

*С. О. Шевчук<sup>1</sup>, Н. С. Косарев<sup>2\*</sup>, Е. А. Генералова<sup>3</sup>,  
А. Е. Мелеск<sup>3</sup>, Ю. М. Зюзин<sup>3</sup>, С. В. Барсуков<sup>1</sup>*

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

<sup>1</sup> АО «ЕМ-Разведка», г. Новосибирск, Российская Федерация

<sup>2</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

\* kosarevnsk@yandex.ru

<sup>3</sup> 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. Shevchuk<sup>1</sup>, N. S. Kosarev<sup>2\*</sup>, E. A. Generalova<sup>3</sup>,  
A. Well. Melesk<sup>3</sup>, Yu. M. Zyuzin<sup>3</sup>, S. V. Barsukovs<sup>3</sup>*

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

<sup>1</sup> JSC «EM-Exploration», Novosibirsk, Russian Federation

<sup>2</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation  
\* kosarevnsk@yandex.ru

<sup>3</sup> 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 ГТР 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 ГТР [10-13] в данной публикации предлагает подойти к концепции универсального продукта, который мог бы объединить в себе большинство или все технологические процессы НГО ГТР и имел бы совместимость с форматами другого ПО, применяемого в ГТР.

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

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

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

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

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

Самым сложным этапом является этап проектирования НГО ГТР. Он может включать в себя, в зависимости от метода ГТР, 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).

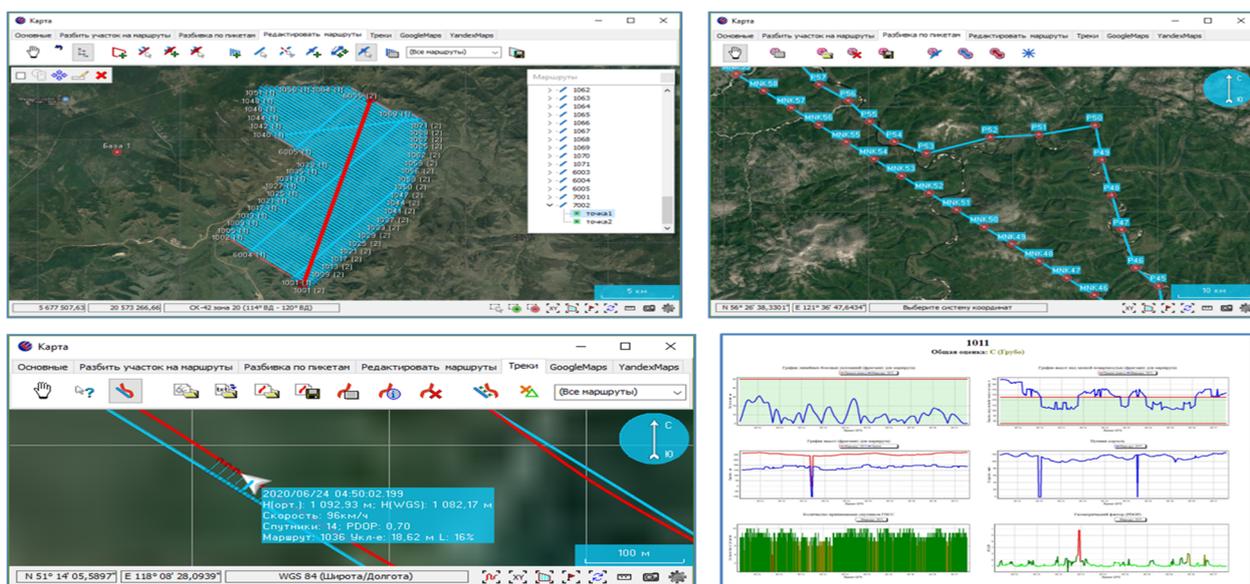


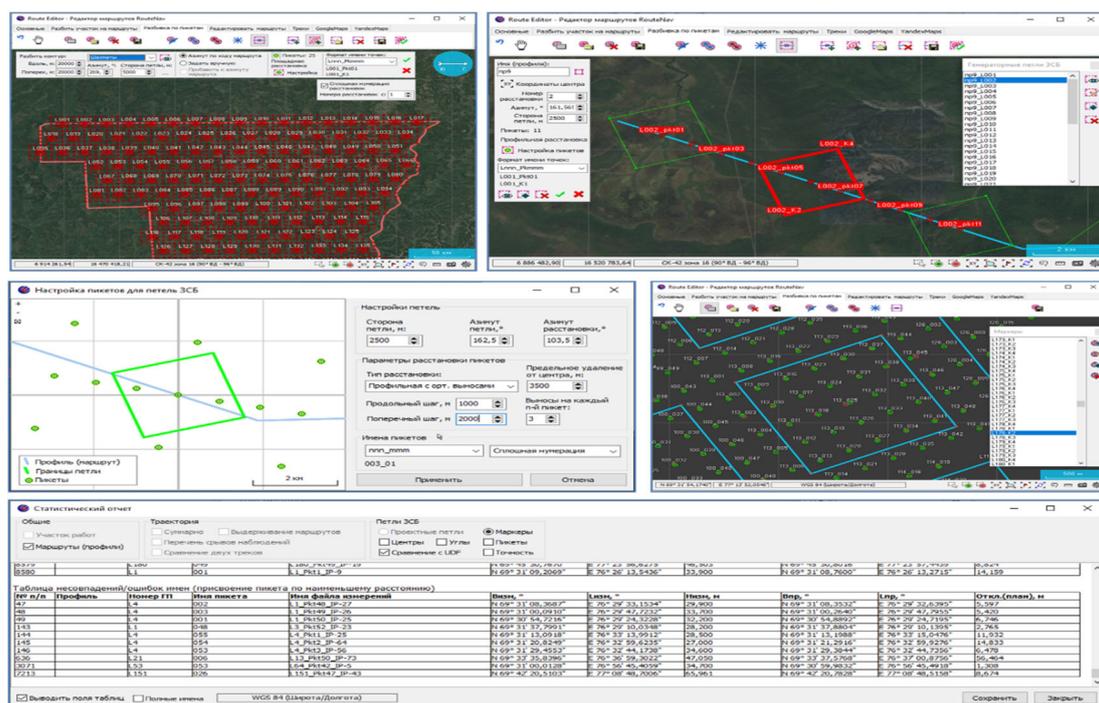
Рис. 2. Инструменты RouteNav для геодезического обеспечения ГГР

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.



- 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).

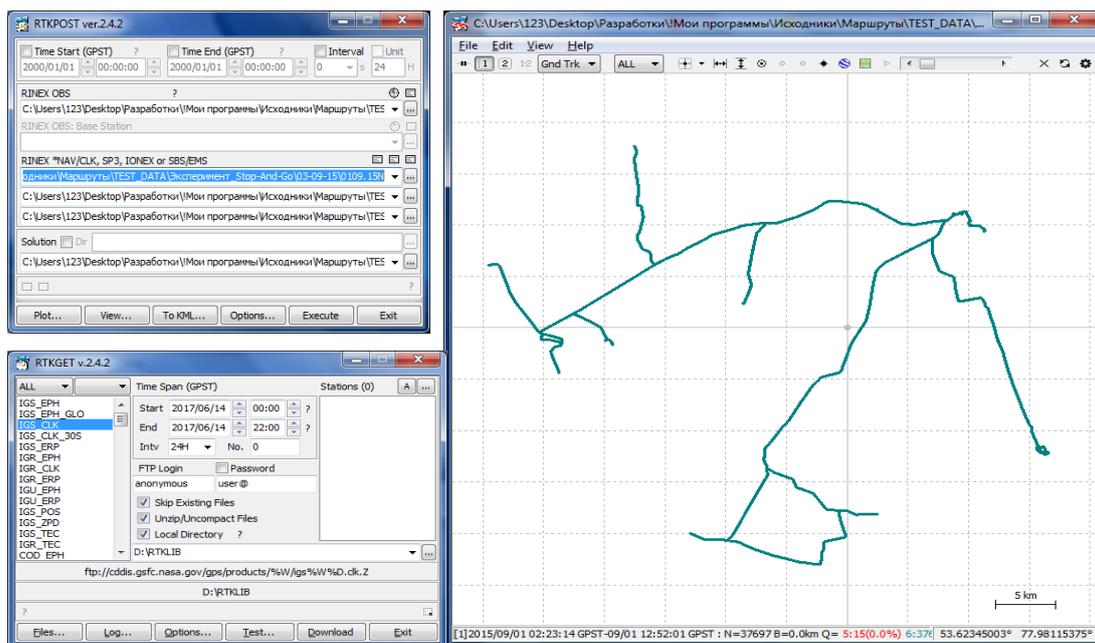


Рис. 4. Интерфейс RTKLib (модули RTKPOST, RTKGET и RTKPLOT)

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](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](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