых картографическими сервисами YandexMaps и GoogleMaps на выбранный участок, возможность импорта растровых карт через гео-привязку (с возможностью ее импорта из формата OziExplorer *.map);

- выбор системы координат импортируемых данных, возможность локализации, полноценный геокалькулятор с расширяемой базой данных параметров пересчета;

- возможность применения моделей геоида при пересчете высот [16-18];

- импорт траекторий, которые также могут при меняться при проектировании маршрутов (из журналов сообщений NMEA0183, формата Garmin *.gpx и произвольных каталогов текстового формата);

- ручное создание, редактирование, загрузка и сохранение границ участка работ, проектных точек и проектных маршрутов, с возможностью редактирования точных координат, наименования, параллельного переноса, перемещения на заданное расстояние, объединения, разделения по заданной линии и пр.;

- измерение расстояний (как прямых в проекции, так и с учетом кривизны Земли);

- разбивка участка работ на сети проектных прямолинейных маршрутов с возможностью задания порядка и направления их прохождения;

- выделение прямой из криволинейных маршрутов, прямолинейный снос точек в прямом и обратном направлении (применяется, в частности при проектировании профилей и точек измерения и расстановки пунктов для метода глубинного сейсмического зонирования – ГСЗ);

- вычисление вспомогательных отчетных данных – площади участка работ, количества маршрутов, поворотных точек и пр.;

2) навигационное и геодезическое сопровождение ГГР:

- экспорт проектных данных в форматы, совместимые с аппаратурой, применяемой для выноса проектных точек (GPS eXchange *.gpx, формата миссий БПЛА *.mission, *.kml, формат модулей NVC *.lst, собственный формат навигационного модуля RouteNav *.rts);

- полный цикл навигационного сопровождения аэро- и наземных геофизических исследований с подвижным носителем с использованием основного модуля RouteNav [10, 19]:

- навигация достижения участка работ;

- прохождение маршрутов в заданной последовательности;

- контроль скорости, отклонений от проектных маршрутов, высоты полета (в случае подключения высотомеров);

- вывод рекомендуемой траектории захода на маршрут;

- возвращение с участка работ на заданный пункт базирования.

- импорт данных измерений – точек, маршрутов, траекторий – из форматов, перечисленных выше для выполнения оперативного контроля;

3) обработка результатов НГО ГГР:

- анализ траекторий: вывод цветовой отмывкой по заданным параметрам, визуальный контроль точек траектории, анализ наличия срывов наблюдения, вычисление уклонений от проектных маршрутов;
- вывод подробных отчетов и графиков – высотных профилей, скорости, количества спутников и геометрического фактора;
- выделение остановок (реализация метода Pseudo Stop-and-Go) [20];
- переход от координат ГНСС антенны к координатам измерительных датчиков через заданные параметры установки антенны [21, 22];
- экспорт каталогов результирующих координат в различные форматы.

В публикации [23] рассмотрено применение отдельных модулей RouteNav для решения различных задач НГО ГГР, в частности: проектирование пунктов взрыва и измерений для ГСЗ, метода Pseudo Stop-and-Go, применявшихся при гравиметрических исследованиях, редукции траектории электро-магнитного сканирования (ЭМС), (рис. 2).

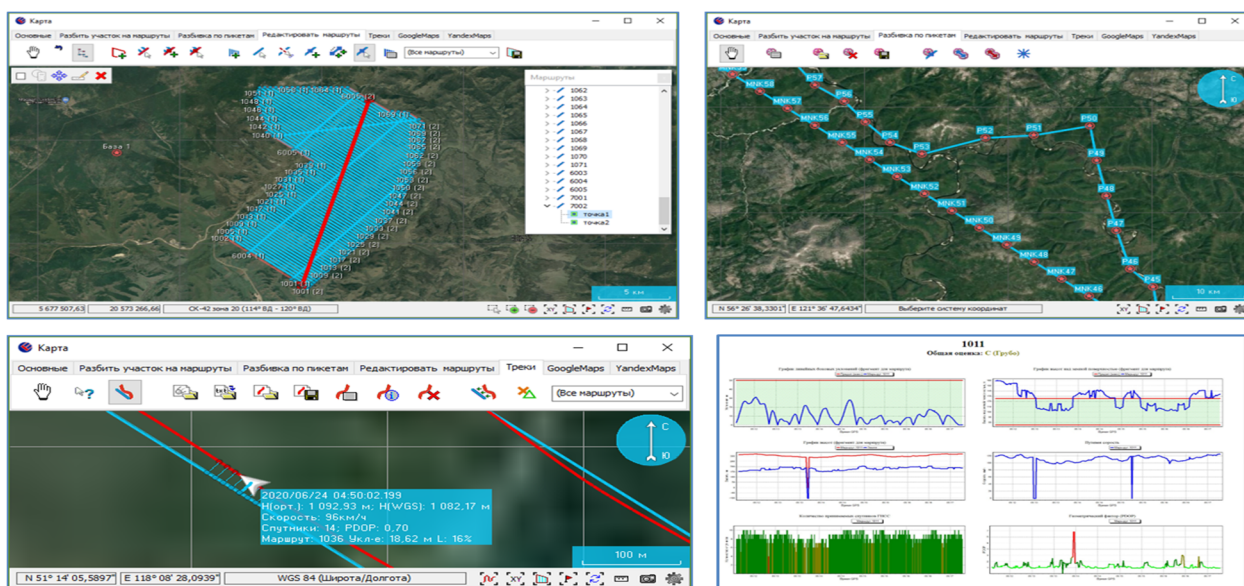


Рис. 2. Инструменты RouteNav для геодезического обеспечения ГГР

Кроме того, начиная с версии 2.4 в редакторе RouteNav RouteEditor добавлен модуль проектирования и полевого контроля для геофизических работ методом становления электромагнитного поля в ближней зоне (ЗСБ) [24], включая:

- проектирование расстановок петель ЗСБ вдоль заданных профилей или внутри заданного участка работ;
- настройка формы, размеров, азимутов петель;
- настройка конфигурации расстановки пунктов измерения (пикетов), включая настраиваемый произвольный шаблон расстановки;
- выбор алгоритма наименования центров и угловых точек петель, пикетов (пунктов измерения);

- редактирование петель как отдельных точек, сохранение в заданном формате (в том числе, форматов специального ПО EM-DataProcessor [25]);
- импорт измерений с датчиков геофизических измерений, оценка точности определения координат по внутренней сходимости, сравнение проектных и измеренных координат;
- вывод подробных отчетов соответствия проектных и фактических координат с анализом совпадения/не совпадения имен пикетов (с целью устранения методических ошибок).

На (рис. 3.) показаны инструменты RouteNav для НГО геофизических работ методом ЗСБ.

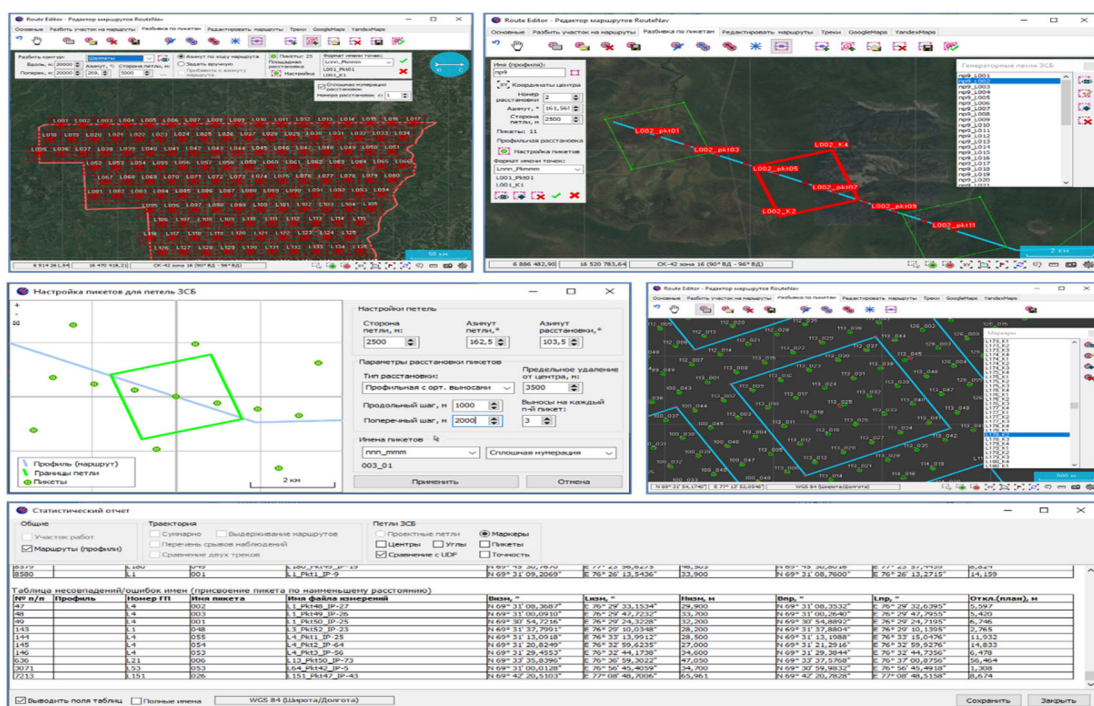


Рис. 3. Инструменты RouteNav для проектирования петель ЗСБ

Данный программный комплекс активно используется при выполнении НГО геофизических работ в АО «ЕМ-Разведка», АО «ГП «Сибгеотех» и АО «СНИИГГиМС» уже более шести лет.

Концепция построения универсального ПО на основе RouteNav предполагает расширение функционала следующими принципиальными дополнениями:

- добавление поддержки регулярных и нерегулярных цифровых моделей рельефа, необходимых при проецировании. Возможность создания высотных моделей на основе высот заданных пунктов, например, триангуляцией Делоне;
- добавление алгоритмов проектирования пунктов измерения для более широкого спектра ГГР;
- возможность загрузки картографических подложек более широкого спектра геопорталов (Kosmosnimki.ru, Bing.Maps, OpenStreetMap и пр.);

- расширение списка доступных проекций и систем координат, добавление поддержки дополнительных проекций, используемых при производстве ГТР (например, конических проекций, не поддерживаемых в текущих версиях);
- расширение списка поддерживаемых форматов, в частности добавление импорта/экспорта в форматы GeoJson, форматов MapInfo *.mid/*.mif, ArcGIS *.shp, форматов миссий БПЛА и форматов программ обработки геофизических данных;
- расширение гибкости вывода точечных и линейных объектов (добавление настраиваемых пунсонов, стилей и цветов линий и пр.) и других возможностей классических ГИС;
- возможность вывода полученных результатов на печать с контролем масштаба печати.

Так как работы крупных масштабов зачастую выполняются высокоточной фазовой ГНСС-аппаратурой, важнейшим дополнением функционала данного ПО может быть интерфейсная связка с ПО для постобработки ГНСС-измерений, в частности, RTKLib.

RTKLib – модульный программный комплекс, разработанный Томодзи Такасу, сотрудником Токийского океанографического университета [12]. Программа имеет свободную модель распространения и имеет значительное практическое значение, используется во многих инженерных, коммерческих и научных приложениях [26, 27].

Программа позволяет работать как в режиме реального времени в дифференциальном режиме по коду и фазе, так и выполнять постобработку ГНСС измерений относительным методом и методом Precise Point Positioning (PPP) [28], представляющим особый интерес в контексте НГО ГРП. Интерфейс программы показан на (рис 4).

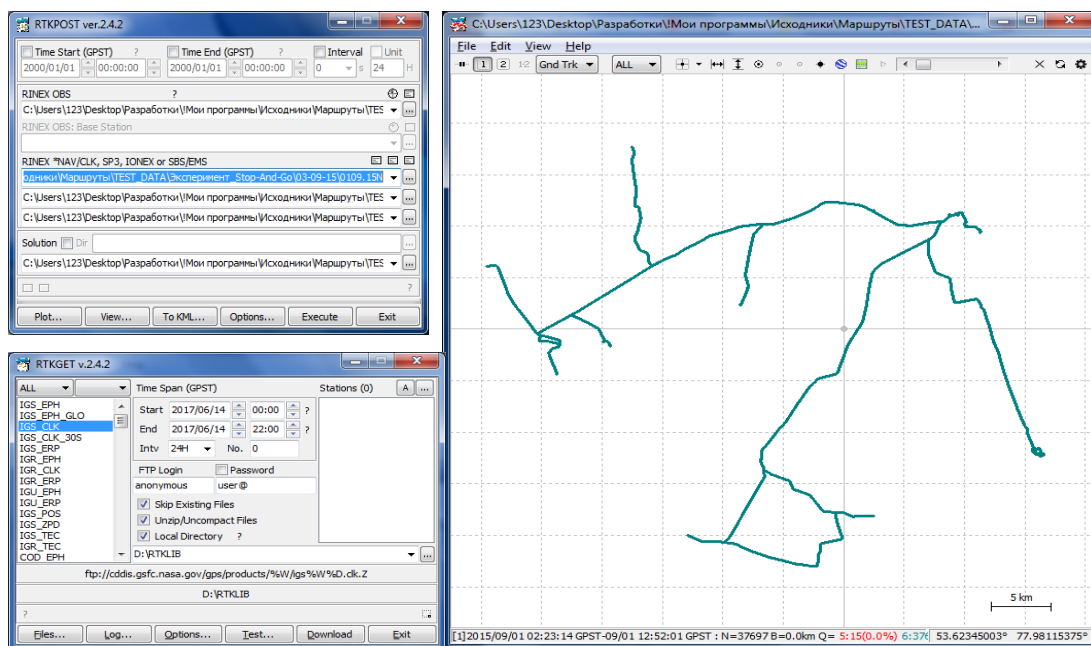


Рис. 4. Интерфейс RTKLib (модули RTKPOST, RTKGET и RTKPLOT)

В исследованиях [29, 30] была подтверждена эффективность данного ПО, в том числе, в контексте НГО геофизических работ.

Сопряжение RTKLib и RouteNav предлагается реализовать через интерфейс RouteEditor с учетом упрощения интерфейса в сторону использования специалистами-инженерами, но с сохранением гибкости настроек, предлагаемым оригинальной программой.

Таким образом, объединение данных программ единым интерфейсом и значительное дополнение RouteNav должно позволить выполнять большинство работ, входящих в технологию НГО ГГР.

Выводы

Очевидно, даже на уровне концепции невозможно полностью покрыть весь спектр работ НГО ГГР, которые могут выполняться посредством единой программной платформы. Например, в рамках данной концепции не прорабатывались вопросы маркшейдерского обеспечения, которое также зачастую относят к НГО. Кроме того, предусмотреть все виды ГГР с учетом динамического изменения данного научного направления крайне сложно.

Вместе с тем, предложенная концепция уже в ближайшее время сможет приблизиться к реализации и позволить автоматизировать многие технологические процессы.

Преимуществом описанной выше реализации универсального ПО на базе RouteNav является то, что в предложенном программном комплексе уже реализован широкий спектр инструментов для автоматизации НГО ГГР, а свободное ПО для постобработки измерений ГНСС RTKLib доказало свою эффективность даже в сравнении с коммерческими аналогами.

При взаимной интеграции указанные программы должны обеспечить повышение оперативности, снижение рисков дополнительных технологических ошибок, связанных с конвертацией данных в форматы различного ПО, а также снижение суммарной стоимости НГО ГГР за счет уменьшения требуемого спектра применяемого ПО.

Предлагаемая концепция является гипотетической, ее развитие будет зависеть как от спроса на подобные программные решения, так и от поддержки идеи со стороны профессионального сообщества.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пузырев Н.Н. Методы и объекты сейсмических исследований. Введение в общую сейсмологию [Текст]. – Новосибирск: СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 2009. – 301 с.
2. Ладынин А.В. Электроразведка [Текст]. – Новосибирск: НГУ, 1996. – 53 с.
3. Шпильман А.В. Компонентный состав и архитектура системы мониторинга геологоразведочных работ [Текст] // Бурение и нефть. – 2018. – №9. – С. 31-33. EDN: UZHVF
4. Инструкция по топографо-геодезическому и навигационному обеспечению геологоразведочных работ [Текст]. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1997. – 106 с.
5. Прихода А.Г., Лапко А.П., Мальцев Г.И., Бунцев И.А. GPS-технология геодезического обеспечения геологоразведочных работ [Текст]. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2008. – 274 с.
6. Глаголев В.А. Спутниковое навигационно-геодезическое обеспечение геофизических измерений в движении [Текст]. – СПб.: ВИРГ-Рудгеофизика, 2003. – 104 с.

7. Прихода А.Г., Лапко А.П., Мальцев Г.И., Бунцев И.А. Спутниковое обеспечение сейсморазведочных работ [Текст]. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2002 – 144 с.
8. SASGIS. Веб-картография и навигация [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://sasgis.ru/sasplaneta/>.
9. Global Mapper – Blue Marble Geographics [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.bluemarblegeo.com/global-mapper/>.
10. Тригубович Г. М., Шевчук С. О., Белая А. А., Чернышев А. В., Барсуков С. В., Косарев Н.С. Навигационно-геодезическое обеспечение аэрогеофизических исследований [Текст] // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2013. – №2 (14). – С. 61 – 70. EDN: QCFIWV.
11. Тригубович Г.М., Шевчук С.О., Косарев Н.С., Никитин В.Н. Комплексная технология навигационного и геодезического обеспечения аэроэлектромагнитных исследований [Текст] // Гироскопия и навигация. – 2017. – №1 (96). – С. 93 – 107. DOI: 10.17285/0869-7035.2017.25.1.093-107. EDN: YKGWJN.
12. Тригубович Г.М., Шевчук С.О., Косарев Н.С., Никитин В.Н. Технология навигационно-геодезического обеспечения аэрогеофизических исследований с вертолетной разведочной платформой серии «Импульс-А» [Текст] // Геофизика. – 2017. – № 6. – С. 65-72. EDN: YQTZSB.
13. Шевчук С.О., Тригубович Г.М., Косарев Н.С., Барсуков С.В., Никитин В.Н. Технология навигационного обеспечения аэрогеофизических работ с использованием программного комплекса RouteNav [Текст]: монография. – Новосибирск : СГУГиТ, 2021.– 308 с.
14. Шевчук, С. О. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017614500 / Российская Федерация / Программа для навигационного обеспечения аэрогеофизических работ RouteNav [Текст] / С. О. Шевчук, С. В. Барсуков; заявитель и правообладатель Закрытое акционерное общество «Аэрогеофизическая разведка» (RU); дата поступления 09 янв. 2017 г.; дата регистрации 18 апр. 2017 г.
15. RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.rtklib.com/>.
16. Канушин, В.Ф., Карпик А.П., Голдобин, Д.Н., Ганагина, И.Г., Гиенко Е.Г., Косарев Н.С. Определение разности потенциалов силы тяжести и высот в геодезии посредством гравиметрических и спутниковых измерений [Текст] // Вестник СГУГиТ. – 2015. – №3. – С. 53-69. EDN: VNVVGH.
17. Канушин, В.Ф., Карпик А.П., Ганагина И.Г., Голдобин Д.Н., Косарева А.М., Косарев Н.С. Исследование современных глобальных моделей гравитационного поля Земли [Текст]: монография. – СГУГиТ, 2015. – 270 с. EDN: WCSTMF.
18. Канушин В.Ф., Ганагина И.Г., Голдобин Д.Н., Мазурова Е.М., Косарев Н.С., Косарева А.М. Современные глобальные модели квазигеоида: точностные характеристики и разрешающая способность [Текст] // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Том 22, №1. – С. 30-50. EDN: YSEFHB.
19. Шевчук С.О., Барсуков С.В. Навигационное сопровождение аэрогеофизических исследований с использованием программы RouteNav [Текст] // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр., 17-21 апреля 2017 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. Т. 2. – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. – С. 130 – 137. EDN: YNLKUL.
20. Шевчук С.О., Косарев Н.С., Зюзин Ю.М., Мелеск А.Х. Контроль координат и высот пунктов гравиметрических наблюдений методом PPP [Текст] // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч. конгр., 24–26 апреля 2019 г., Новосибирск [Текст] : сб. материалов в 9 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. № 1. – С. 18 - 27. DOI: 2618-981X-2019-1-1-18-27. EDN: JAUNWA.
21. Шевчук С.О., Никитин В.Н., Лыско О.Н., Жидов В.М. Редукция кинематических ГНСС-измерений [Текст] // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2019. – № 1 (48). – С. 63–72. EDN: PVLUXH.

22. Шевчук С.О., Косарев Н.С. Алгоритм определения пространственных углов аэроразведочной платформы по измерениям трехантенного ГНСС комплекса // Вестник СГУГиТ – 2013. – Вып. 4 (24). – С. 37 – 47. EDN: RTAYEF.
23. Шевчук С.О., Черемисина Е.С., Никитин В.Н., Зюзин Ю.М., Мелеск А.Х., Барсуков С.В. Автоматизация решения геодезических задач полевой геофизики [Текст] // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVII Междунар. науч. конгр., 19–21 мая 2021 г., Новосибирск [Текст] : сб. материалов в 8 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. – С. 225 – 239. DOI: 10.33764/2618-981X-2021-1-225-239. EDN: EWICRN.
24. Метод ЗСБ. Зондирование становлением поля в ближней зоне [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://neftegaz.ru/science/development/331647-metod-zsb-zondirovanie-stanovleniem-polya-v-blizhney-zone/>.
25. 3D interpretation of AEM data with IP effect in EM-DataProcessor software [Электронный ресурс] // EarthDoc – библиотека EAGE. / Режим доступа: <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.201800491>.
26. V. Elisson and G. Gassler (2014): Low cost relative GNSS positioning with IMU integration [Electronic Resource] Access mode: <https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/200466/200466.pdf>.
27. Jager, R. GOCA – GNSS Control [Electronic resource] / R. Jager. – Режим доступа: http://goca.info/docs/flyer/GNSSControl-Flyer_English.pdf – Англ.
28. PPP Ambiguity Resolution Implementation in RTKLIB v 2.4.2 [Electronic Resource] Access mode: http://gpspp.sakura.ne.jp/paper2005/ppprtk_201203a.pdf.
29. Шевчук С.О., Малютина К.И., Липатников Л.А. Перспективы использования свободного программного обеспечения для постобработки ГНСС-измерений [Текст] // Вестник СГУГиТ. – 2018. – № 1. (23). – С. 65-82. EDN: LBKMIH.
30. Wisniewski, K. Bruniecki, M. Moszynski Evaluation of RTKLIB's Positioning Accuracy Using low-cost GNSS Receiver and ASG-EUPOS [Text] // The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. – 2013. – Vol.7, № 1. – P. 79-85.

© С. О. Шевчук, Н. С. Косарев, Е. А. Кравченко, А. Х. Мелеск, Ю. М. Зюзин, 2023