

УДК 504:629.056.8

*к.т.н. Подлипенская Л. Е.,
Горельников С. А.,
Кусайко Н. П.
(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР)*

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ НАВИГАЦИИ В ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Работа посвящена актуальным вопросам применения глобальных навигационных спутниковых систем для экологической оценки состояния компонент окружающей среды. Авторами рассматриваются основы спутниковой навигации, изучаются и сравниваются современные глобальные навигационные спутниковые системы и их составляющие. Анализируется опыт создания и развития GPS-станции на базе Центра лазерно-оптических измерений «Орион» Донбасского государственного технического университета и изучается возможность использования потенциала станции на современном этапе в геоэкологических исследованиях территории Луганской Народной Республики.

Ключевые слова: геоэкологические исследования, Луганская Народная Республика, пространственные координаты объекта, глобальная навигационная спутниковая система, ГНСС, GPS, ГЛОНАСС.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Проблема охраны и сохранения окружающей среды является сложной и многогранной и требует при своем решении использования большого количества накопленных знаний и умений в области экологии, геоэкологии, природопользования, геодезии и других наук о Земле, а также применения современных подходов, методов и средств.

Экологический мониторинг, направленный на проведение наблюдений и прогнозирование состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов, является одним из важнейших элементов системы управления природопользованием и защиты окружающей среды. При решении многочисленных задач по оценке состояния различных компонент окружающей среды обычно используются как картографическая информация ретроспективного характера, так и текущие данные о пространственном размещении наблюдаемых объектов и их морфометрические характеристики.

В настоящее время для получения актуальных географических данных объектов

геоэкологического анализа используются различные методы (в зависимости от целей измерения и технических возможностей), к основным из которых относят [1]:

- геодезический метод (триангуляция, полигонометрия, трилатерация, прямые, обратные или комбинированные засечки и иные геодезические методы);
- метод спутниковых измерений;
- фотограмметрический метод;
- картометрический метод;
- аналитический метод.

В данной работе рассматривается определение положения объекта на поверхности Земли методом спутниковых измерений, для которого используется глобальная навигационная спутниковая систем (ГНСС или GNSS), преимущество которой заключается в высокой оперативности, оптимальной точности и эффективности, глобальности, четкой временной привязке и возможности сбора данных в различных картографических проекциях. ГНСС-результаты представляются в цифровом виде и могут быть легко экспортированы в картографические или географические информационные системы (ГИС).

Актуальность применения глобальных систем позиционирования в области экологии и природопользования обусловлена, прежде всего, необходимостью создания, ведения и совершенствования ГИС экологической направленности, являющихся важным звеном для принятия эффективных решений в управлении природопользованием. Территория Донбасса, являясь высоко техногенно нагруженной, и как следствие, имеющая в значительной степени преобразованные природные ландшафты и деградированные земли, требует проведения регулярных наблюдений за состоянием компонент окружающей среды. Комплексный геоэкологический анализ данного региона не возможен без разработки региональных геоинформационных систем и применения методов спутниковой навигации. В связи с этим тема настоящей работы является актуальной.

Постановка задачи. Для Луганской Народной Республики необходимость использования ГНСС продиктована существенной перестройкой и реорганизацией систем государственного управления народным хозяйством в сложных условиях (в том числе усугубленных серьезностью экологической ситуации, разрывом традиционных экономических, социальных, научных связей и пр.) Необходимо проанализировать текущее состояние имеющихся технических средств, используемых ранее для картографирования объектов Луганской области, обосновать и составить конфигурацию наземных приемников радиосигналов ГНСС, которая позволила бы, с одной стороны, эффективно решать картографо-геодезические задачи в экологии и природопользовании, а с другой стороны, имела бы приемлемые стоимостные характеристики и высокие показатели надежности результатов.

В связи с этим *цель* настоящей работы заключается в оценке возможностей использования глобальных спутниковых систем навигации для геоэкологических исследований территорий в современных условиях Луганской Народной Республики.

Объект исследования — глобальные навигационные спутниковые системы, и в частности, их пользовательский сегмент (наземный), представленный GPS-станциями и конечными пользователями.

Предмет исследования — возможности использования ГНСС в геоэкологических исследованиях Донбасса.

Задачи исследования:

- рассмотрение принципов построения ГНСС и исследование особенностей их современной реализации;
- изучение современного состояния GPS-станций на территории ЛНР;
- оценка возможностей использования глобальной спутниковой навигации для решения задач экологии и природопользования в условиях Луганской Народной Республики.

Методика исследования. Исследование перспектив использования GPS-навигации в геоэкологических исследованиях региона выполнено на основе информационного и структурного анализа современных технических средств, способов и методов спутниковой навигации и их возможностей при определении пространственных характеристик природных, природно-техногенных и техногенных объектов Донбасса на современном этапе.

Изложение материала и его результаты.

1. Основы спутниковой навигации.

Глобальная навигационная спутниковая система — это система, позволяющая определять местоположение объектов местности с применением специальных навигационных или геодезических приемников. Кроме этого, спутниковые системы навигации позволяют получить информацию о скорости и направлении движения приёмника сигнала, а также могут использоваться для калибровки точного времени.

ГНСС состоит из трех сегментов: космического, наземного и пользовательского [2]:

- Космический сегмент представляет собой созвездие (группировку) навигационных спутников. Основная функция каждого спутника — формирование и излуче-

ние радиосигналов, необходимых для навигационных определений потребителей и контроля бортовых систем спутника.

– Наземный сегмент включает в себя космодром, командно-измерительный комплекс и центр управления. Космодром обеспечивает вывод спутников на требуемые орбиты при первоначальном развертывании навигационной системы, управление спутниками в случае необходимости коррекции их траекторий движения, а также периодическое восполнение спутников по мере их выхода из строя или выработки ресурса.

– Пользовательский (наземный) сегмент включает все приемники, выполняющие определение своего местоположения.

В зависимости от вида принимаемых и обрабатываемых сигналов приемники делятся на одночастотные и двухчастотные; кодовые и фазовые [3, 4].

Кодовые приемники предназначены для определения трехмерного положения точки, скорости и направления движения. Они позволяют определять плановое положение объекта, как правило, с точностью до единиц метров, а высотное положение определяется с точностью порядка 10 м.

Двухчастотные кодовые приемники обеспечивают субметровую точность. Эти приемники удобны при выполнении полевых географических, геологических работ, экологических полевых наблюдений, планировании лесоустройства и охотничьих угодий. Полученные результаты могут накапливаться и храниться в памяти прибора, а затем вводиться в компьютер для дальнейшей обработки. Приемники имеют малые габариты и массу, приемлемую стоимость, работают в широком диапазоне температур и малоэнергоёмки.

Приемники, использующие фазовый метод позиционирования, имеют более высокую точность — на уровне 1 см и меньше.

Принцип работы системы спутниковой навигации базируется на беззапросных измерениях расстояний (дальностей) между навигационными спутниками, положение

которых известно с достаточно высокой точностью, и спутниковым приемником потребителя, установленным на точке, координаты которой требуется определить. Навигационные спутники, имеющие на своем борту атомные часы, синхронизированные с системным временем, излучают электромагнитные волны, в которых закодированы навигационные сообщения для наземных приемников о времени и положении их в пространстве.

На Земле приемник, используя сигналы приемлемого качества от спутников, попадающих в зону видимости, определяет свои пространственные координаты x, y, h по способу пространственной обратной линейной засечки.

Способ измерения дальностей основан на вычислении времени прохождения сигнала от спутника до приемника [5], которое определяется по задержке принимаемого сигнала в приемнике. Если часы спутника и получателя синхронизированы, и сигнал перемещается по линии прямой видимости, тогда дальность, соответствующая реальной дистанции от точки $M(x, y, h)$ до спутника, определяется как произведение скорости распространения волны в атмосфере на величину задержки времени. Однако в большинстве случаев часы не синхронизированы, в результате чего к трем неизвестным x, y, h добавляется неизвестный четвертый параметр b — время рассогласования часов приемника с часами системного времени спутников. Следовательно, для определения четырех неизвестных необходимо иметь в зоне доступности приемника минимум четыре спутника.

Такой метод, использующий для определения текущего положения точки один приемник спутниковых сигналов, называется абсолютным. На рисунке 1 представлена принципиальная схема определения местоположения потребителя (точка $M(x, y, h)$) абсолютным методом на основе измерения дальностей до четырех наблюдаемых одновременно искусственных спутников Земли (ИСЗ).

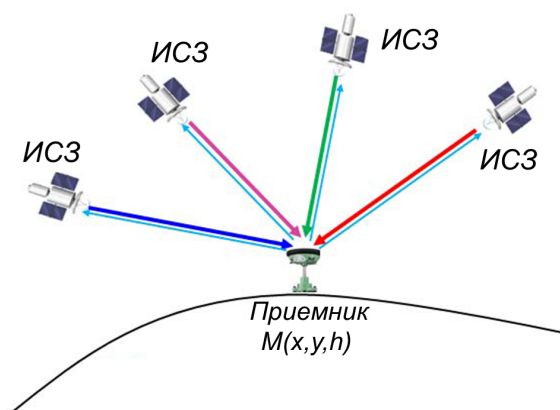


Рисунок 1 Схема определения координат приемника абсолютным способом

Абсолютный метод дает сравнительно невысокую точность определения координат — от трех до 15 метров.

На точность решения навигационной задачи по определению местоположения объекта влияют следующие факторы [6]:

- геометрическое расположение навигационных космических аппаратов (НКА), используемых в решении;
- погрешности формирования бортовых шкал времени НКА, вызванные рассинхронизацией бортовых часов НКА;
- эфемеридные погрешности НКА. Возникают при маневрах спутников, о которых пользователь заранее не предупрежден;
- погрешности за счет распространения навигационных радиосигналов в атмосфере (ионосферные и тропосферные погрешности);
- неоднородность гравитационного поля Земли, влияющая на орбиты спутников;
- неоднородность атмосферы, из-за которой скорость и направление распространения радиоволн может меняться в некоторых пределах;
- отражения сигналов от наземных объектов, что особенно заметно в городе;
- аппаратные погрешности НКА;
- наличие в системе специальных мер по загроблению точности;
- релятивистские эффекты.

Также влияет способ измерения дальности в приемнике — кодовый или фазовый.

В первом случае сравнивают коды полученного со спутника сигнала и сгенерированного в самом приемнике, а во втором — фазы. Наиболее точными являются фазовые измерения.

Для определения пространственного положения с более высокой точностью необходимо выполнять измерения в дифференциальном режиме с помощью двух приемников (рис. 2), один из которых выступает базовым и устанавливается на точке с известными координатами (на базовой станции), а второй выступает в качестве роверного (передвижного) для определения координат интересующих точек.

Оба приемника должны работать одновременно. На базовой станции измеренные расстояния до спутников сравнивают с вычисленными по известным координатам точки и определяют их разности, называемые дифференциальными поправками. Эти поправки учитываются в ходе вычислений координат ровера после измерений либо при использовании радиомодемов уже в процессе измерений. Такой метод повышения точности измерения координат называют DGPS или СДК (системы дифференциальной коррекции). При этом компенсируются как атмосферные искажения, так и эфемеридные ошибки. В основе метода лежит положение о том, что влияние различных источников ошибок на результаты измерений одинаково как для базового, так и для мобильного приемника [1].

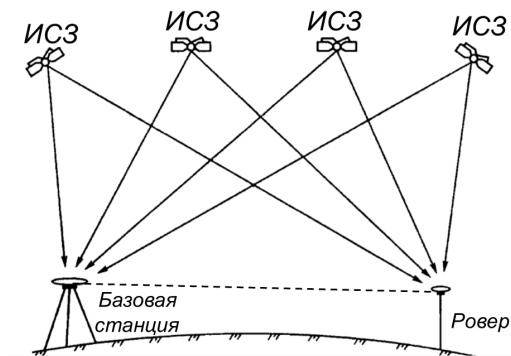


Рисунок 2 Схема определения координат приемника дифференциальным способом

ГЕОЭКОЛОГИЯ

Опорная станция формирует корректирующее сообщение, содержащее, в первую очередь, фазовые наблюдения на базе и при необходимости прочую информацию. Ровер, получив эту информацию, с помощью соответствующей программы вычисляет дифференциальные поправки для собственного местоположения и времени, после чего они передаются пользователю.

2. Современные глобальные навигационные спутниковые системы. В настоящее время глобальная навигационная спутниковая система ГНСС включает в себя следующие системы: российскую

ГЛОНАСС, американскую (США) GPS; китайскую BeiDou; европейскую Galileo. Япония и Индия разворачивают региональные навигационные спутниковые системы QZSS и NavIC соответственно. В таблице 1 представлены основные характеристики современных глобальных навигационных спутниковых систем.

Все спутниковые навигационные системы отличаются сигналом, количеством спутников, одновременно находящихся на орбите, орбитальными параметрами полета спутников. Рассмотрим более подробно системы GPS и ГЛОНАСС [7–9].

Таблица 1

Основные характеристики ГНСС (составлено по данным сайта ГЛОНАСС [7])

Основные характеристики	Глобальные навигационные спутниковые системы			
	ГЛОНАСС	GPS	GALILEO	BEIDOU
Страна создания системы ГНСС	Россия	США	Европейский Союз	Китай
Космодром	Байконур, Казахстан	Мыс Канаверал, США	Куру, Гвиана	Сичан, Китай
Число ИСЗ (номинальное)	24	24	27	27
Число орбитальных плоскостей	3	6	3	3
Число ИСЗ в орбитальной плоскости	8	4	9	9
Орбиты	Близкие к круговой			
Высота орбит, км	19100	20145	23222	21528
Наклонение орбит, град.	64,8	55	56	55
Система координат	ПЗ-90	WGS-84	GTRF	CGCS2000

Система GPS. Перенос от спутника к приемнику всей информации осуществляется с помощью несущих электромагнитных колебаний, излучаемых на частотах L1 гражданского назначения (в свободном доступе, код C/A) и L2 военного назначения (в закрытом доступе, защищенном точным P-кодом).

Коды C/A (Clear Aquisition — полностью доступный) и P (Precise — точный) представляют собой бинарные коды. Они имеют характеристики случайного естественного шума, но в отличие от последнего легко воспроизводятся средствами элек-

троники. Каждому спутнику соответствует своя последовательность кодов.

При проектировании системы GPS прогнозировалось, что точность навигационных определений с использованием C/A-кода будет находиться в пределах 400 м. В реальности оказалось, что точность измерений по C/A-коду в 10 и более раз выше — 15–40 м (по среднеквадратическому отклонению). Возможность получения подобной точности измерений в свободном доступе вызвала в США опасения, что сигналы GPS могут быть использованы потенциальным противником. В каче-

стве защитной меры, начиная с космического аппарата Block II, в GPS был реализован метод преднамеренной деградации (загрубления) точности навигационно-временного обеспечения гражданских потребителей. Деактивация режима селективного доступа была осуществлена 2 мая 2000 г. В результате точность автономной навигации возросла почти в 10 раз, что дало гигантский импульс к развитию прикладных навигационных технологий.

Система ГЛОНАСС. Каждый космический аппарат системы ГЛОНАСС передает сигналы на собственных частотах в двух частотных поддиапазонах L1 и L2. На поддиапазоне L1 передаются сигналы стандартной и высокой точности. Сигнал стандартной точности с тактовой частотой 0,511 МГц предназначен для свободного использования. Сигнал высокой точности на L1 модулирован специальным кодом и не рекомендуется к использованию без разрешения Министерства обороны РФ. На поддиапазоне L2 передаются сигналы, модулированные специальными кодами, и они не рекомендуются к несанкционированному использованию.

В GPS все спутники работают на одних и тех же частотах, но каждый имеет свой код. В ГЛОНАСС, наоборот, каждый спутник имеет свою частоту, но коды у всех одинаковые.

Наилучшее покрытие из четырех описанных выше ГНСС имеют группировки GPS и ГЛОНАСС. Количество спутников и качество покрытия определенной зоны различными спутниковыми системами в нужный момент времени сохраняются и представляются пользователю при помощи специальных приложений. Так, на рисунке 3 показан обзор видимости спутников разных ГНСС в районе г. Алчевска (03.04.2020), выполненный с помощью сервиса сайта китайской спутниковой системы BeiDou [10].

Как видно из рисунка 3, в точке М для указанного на табло момента времени доступны для определения положения 13 спутников GPS и 10 спутников ГЛОНАСС.

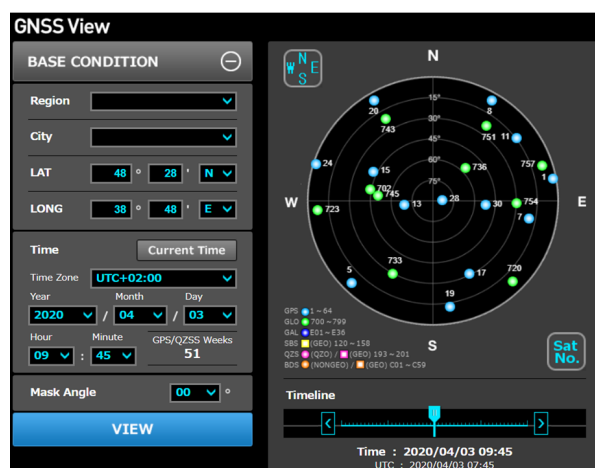


Рисунок 3 Спутники ГНСС в зоне видимости для точки М(48° 28' с.ш., 38° 48' в.д.)

3. Современные ГНСС-приемники. Спутниковый приёмник — радиоприёмное устройство для определения географических координат текущего местоположения антенны приёмника на основе данных о временных задержках прихода радиосигналов, излучаемых спутниками навигационных систем. В зависимости от используемой системы навигации разделяются на GPS-приёмники, ГЛОНАСС-приёмники и так далее, однако в настоящее время большинство потребительских и профессиональных спутниковых приёмников умеют работать с несколькими спутниковыми системами навигации.

По точности спутниковые приемники делятся на три класса [3, 4]:

- навигационный класс — точность определения координат 150–200 м;
- класс картографии и ГИС — 1–5 м;
- геодезический класс — до 1 см.

Время обработки сигнала в приёмнике, так называемый бит-тайм, определяет существенную погрешность измерений. Для обычных ГНСС-устройств заложена точность в один процент от бит-тайма, это соответствует 10 наносекундам, для скорости света — это расстояние 3 метра. Более продвинутые приёмники в профессиональных геодезических устройствах или для военных целей имеют точность на несколько порядков выше.

4. Современные сети GPS-станций. Как следует из вышеизложенного, использование сетей наземных GPS-станций позволяет значительно увеличить точность позиционирования объектов на Земле. В настоящее время в мире имеется достаточно большое количество таких сетей референционных станций, которые группируются как на территориях отдельных стран (национальные государственные или частные сети перманентных станций), так и на территориях целых регионов.

Значительную зону покрытия имеют пять широкозонных систем дифференциальной коррекции: СДКМ, WAAS, EGNOS, GAGAN, MSAS [7].

На территории Российской Федерации и Украины эксплуатируется значительное количество сетей активных базовых станций, принимающих сигналы группировок спутников ГЛОНАСС и GPS, а также других ГНСС. Это сети региональных и межрегиональных GPS-станций, также на этих территориях действуют две международные сети — International GNSS Service IGS Network и европейская сеть EUREF Permanent GNSS Network, результаты наблюдений которых, кроме обеспечения доступа к точным координатам и данным наблюдений ГНСС-сети, используются также в широком спектре задач научных, в том числе геоэкологических исследований.

На территории Луганской области до 2014 года на базе астрономической обсерватории «Орион» функционировала GPS-станция «ALCI» Украинской региональной сети наземных GPS-станций. Данная станция, являясь самой крайней на востоке Украины (рис. 4, точка «ALCI»), позволяла в свое время эффективно решать задачи спутниковой навигации в восточных регионах Украины.

5. История создания и развития GPS-станции на базе ЦЛОИ «Орион». Центр лазерно-оптических измерений «Орион» имени профессора Ю. С. Денищика — отдельное научное подразделение Донбасского государственного технического уни-

верситета. Центр основан в 1993 г. на базе Отраслевой научно-исследовательской лаборатории лазерно-оптических измерений Госстандарта СССР. Первым директором ЦЛОИ «Орион» был Юрий Сергеевич Денищик — доктор технических наук, профессор, академик Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности, член Международного астрономического союза. До последнего времени отделением руководил Валерий Владимирович Мурга — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой радиофизики и электроники ДонГТУ.

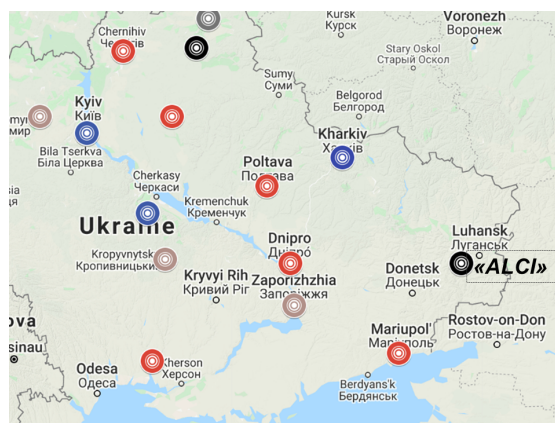


Рисунок 4 Карта GPS-станций Украинской региональной сети [11]

Центр имеет многолетний опыт проведения научных исследований и выполнения разработок в области радиофизики, квантовой электроники, лазерной техники, электроники. Наибольшее внимание уделяется лазерной локации космических объектов, а также — технологиям GPS и ГИС.

В 2003 г. в Астрономической обсерватории Центра лазерно-оптических измерений «Орион» была создана постоянно действующая базовая GPS-станция Украинской перманентной сети, входящая также в состав европейской сети EPN.

Технически GPS-станция представляет собой аппаратно-программный комплекс, предназначенный для обеспечения выполнения измерений и определения пространственного местоположения объектов пу-

ГЕОЭКОЛОГИЯ

тем предоставления информации для коррекции данных, получаемых с помощью спутниковых (ГНСС) навигационных и геодезических приемников. Комплекс включает спутниковое, коммуникационное, компьютерное и другое оборудование, специализированное программное обеспечение, установленное в районе выполнения измерений и определения местоположения, частично зафиксированное в пространстве на постоянной основе и функционирующее непрерывно.

Месторасположение Астрономической обсерватории ЦЛОИ «Орион» ДонГТУ выбрано из условий наилучшего приема сигналов космических спутников на берегу Исаковского водохранилища в селе Михайловка Перевальского района.

Идентификатор станции — «ALCI» в европейской системе сети EPN (EUREF Permanent GNSS Network), которая является федерацией агентств, университетов и исследовательских учреждений Европы, поддерживающей Европейскую наземную систему координат (ETRS89), являющуюся единой общеевропейской стандартной системой координат, принятой Европейской комиссией. Станция «ALCI» в настоящее время не работает (остановлена с 13 июня 2014 года).

На сайте европейской сети EPN можно найти всю необходимую информацию о станции «ALCI», включая архив наблюдений в специальном формате данных RINEX.

Спутниковая антенна станции жестко крепится на верху специального пилон, установленного на неподвижном основании аналогично пунктам геодезической основы. Координаты антенны определяются совместно и с одинаковой точностью с координатами пунктов опорного основания.

В таблице 2 представлены координаты и скорости опорной точки станции «ALCI» в координатной реализации Международной земной системы координат IGB08 (эпоха: 2005,0), определенные Центром анализа ГНСС-данных [11].

Таблица 2
Координаты и скорости смещений опорной точки станции «ALCI» (зафиксированы 05.02.2014)

X, м	3297847,93093
Y, м	2661607,40787
Z, м	4750829,81961
Vx, м/год	-0,02135
Vy, м/год	+0,01418
Vz, м/год	+0,00844

Показанные в таблице 2 данные и результаты многолетних наблюдений за изменениями координат опорной точки станции «ALCI» позволяют говорить о существовании устойчивого линейного тренда по смещению координат точки в горизонтальной плоскости.

Авторы М. И. Орлюк и М. В. Ищенко по данным наблюдений ГНСС-станций Украинской перманентной сети выполнили сравнительный анализ современной деформации земной поверхности на территории Украины [12]. На схеме географического районирования территории Украины (рис. 5) представлены полученные ими результаты оценок смещений опорных точек станций в горизонтальной плоскости за десятилетний период наблюдений. Станция «ALCI» соответствует крайняя в восточном направлении точка.

Анализируя характер распределения скоростей смещения ГНСС-станций на карте рисунка 5, можно сделать вывод, что направления векторов смещения в горизонтальной плоскости согласованы. Это подтверждает высокую точность проведенных спутниковых измерений и свидетельствует о глобальном направлении движения Евразийской литосферной плиты для восточно-европейской ее части (на 2,58 см в год в среднем по всем наблюдаемым 109 ГНСС-станциям [12]).

В отношении станции «ALCI» можно спрогнозировать заметные изменения определенных ранее координат опорной точки за время вынужденной ее остановки,

учитывая как региональные усредненные параметры векторов скоростей изменения положения, так и корреляционные зависимости с данными близлежащих станций.

Для дальнейшего использования данной станции необходимо ее восстановить и подключить к сетям референчных станций.



1 — Волыно-Подольская возвышенность, 2 — Карпаты, 3 — Полесская низменность, 4 — Приднепровская возвышенность, 5 — Приднепровская низменность, 6 — Донецкий кряж, 7 — Приазовская возвышенность, 8 — Причерноморская низменность

Рисунок 5 Распределение плановых компонент векторов смещений ГНСС-станций на схеме географического районирования территории Украины [12]

6. Возможности использования GPS-станции ЦЛОИ «Орион» в геоэкологических исследованиях. Базовая GPS-станция ЦЛОИ «Орион», являясь важным ключевым звеном спутниковой навигации региона, может совместно с традиционными геодезическими опорными пунктами и данными полевых измерений использоваться:

- пользователями передвижных спутниковых приемников для определения точных пространственных координат в реальном времени (RTK) и режиме постобработки;
- для архивирования и предоставления данных специализированным предприятиям, которым нужна высокая точность измерений;

– при выполнении геодезических измерений, топографических съемок, выносе в натуру и разбивки при строительстве объектов и сооружений, инженерных съемок, для контроля пространственного положения возводимых конструкций и подвижных объектов и т. п.

Одна базовая станция обеспечивает определение пространственных координат в радиусе не более 80 км при наличии дополнительных передающих модулей.

Несколько постоянно действующих спутниковых базовых станций, объединенных в сеть, могут обеспечивать работу на гораздо большей территории. Поэтому,

если создать региональную сеть из нескольких базовых станций, то можно добиться покрытия для достаточно больших территорий региона и эффективней выполнять геодезические и маркшейдерские измерения, топографические съемки, инженерные изыскания и межевание земель.

При проведении геоэкологических исследований использование спутниковых GPS-станций расширяет возможности полевых экологических наблюдений, прежде всего в области определения положения объектов на поверхности Земли и их изменений с течением времени.

Для территории Донбасса, с ее высокой техногенной нагрузкой и лишенной в последнее время возможности проведения полноценных геоэкологических исследований, важность восстановления и расширения GPS-станций видится в следующих направлениях:

- геоэкологическое картографирование природных, природно-техногенных и техногенных объектов;

- регулярное осуществление экологического мониторинга ЛНР, в том числе: водных объектов, атмосферного воздуха, почв, природно-заповедного фонда, зеленых насаждений, биоразнообразия и др.;

- рациональное использование имеющихся в Республике природных ресурсов и эффективное управление в сфере экологии и природопользования. Это направление особенно требует использования современных информационных средств и методов, в том числе GPS-навигации и дистанционно-зондирования Земли. В частности, решение водной проблемы Республики невозможно без создания и ведения реестра с географической привязкой источников воды для населения, включая поверхностные воды и подземные источники;

- выполнение геодинамических и экологических исследований на территории Донбасса с учетом техногенных особенностей региона и социально-экономических изменений, повлекших за собой такие проблемы, как подтопление и оседание

поверхности земли при закрытии ряда шахт и пр.;

- слежение за состоянием тел и плотин шламоотвалов и шламонакопителей производств по обогащению углей, ферросплавных и металлургических предприятий;

- наблюдение за процессом формирования, хранения и переработки породных отвалов;

- отслеживание смещений плотин, мостов, строений и других сооружений. В этом отношении актуальны регулярные исследования смещений элементов плотины Исаковского водохранилища, являющейся стратегическим объектом Республики. И для их проведения наилучшим образом подходит GPS-станция ЦЛОИ «Орион», расположенная непосредственно на берегу водохранилища. Такие наблюдения могут иметь большое практическое значение, а для научных исследований — дать бесценный материал.

Выводы и направление дальнейших исследований. Проведенный в работе обзор систем спутниковой навигации и анализ использования их на современном этапе в геоэкологических исследованиях позволяет сделать следующие выводы:

1. Глобальные системы спутниковой навигации в современном мире являются приоритетными средствами для выполнения измерений пространственного положения объектов на Земле.

2. Наиболее точным методом позиционирования пространственных объектов является метод дифференциальной коррекции DGPS, основанный на использовании корректирующей информации базовых GPS-станций.

3. На территории Луганской Народной Республики в настоящее время отсутствует возможность использования базовых станций ГНСС, в результате чего геоэкологические исследования не могут проводиться достаточно эффективно и в полном объеме.

4. GPS-станция ЦЛОИ «Орион», расположенная на берегу Исаковского водохранилища и имеющая оптимальные условия

для приема сигналов навигационных спутников на территории ЛНР, должна быть восстановлена, проводимые ранее работы — продолжены и расширены с учетом геоэкологических задач региона.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку подходов к ком-

плексному геоэкологическому исследованию территории Донбасса с применением глобальных навигационных спутниковых систем и осуществлению практических шагов с учетом поставленных задач и имеющихся возможностей.

Библиографический список

1. Инженерная геодезия [Текст] : учебное пособие. Часть II / Е. С. Богомолова, М. Я. Брынь, В. А. Коугия и др. ; под ред. В. А. Коугия. — СПб. : Петербургский государственный университет путей сообщения, 2008. — 93 с.
2. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования [Текст] / под ред. А. И. Перова, В. Н. Харисова. — М. : Радиотехника, 2010. — 800 с.
3. Серапинас, Б. Б. Глобальные системы позиционирования [Текст] / Б. Б. Серапинас. — М. : ИКФ «Каталог», 2002. — 106 с.
4. Соловьев, Ю. А. Системы спутниковой навигации [Текст] / Ю. А. Соловьев. — М. : Эко-Трендз, 2000. — 270 с.
5. Перов, А. И. Основы построения спутниковых радионавигационных систем [Текст] / А. И. Перов. — М. : Радиотехника, 2012. — 240 с.
6. Овчинникова, Н. Г. Глобальные навигационные спутниковые системы — важная составляющая при ведении земельно-кадастровых работ [Текст] / Н. Г. Овчинникова, Д. А. Медведков // Экономика и экология территориальных образований. — 2018. — Т. 2. — № 1. — С. 77–87.
7. Информационно-аналитический центр координатно-временного и навигационного обеспечения. Прикладной потребительский центр ГЛОНАСС [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.glonass-iac.ru>.
8. Анучин, О. Н. Бортовые системы навигации и ориентации искусственных спутников Земли [Текст] / О. Н. Анучин, И. Э. Комарова, Л. Ф. Порфирьев. — СПб. : ГНЦ РФ-ЦНИИ «Электроприбор», 2004. — 325 с.
9. Генике, А. А. Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии [Текст] / А. А. Генике, Г. Г. Побединский. — [2-е изд., испр. и доп.]. — М. : Картгео-центр, 2004. — 349 с.
10. BeiDou Спутниковая навигационная система = BeiDou Navigation Satellite System [Электронный ресурс]. — Режим доступа: www.beidou.gov.cn.
11. Алчевск (ALCI) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://gnss.mao.kiev.ua/?q=node/12>.
12. Орлюк, М. И. Сравнительный анализ современной деформации и новейших движений земной поверхности на территории Украины [Текст] / М. И. Орлюк, М. В. Ищенко // Геофизический журнал. — 2019. — Т. 41. — № 4. — С. 161–181.

© Подлипенская Л. Е.

© Горельников С. А.

© Кусайко Н. П.

Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. РиЭ ДонГТИ Пепениным Р. Р., д.б.н., зав. каф. ЭиП ЛНАУ Ладыш И. А.

Статья поступила в редакцию 15.04.2020.

PhD Podlipenskaya L. Ye., Gorelnikov S. A., Kusayko N. P. (DonSTI, Alchevsk, LPR)
POSSIBILITY OF USING THE SATELLITE NAVIGATION SYSTEMS IN
GEOECOLOGICAL RESEARCH

The paper is devoted to vital issues of using global navigation satellite systems for ecological assessment of the environmental components. The authors learn the principles of satellite navigation, study and compare modern global navigation satellite systems and their components. The experience is studied of creating and developing a GPS station based on the Orion Laser-Optical Measurement Center at Donbass State Technical University is analyzed and the possibility of using the present-day station's potential in geoecological studying the territory of the Lugansk People's Republic.

Key words: *geoecological research, Lugansk People's Republic, spatial coordinates of the object, global navigation satellite system, GNSS, GPS, GLONASS.*