

В статье представлены результаты экспериментальных исследований комплекса координатно-временной привязке водных невзрывных источников «Енисей» с помощью навигационной аппаратуры ГЛОНАСС/GPS. Экспериментальные исследования проводились на реках Красноярского края Бирюса и Чуна, общая протяженность работ составило около 260 км.

In the article the results of experimental studies on the complex coordinate-time referenced aquatic non-explosive sources "Yenisei" with GLONASS/GPS navigational equipment are described. Experimental studies were carried out on the rivers of Krasnoyarsk territory - Biryusa and Chuna, the total length of seismic profile was about 260 km.

Экспериментальные работы на реках Бирюса и Чуна по координатно-временной привязке водных вариантов импульсного невзрывного источника «Енисей» с использованием РНС ГЛОНАСС/GPS

Алешечкин А.М., Валиханов М.М., Кокорин В.И., Фатеев Ю.Л., Шайдуров Г.Я.,
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

В июле-августе 2009 г. были проведены первые речные работы по сейсмическому профилированию длиной 250 км на реках Бирюса и Чуна в Красноярском крае с использованием водного варианта импульсного невзрывного источника «Енисей» и координатно-временной привязки по сигналам космических радионавигационных систем (РНС) ГЛОНАСС и GPS. Структурная схема комплекса представлена на рис. 1.

Работа проводилась сейсмической партией Богучанской геофизической экспедицией (начальник партии Макарец В.А.) с участием наблюдающего от заказчика (ОАО «Газпром») Лапшина О.Ф.

В состав комплекса входят следующие подсистемы:

- Невзрывной источник сейсмических сигналов – «Водный Электромагнит» (ВЭМ) «Енисей», разработанный ОАО «Енисейгеофизика» (г. Красноярск).
- Сейсмическая коса, размещенная на берегу реки, с расстановкой датчиков через 50 метров. Для проведения работ, применялись датчики сейсмических волн и программное обеспечение для сбора сейсмической информации фирмы Sercel (Франция).
- Навигационная аппаратура МРК-32, обеспечивающая координатно-временную привязку ВЭМ по сигналам глобальных радионавигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. Использовалась аппаратура ФГОУ ВПО СФУ и

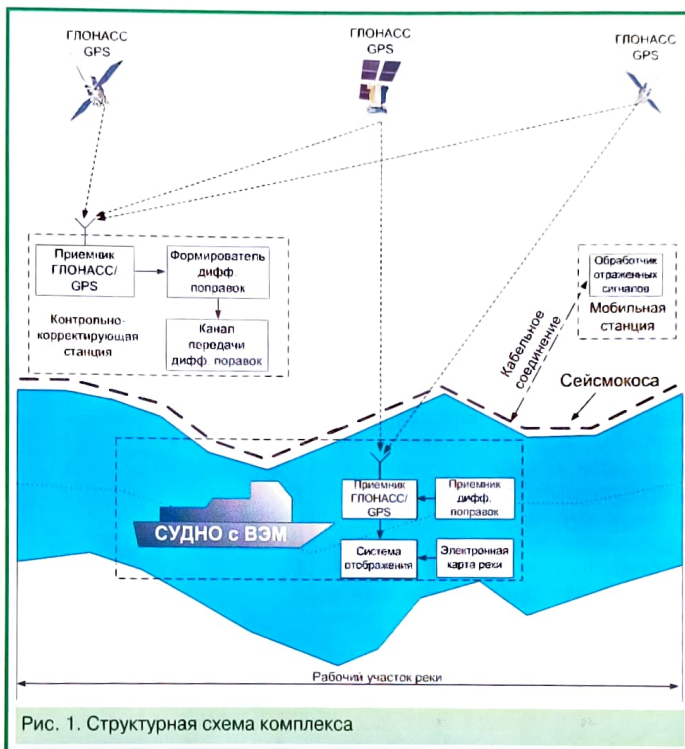


Рис. 1. Структурная схема комплекса

ФГУП «НПП «Радиосвязь» (г. Красноярск), серийно выпускаемая этим предприятием.

- Контрольно-корректирующая станция, оборудованная аппаратурой типа МРК, позволяющая повысить точность определения местоположения судна по сигналам систем ГЛОНАСС/GPS.

Внешний вид судна с ВЭМ, размещенными на понтоне, представлен на рис. 2.



Рис 2. Внешний вид судна с ВЭМ, размещенными на понтоне

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ
ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ТЕХНОЛОГИИ

На рис. 3 показано размещение ВЭМ и антенны МРК на понтоне. На рис. 4 представлено рабочее место оператора управления ВЭМ. Синхронизация моментов излучения сейсмических импульсов и получения координат осуществлялась с помощью приемной аппаратуры МРК-32 под оперативное время спутников ГЛОНАСС/GPS. Для этого с выхода секундной метки аппаратуры МРК подавался управляющий сигнал на контроллер пуска излучения сейсмических импульсов с периодом один раз в 10 сек. Погрешность привязки к системному времени составляла не более 1 мкс.

В соответствии с техническим заданием Богучанской геофизической экспедиции при выполнении сейсморазведочных работ необходимо было поддерживать скорость судна не более 1.8 км/ч (0.5 м/с). В связи с тем, что течение реки может составлять 5 км и более, то для удержания заданной скорости, работы выполнялись против течения, а в некоторых случаях по течению реки кормой вперед.

Следует отметить, что сейсморазведочные работы выполнялись в основном в темное время суток. Это связано с тем, что ночью уровень шумов, создаваемых ветром, деятельностью человека и рядом других факторов, является минимальным. Для обеспечения безопасности плавания в условиях судовождения в ночное время суток и отсутствия электронных навигационных карт рек Бирюса и Чуна были приняты специальные меры. Для решения данной задачи с целью контроля глубины под судном во время движения использовался эхолот Garmin GSD-21, подключаемый к судовому навигатору Garmin 3005C, работающему только по сигналам системы GPS.

В дневное время на реке Бирюса судно с ВЭМ спускалось вниз с определением глубины и записью маршрута судовым навигатором. Во время сейсморазведочных работ капитану требовалось пройти с заданной скоростью и удерживать судно по записанному (безопасному) маршруту. Для определения местоположения относительно берега в судовой навигатор передавались координаты сейсмодатчиков на эллипсоиде Красовского. В ходе поведения работ были пропущены особые участки – перекасты, где судовождение в сложных условиях (ночное время, высокая скорость течения реки и т.д.) могло привести к повреждению оборудования.

При проведении сейсморазведочных работ на реках Бирюса и Чуна было установлено, что из-за влияния возвышенностей и гор затенение горизонта может достигать 20-30 градусов. Затенение горизонта уменьшает число наблюдаемых спутников систем ГЛОНАСС/GPS. Зарегистрированы случаи, когда число спутников только системы GPS, было недостаточно для определения координат (число спутников ГЛОНАСС равно 4, GPS

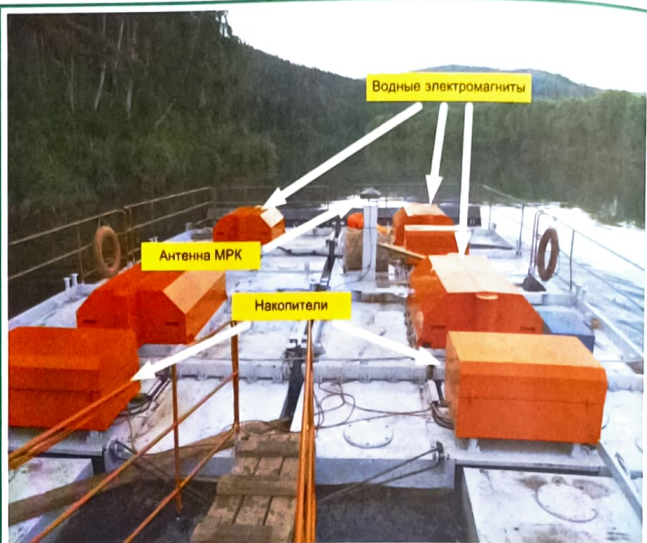


Рис. 3. Размещение ВЭМ и антенны МРК на понтоне

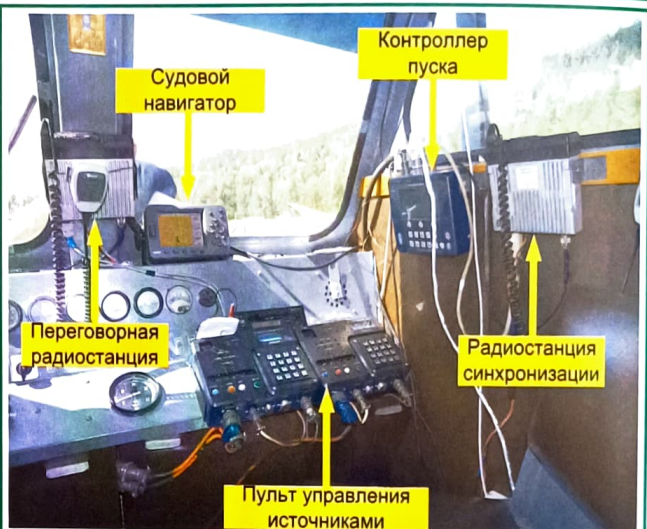


Рис. 4. Рабочее место оператора управления ВЭМ

0350E0BB 152811201315
05d08m2009г 05433m50cm
Широта 57°29.485032'СШ
Долгота 95°29.897038'ВД
Высота +00127.684m
Режим ГГ 3D КРС nDf 1 P
Скор 0.12м/с (0.4)
Г.Ф. 2.47 Г04 G03
MRK 32-V57-25-05-2009

ГЛОНАСС

GPS

Рис. 5.

равно 3, рис. 5). В таких случаях контроль скорости движения судна осуществлялся по показаниям прибора МРК-32, работающий по сигналам двух систем ГЛОНАСС и GPS.

На рис. 6 показана карта выполненных работ на реках Бирюса и Чуна. На рис. 7 представлен участок реки Бирюса 20 июля 2009.

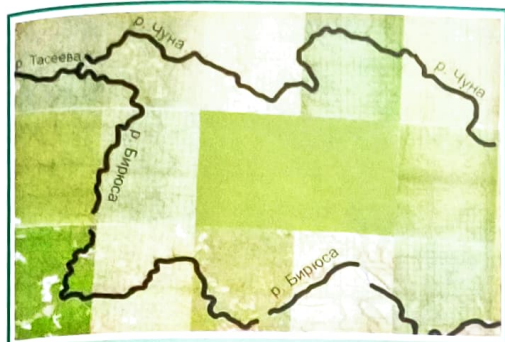


Рис. 6. Карта выполненных работ на реках Бирюса и Чуна

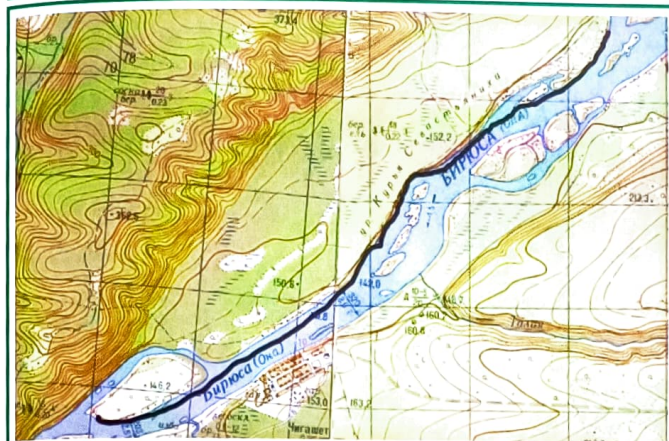


Рис. 6. участок реки Бирюса 20 июля 2009



Рис. 7.

Координаты получены в режиме постобработки информации контрольно-корректирующей станции и МРК, расположенного на понтоне с ВЭМ. Расстояние между ККС и судном с ВЭМ не более 50 км. Протяженность рабочего участка в среднем составляет 4-5 км в день, при максимальной значении 9 км. Длину рабочего участка ограничивали: время, необходимое для переноса и установки сейсмокося, ее длина и координатная привязка сейсмодатчиков.

С целью определения точностных характеристик, 26 августа 2009 был проведен эксперимент с навигационной аппаратурой МРК в стационарном режиме на реке Чуна (рис. 8).

При неподвижном расположении невзрывного источника в течение трех часов выполнялась непрерывная запись координат с интер-

валом в 1 сек. с регистрацией числа спутников систем ГЛОНАСС и GPS. Обработка полученного материала выполнялась при совместном использовании систем ГЛОНАСС/GPS, а также отдельно по системам ГЛОНАСС и GPS.

В результате проведенного эксперимента установлено, что при использовании в обработке только спутников системы GPS получена точность определения координат с $\sigma_X = 1.17$ м и $\sigma_Y = 0.63$ м в прямоугольной системе координат СК-42. При совместном использовании спутников систем ГЛОНАСС и GPS точность определения координат оказалась чуть ниже и составила: $\sigma_X = 1.54$ м и $\sigma_Y = 0.66$ м, что соответствует поставленным заказчиком требованиям на точность навигационной привязки комплекса. При обработке данных только по спутникам системы ГЛОНАСС погрешность измерения не удовлетворяет поставленным требованиям.

Общее количество измерений составляет – 9606. Число годных измерений, при значении геометрического фактора меньше четырех, только по ГЛОНАСС – 2133 измерений, по системе GPS – 6539 измерений и совместном использовании ГЛОНАСС/GPS – 8137 измерений. В относительных единицах число годных измерений составляет 22%, 68% и 85%, соответственно, при определении координат по системам ГЛОНАСС, GPS и ГЛОНАСС/GPS. Таким образом, несмотря на некоторое снижение точности приведение работ по системам ГЛОНАСС и GPS, их совместное использование более предпочтительно из-за большего числа наблюдаемых спутников. В табл. 1 сведены основные результаты работ.

Табл. 1 Результаты оценки точности НАП МРК-32

Режим обработки	ГЛОНАСС /GPS	GPS	ГЛОНАСС
$\sigma = \sqrt{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2}$	1.69	1.33	7.45
Кол-во отсчетов	8137 (85%)	6539 (68%)	2133 (22%)
Среднее число наблюдаемых спутников	10	6	4

Выводы:

Полученная точность при определении координат в постобработке только по системе ГЛОНАСС не отвечает требованиям при проведении геофизических исследований в сложных условиях Сибири, что, скорее всего, носит временный характер до момента развертывания системы ГЛОНАСС в полном объеме.

Выполнение работ по системе GPS удовлетворяет требованиям по точности. При этом использование совмещенного режима ГЛОНАСС/GPS позволяет повысить надежность измерений из-за большего числа видимых спутников.

В целях повышения безопасности судовождения в сложных ночных условиях целесообразно использование электронных навигационных карт, что уменьшит время простоя сейсморазведочного отряда, например, во время тумана.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕХНОЛОГИИ