

## **ОЦЕНКА ВЫДЕРЖИВАНИЯ МАРШРУТОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И АЭРОФОТОСЪЕМОЧНЫХ РАБОТ**

### ***Станислав Олегович Шевчук***

Российский институт радионавигации и времени, 192012, Россия, г. Санкт-Петербург, пр. Обуховской Обороны, 120ЕЦ, кандидат технических наук, руководитель проектного направления, тел. (903)936-78-53, e-mail: staspp@211.ru

### ***Вячеслав Николаевич Никитин***

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры фотограмметрии дистанционного зондирования, тел. (913)712-37-50, e-mail: vslav.nikitin@gmail.com

### ***Андрей Сергеевич Сверкунов***

ЗАО «Аэрогеофизическая разведка», 630007, Россия, г. Новосибирск, ул. Октябрьская магистраль, 4, оф. 1207, инженер первой категории, тел. (913)890-42-24, e-mail: sverkunov86@mail.ru

### ***Сергей Владимирович Барсуков***

ЗАО «Аэрогеофизическая разведка», 630007, Россия, г. Новосибирск, ул. Октябрьская магистраль, 4, оф. 1207, ведущий геофизик, тел. (913)717-21-70, e-mail: turmalin@ngs.ru

В статье приведена проблема оценки уклонений от заданного маршрута и высоты полета, а также вариант ее решения в авторском программном комплексе RouteNav.

**Ключевые слова:** ГНСС, навигация, уклонения, геофизика, аэрофотосъемка, аэрогеофизика.

## **NAVIGATION PARAMETERS ESTIMATION FOR AERIAL PHOTOGRAPHY AND GEOPHYSICAL SURVEY**

### ***Stanislav O. Shevchuk***

Russian Institute of Radionavigation and Time, 120EC, Prospect Obukhovskoy Oborony St., Saint-Petersburg, 192012, Russia, Ph. D., Project Manager, phone: (903)936-78-53, e-mail: staspp@211.ru

### ***Vyacheslav N. Nikitin***

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Photogrammetry and Remote Sensing, phone: (913)712-37-50, e-mail: vslav.nikitin@gmail.com

### ***Andrey S. Sverkunov***

«Aerogeophysical surveys» company, 4, Oktyabr'skaya Magistral' St., Novosibirsk, 630007, Russia, 1st Category Engineer, phone: (913)890-42-24, e-mail: sverkunov86@mail.ru

### ***Sergey V. Barsukov***

«Aerogeophysical surveys» company, 4, Oktyabr'skaya Magistral' St., Novosibirsk, 630007, Russia, Leading Geophysicist, phone: (913)717-21-70, e-mail: turmalin@ngs.ru

In the article the problem of tracing error and height above ground holding estimation is showed. The salvation of the problem by authors' software RouteNav is considered.

**Key words:** GNSS, navigation, tracing, geophysics, aerosurveying, aerial geophysics.

При выполнении съемочных работ (например, аэрогеофизических работ, электромагнитного сканирования, аэрофотосъемки) на площадных и линейных объектах, качество получаемого материала в значительной мере зависит от выдерживания навигационных параметров, в частности, выдерживания линии заданного пути, а, для аэросъемки, также и высоты над земной поверхностью [1–4].

В публикациях [5–7] предложена навигационная система, позволяющая выполнять следование по маршрутам, включая оценку качества их прохождения, в реальном времени.

В некоторых случаях (например, при использовании беспилотных носителей, а также выносных съемочных конструкций, таких как магнитометры и электромагнитные платформы [3, 4, 8, 9]), выполнить такую оценку в реальном времени не представляется возможным. Вместе с тем, в силу с наличием различных внешних факторов (бокового ветра, инерциальных колебаний выносной конструкции, случайных сбоев пилотирования) выдерживание отдельных маршрутов может выполняться с погрешностью, превышающей допуски.

Несвоевременное обнаружение подобных проблем может вести как к получению некондиционного съемочного материала и к затратам, связанным с выполнением повторных залетов после завершения основных работ.

Важно также отметить, что единых требований к точности выдерживания маршрутов со времен руководства [10] не существует, и не приводится в действующих инструкциях [1, 11] и предельные величины отклонений навигационных параметров, как правило, задаются в ТЗ, исходя из практических исследований, например [9].

Для оценки выдерживания навигационных параметров разработана утилита Fly Estimate, входящая в программный комплекс RouteNav [5–7] (рис. 1).

Данная утилита позволяет выводить список маршрутов с оценкой качества выдерживания навигационных параметров и гистограммами распределения величин относительно допусков, а также вызывать общие (для всего полета, рис. 2) и частные (для отдельных маршрутов, рис. 3) графики выдерживания линейных боковых уклонений (ЛБУ) и высот (по измерениям высотомеров) для контроля качества.

До недавнего времени утилита поддерживала в качестве исходных данных только отчеты RouteNav. Начиная с версии RouteNav 1.97, существует возможность оценить выдерживание маршрутов по любой траектории, представленной в табличном виде.

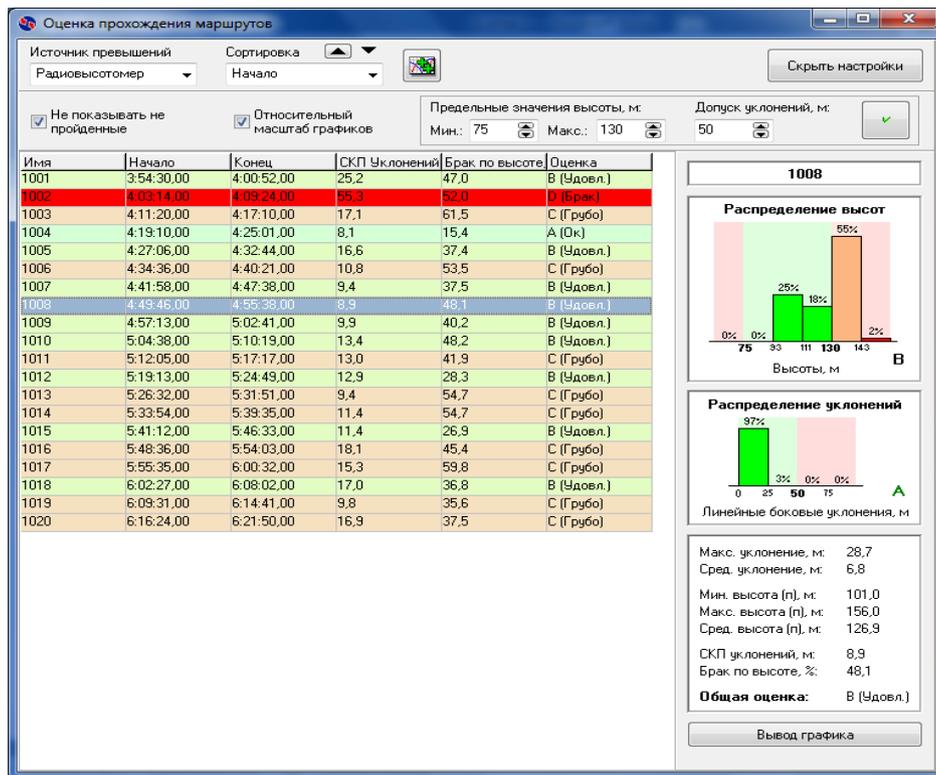


Рис. 1. Утилита оценки выдерживания навигационных параметров Fly Estimate

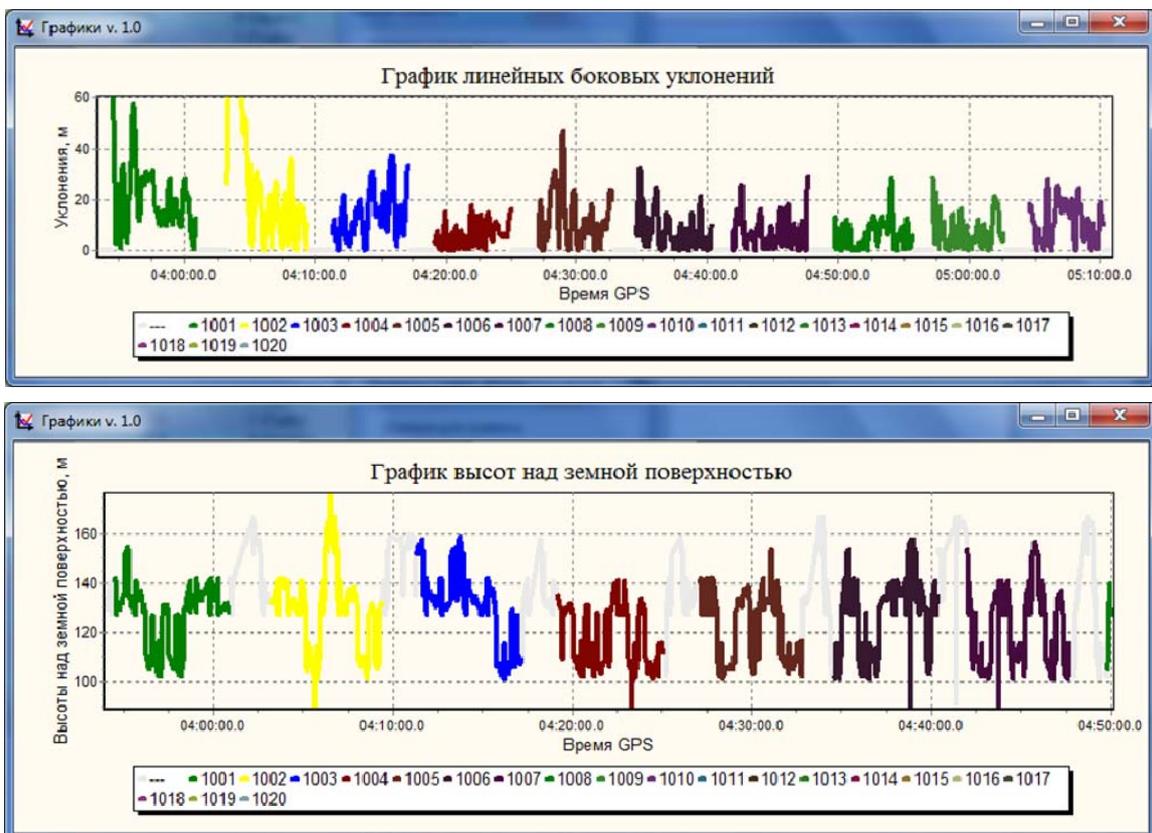


Рис. 2. Графики выдерживания навигационных параметров для всего полета

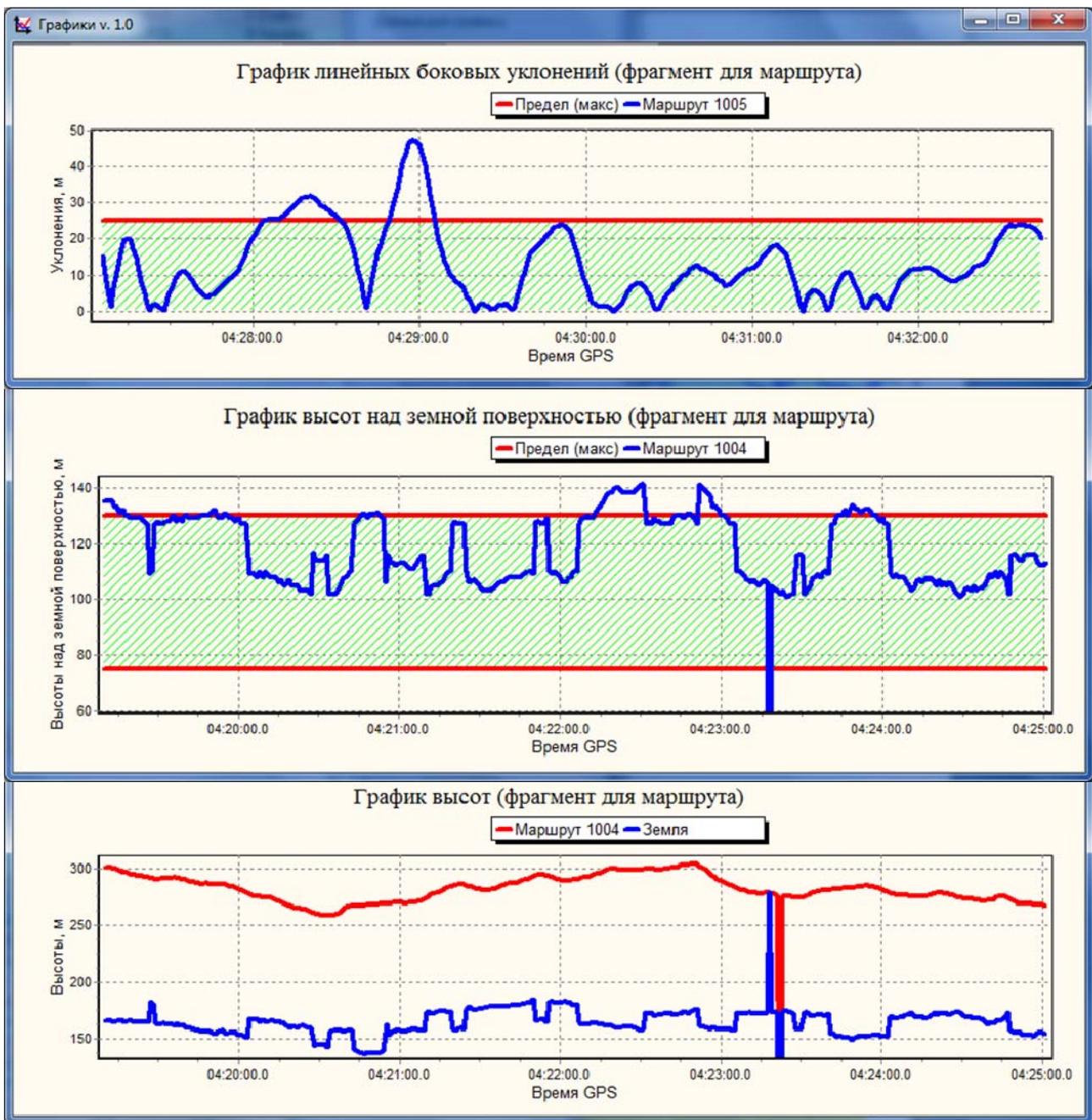


Рис. 3. Графики выдерживания навигационных параметров для отдельных маршрутов

Загрузка произвольной траектории и маршрутов выполняется в утилите RouteEditor, также входящей в пакет RouteNav. Поддерживаются форматы NMEA0183 (\*.gps, \*.nmea или текстовые файлы, содержащие данные в соответствии с данным протоколом), GPS eXchane (\*.grx, используемый преимущественно в приемниках компании Garmin), встроенные форматы RouteNav, а также импорт из текстовых таблиц (рис. 4).

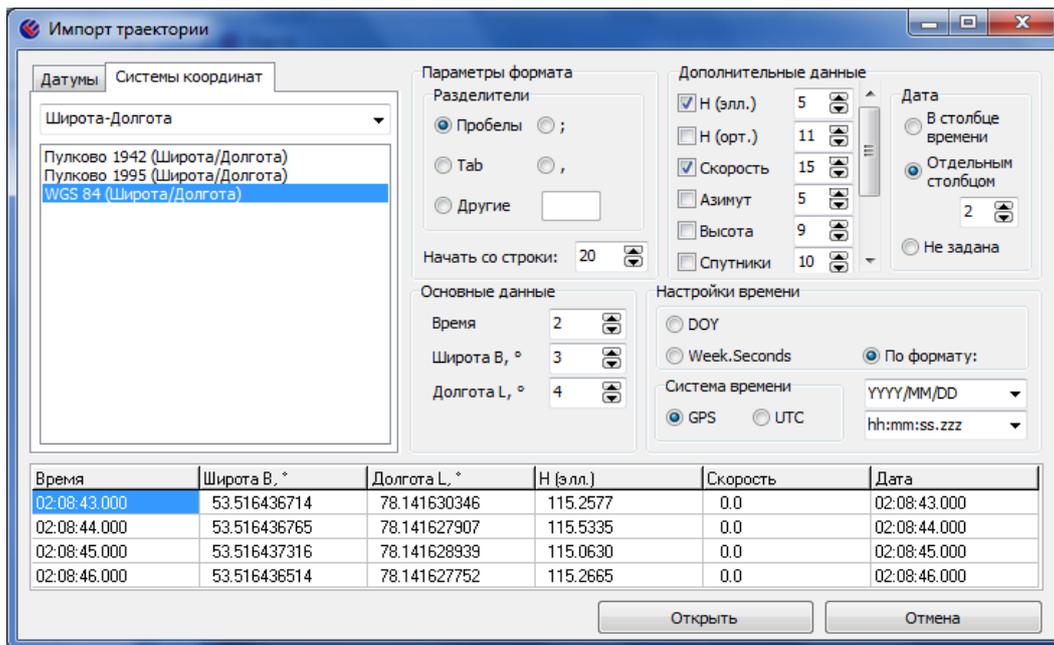


Рис. 4. Импорт траектории из произвольного формата

Подобным образом могут быть импортированы маршруты. Далее, в случае если используется сторонний формат, необходимо задать соответствие траектории маршрутам. Это может выполняться как автоматически, так и в ручном режиме.

Автоматическое добавление сработает безошибочно в случае полного прохождения каждого маршрута (рис. 5).

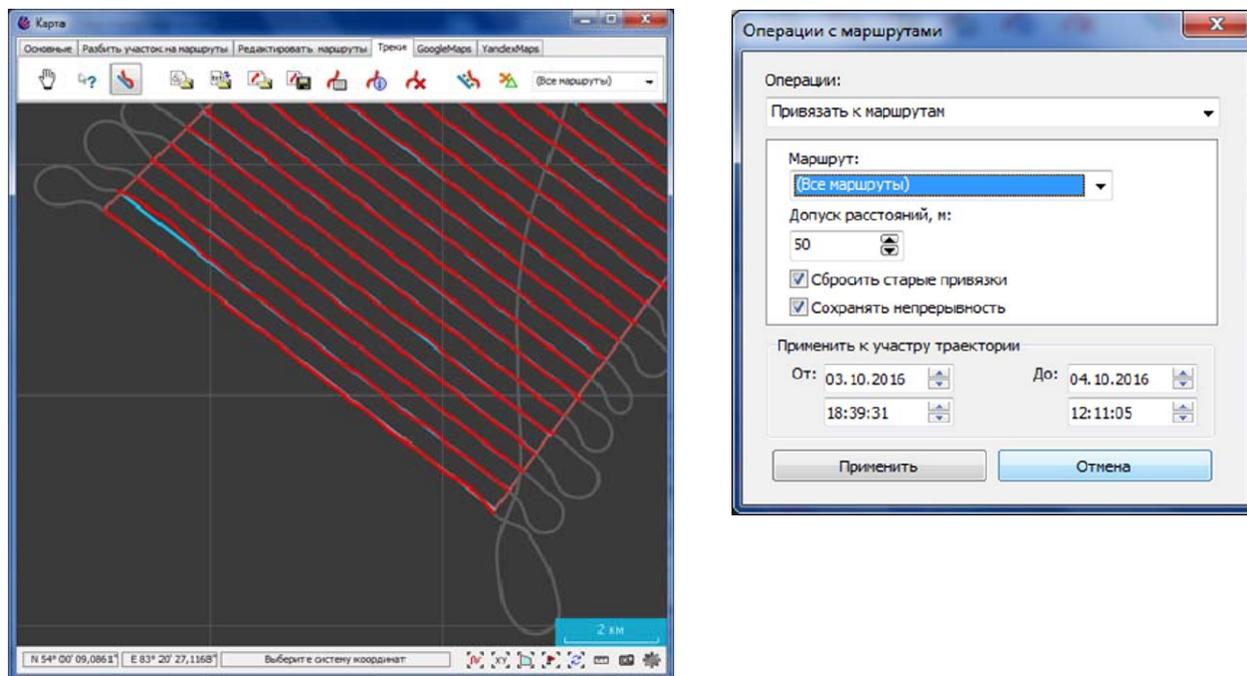


Рис. 5. Результат автоматического определения маршрутов для точек траектории (слева) и окно настроек (справа)

После автоматического определения необходим ручной контроль и редактирование. В строке меню может быть выполнен перебор каждого маршрута с визуальным контролем части траектории, относящейся к нему. Кроме того, могут быть добавлены/удалены вручную точки траектории для каждого маршрута. Выбранный маршрут и его траектория будут подсвечены для редактирования (рис. 6).

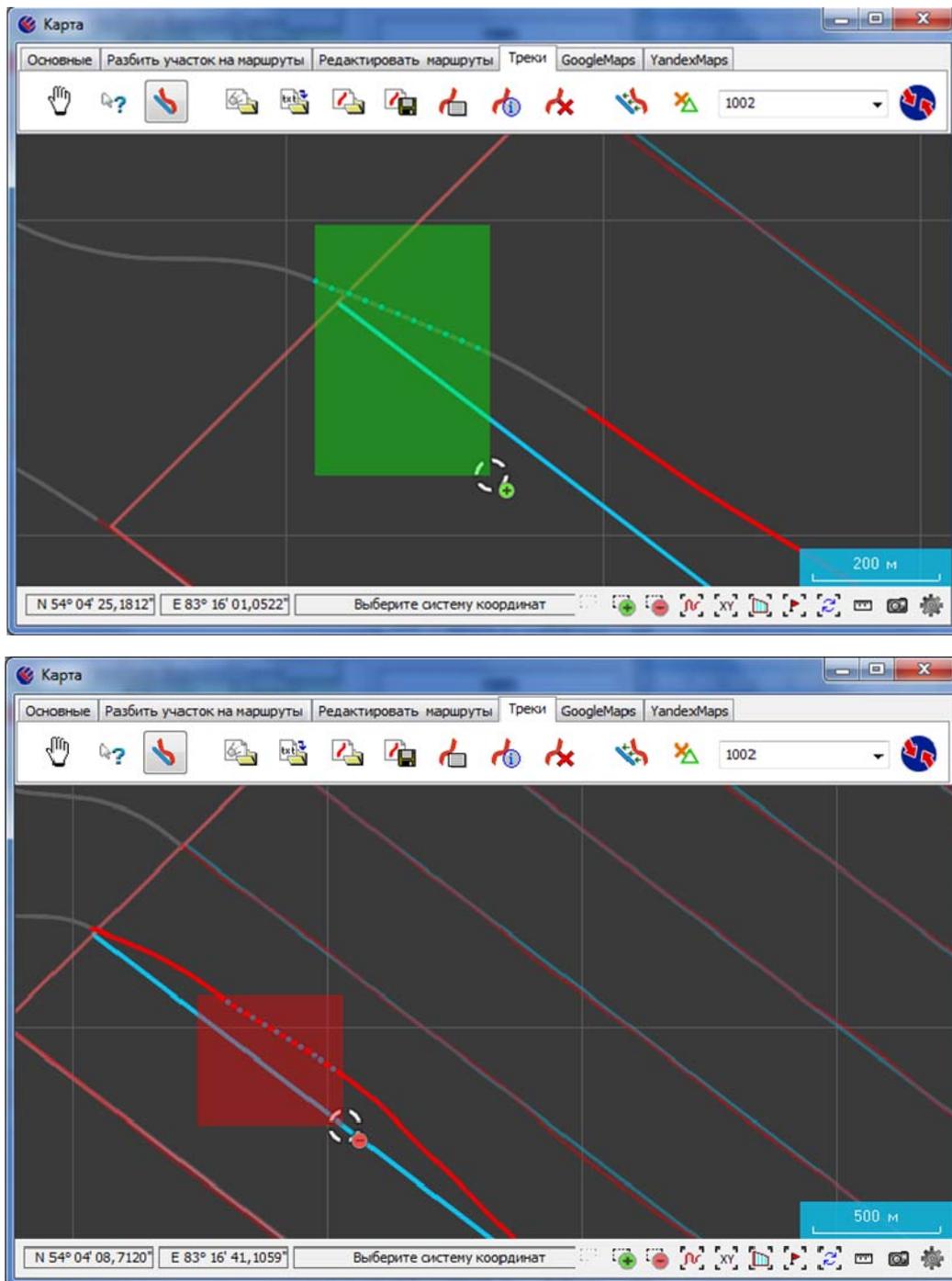


Рис. 6. Редактирование выборок траектории для маршрута: добавление (вверху) и удаление (внизу) точек выборки

Далее выборки могут быть автоматически отправлены на оценку утилитой FlyEstim нажатием одной кнопки на панели главного меню.

Упомянутые утилиты входят в комплект навигационной программы RouteNav, разработанной и распространяемой ЗАО «Аэрогеофизическая разведка» [12]. Программный комплекс внедрен в производство и активно используется при геодезическом обеспечении аэрогеофизических работ [13, 14].

Функционал текущей версии RouteNav позволяет использовать как основную навигационную программу, так и утилиты, входящие в его состав для решения задач как аэрогеофизики, так и других инженерно-производственных работ, требующих выдерживания навигационных параметров [15, 16].

В частности, показанный способ оценки выдерживания маршрутов и высот полета, выполняемый утилитами RouteNav позволяет повысить эффективность и надежность не только аэрогеофизических работ, но и наземной маршрутной съемки, а также пилотируемой и беспилотной аэрофотосъемки.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция по топографо-геодезическому и навигационному обеспечению геологоразведочных работ. – Новосибирск : СНИИГГиМС, 1997. – 106 с.
2. Глаголев В. А. Спутниковое навигационно-геодезическое обеспечение геофизических измерений в движении. – СПб. : ВИРГ-Рудгеофизика, 2003. – 104 с.
3. Тригубович Г. М. Инновационные поисково-оценочные технологии электроразведки становлением поля воздушного и наземного базирования // Разведка и охрана недр. – 2007. – № 8. – С. 80–87.
4. Kamenetsky, F.M. Transient Geo-Electromagnetics / F.M. Kamenetsky, E.H. Stettler, G.M. Trigubovich – Англ. – Ludwig-Maximilian-University of Munich. Dept. of the Earth and Environmental Sciences. Section Geophysics. – Munich, 2010. – 296 p., 2010. – 296 с.
5. Шевчук С. О., Барсуков С. В. Навигационное сопровождение аэрогеофизических исследований с использованием программы RouteNav // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 2. – С. 130–137.
6. Trigubovich, G. M. Complex Technology of Navigation and Geodetic Support of Airborne Electromagnetic Surveys / G. M. Trigubovich, S. O. Shevchuk, N. S. Kosarev, and V. N. Nikitin // Gyroscopy and Navigation, 2017, Vol. 8, No. 3, pp. 226–234. – Англ.
7. Шевчук С. О., Никитин В. Н., Барсуков С. В. Выполнение навигационного обеспечения наземных и аэрогеофизических работ с использованием современного программно-аппаратного обеспечения // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов (Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – С. 266–275.
8. Фирсов А. П., Злыгостев И. Н., Савлук А. В., Вайсман П. А., Вальд А. К., Дядьков П. Г., Колесов А. С., Шеремет А. С. Применение беспилотных летательных аппаратов при геолого-геофизическом картировании // Материалы V Всероссийской научно-практической конференции «Геология и минерально-сырьевые ресурсы северо-востока России», 31 марта – 2 апреля, 2015 г. – 2015. – С. 529–533.
9. Тригубович, Г. М. Навигационно-геодезическое обеспечение аэрогеофизических исследований / Г. М. Тригубович, С. О. Шевчук, А. А. Белая [и др.] // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2013. – № 2. – С. 61–69.
10. Руководство по съемочным полетам. – М. : Воздушный транспорт, 1977. – 144 с.

11. Инструкция по магниторазведке (наземная магнитная съемка, аэромагнитная съемка, гидромагнитная съемка) / М-во геологии СССР. – Л. : Недра, 1981. – 263 с.
12. Шевчук С. О. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017614500 / Российская Федерация / Программа для навигационного обеспечения аэрогеофизических работ RouteNav / 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.
13. Автоматизированный навигационно-измерительный аэрогеофизический комплекс / Г. М. Тригубович, С. О. Шевчук, А. С. Сверкунов, С. В. Барсуков, Н. С. Косарев // Интерэкс-по ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов (Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – С. 257–265.
14. Комплексная технология навигационного и геодезического обеспечения аэроэлектромагнитных исследований / Г. М. Тригубович, С. О. Шевчук, Н. С. Косарев, В. Н. Никитин // Гироскопия и навигация. – 2017. – № 1 (96). – С. 93–107.
15. Шевчук С. О., Лыско О. Н., Барсуков С. В. Применение навигационной программы RouteNav для маршрутизации геофизических съемок на железных и автомобильных дорогах // Инновационные факторы развития транспорта. Теория и практика : материалы междунар. науч.-практ. конф. (Новосибирск, 19–20 октября 2017 г.) : в 3 ч. Ч. 1. – Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2018. – С. 76–83.
16. Шевчук С. О., Косарев Н.С., Ганагина И. Г. Применение программы-симулятора в преподавании геодезических и фотограмметрических дисциплин // АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ОБРАЗОВАНИЯ. Инновационные подходы в образовании. Междунар. науч.-метод. конф. : сб. материалов в 2 ч. (Новосибирск, 23–27 января 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Ч. 1. – С. 56–62.

© С. О. Шевчук, В. Н. Никитин, А. С. Сверкунов, С. В. Барсуков, 2019