

7. Шароглазова, Г.А. Анализ методики обработки повторных ГНСС наблюдений на геодинимических полигонах АЭС / Г.А. Шароглазова, В.В. Ялтыхов, К.И. Маркович // Вестн. Полоц. гос. ун-та. – 2015. – №16. – С. 114-117.
8. Bernese GNSS Software, Version 5.2 Tutorial.
9. Brunner, F.K. A comparison of computation methods for crustal strains from geodetic measurements / F.K. Brunner, Coleman R. and Hirsch // Tectonophysics. – 1981. – V. 71.
10. Koch, K.R. Multivariate hypothesis tests for detecting Recent crustal movements / K.R. Koch and Fritsch D. // Tectonophysics. – 1981. – V. 71.
11. Tsuboi, C. Investigation on the deformation of Earth' s crust found by precise geodetic means / C. Tsuboi. // Jap. J. Astron. Geophys. – 1933. – 10, 93.
12. Frank, F.C. Determination of the Earth Strains from Survey Data / F.C. Frank. – Bul. Seismol Soc. Am. – 1933. – 56. – P. 34 – 42.

## **INFLUENCE OF ERRORS OF INPUT DATAS ON PARAMETERS OF HORIZONTAL DEFORMATIONS OF CRUST ON GEODYNAMIC GROUNDS**

**G. SHAROGLAZOVA, V. KOROVKIN**

*Article is devoted to a problem of errors of input datas when determining characteristics of the deformations of crust determined on geodynamic grounds by differences of the balanced coordinates between eras of measurements. It is shown that this problem is not removed upon transition to satellite measuring instruments.*

**Keywords:** *modern movements of the Earth's crust, the geodynamic polygon repeated geodetic measurements.*

**УДК 528.22.551.24 (075.8)**

### **ОРГАНИЗАЦИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА «ПОЛОЦКАЯ ГЭС»**

**канд. техн. наук, доц. Г.А. ШАРОГЛАЗОВА, К.И. МАРКОВИЧ**

(Полоцкий государственный университет, Беларусь);

**А.А. СВЯТОГОРОВ**

(«НПЦ по геологии» НАН Беларуси);

**канд. техн. наук, доц. В.В. ЯЛТЫХОВ**

(Полоцкий государственный университет, Беларусь)

*Рассматривается организация классического геодинимического полигона на территории, подверженной взаимообусловленному влиянию тектонических и техногенных факторов. Показана необходимость участия при проектировании полигона специалистов различных наук о Земле. Особое внимание*

уделено качественной закладке центров геодезических пунктов и их оптимальному расположению, а также методике высокоточных геодезических измерений и математической обработке результатов этих измерений.

**Ключевые слова:** современные движения земной коры, геодинамический полигон, повторные геодезические измерения, дистанционное зондирование, тектонический разлом

Известно, что разработка месторождений полезных ископаемых, строительство и эксплуатация ГЭС, магистральных трубопроводов, тоннелей и других инженерных сооружений в совокупности с природной тектонической активностью района могут усилить геологическую опасность до катастрофического уровня [1–2]. Поэтому проблема взаимообусловленного влияния тектонических и техногенных факторов на земную кору и состояние окружающей среды является актуальной во всем мире. В Республике Беларусь эта проблема достаточно остро стоит для таких объектов и территорий, как Старобинское месторождение, каскад ГЭС на реке Западная Двина, места пролегания магистральных трубопроводов.

В исследуемом Полоцком регионе также наблюдаются взаимообусловленные влияния техногенных и тектонических факторов на состояние земной коры. К основным техногенным факторам здесь следует отнести возведение Полоцкой ГЭС и прохождение магистрального нефтепровода Полоцк – Унеча, к тектоническим – его принадлежность к Полоцко-Курземской зоне тектонических разломов [3].

Полоцкая ГЭС запроектирована на реке Западная Двина у деревни Лучно и является частью каскада ГЭС на Западной Двине, состоящего из проектируемых и возводимых Белорусских ГЭС (Полоцкой, Бешенковичской, Витебской, Верхнедвинской) и построенных в 30–70-е годы прошлого столетия Латвийских ГЭС (Кегумская, Плявиньская и Рижская общей мощностью более 1000 мегаватт) (рис. 1).

Общим для всех перечисленных ГЭС является не только их расположение на одной реке, но и принадлежность к одной активной тектонической структуре: Полоцко-Курземскому поясу тектонических разломов (рис. 2). Указанный пояс разломов охватывает обширную территорию, протягивающуюся в субширотном направлении примерно на 800 км при ширине 120-200 км, начиная от г. Вязьма (Россия), далее следуя через Беларусь и Прибалтику предположительно до острова Готланд (Швеция). На севере и на юге он ограничен протяженными краевыми разломами: Лиепайско – Локневским и Южным (Полоцким).

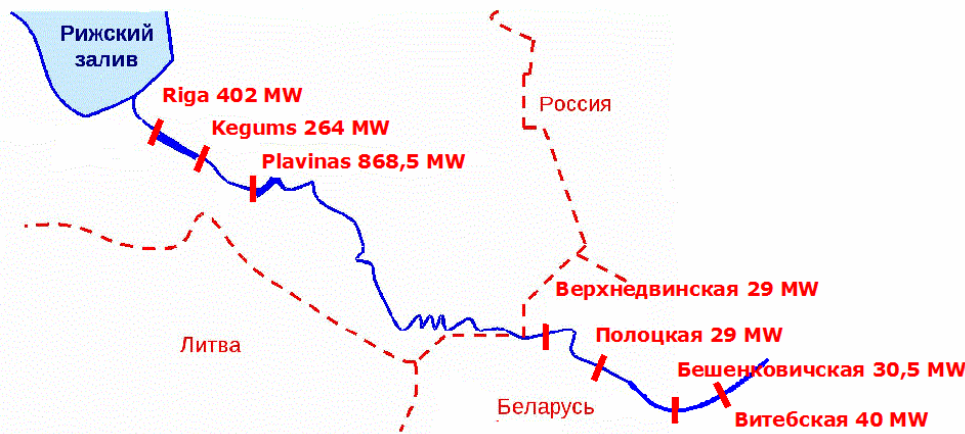


Рис. 1. Каскад ГЭС на реке Западная Двина

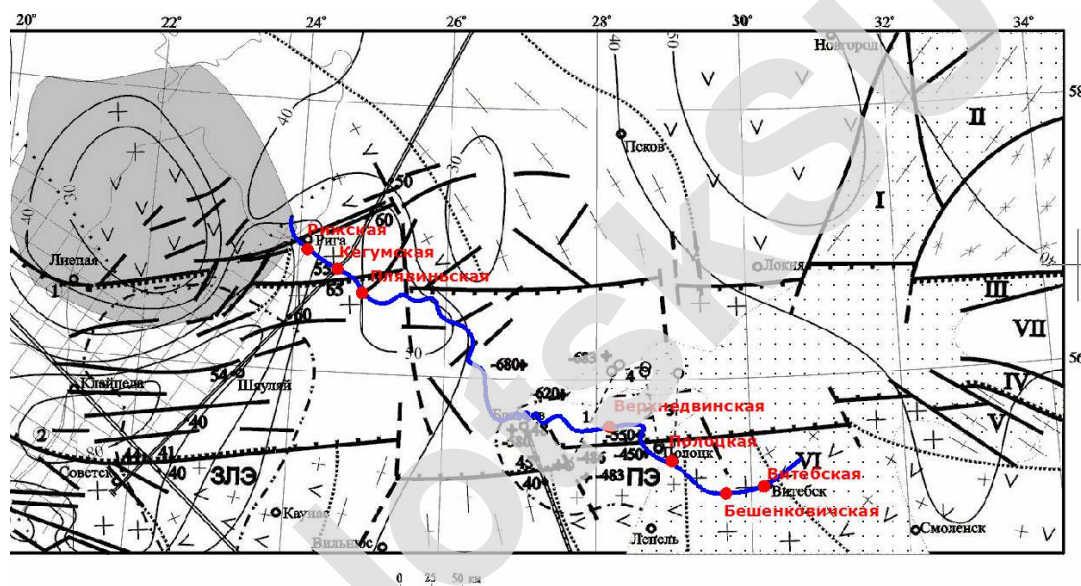


Рис. 2. Полоцко-Курземский пояс тектонических разломов [3] и расположение каскада ГЭС (Рижская, Кегумская, Плявиньская, Верхнедвинская, Полоцкая, Бешенковичская, Витебская) на реке Западная Двина

Статистика сейсмической активности в районе латвийских ГЭС следующая: 1976 г. – землетрясение в Эстонии силой 6 баллов, ощущалось и в Риге; 2004 г. – Калининградское землетрясение силой 6 баллов, в Латвии – 5 баллов; декабрь 2004 г. – мерзлотные землетрясения в Риге и Даугавпилсе. Аналогичная сейсмическая картина может наблюдаться и на входящих в каскад Белорусских ГЭС, включая и Полоцкую. Поэтому в 2006 г. Полоцким государственным университетом совместно с Институтом геологических наук и Центром геофизического мониторинга НАНБ в районе Полоцкой ГЭС были выполнены предпроектные геодинамические исследования [4], основными результатами которых явилось следующее.

Территория Полоцкой ГЭС расположена в зоне влияния тектонических разломов: Полоцкого, Чашникского и Туровлянского (рис. 3).

1. На площадке строительства Полоцкой ГЭС присутствует [Аронов А.Г., Сероглазов Р.Р., 2006] сейсмическая опасность от возникновения местных небольших, а также сильных землетрясений других регионов.

2. На устойчивость данного инженерного сооружения могут неблагоприятно повлиять и ослабленные грунты тектонических разломов, где максимально проявляются деформации не только тектонического происхождения, но и вследствие действия сезонных и технологических факторов.

3. Рекомендуемый уровень сейсмостойкости – 7 баллов.

4. Рекомендуется организация геодинамического полигона.

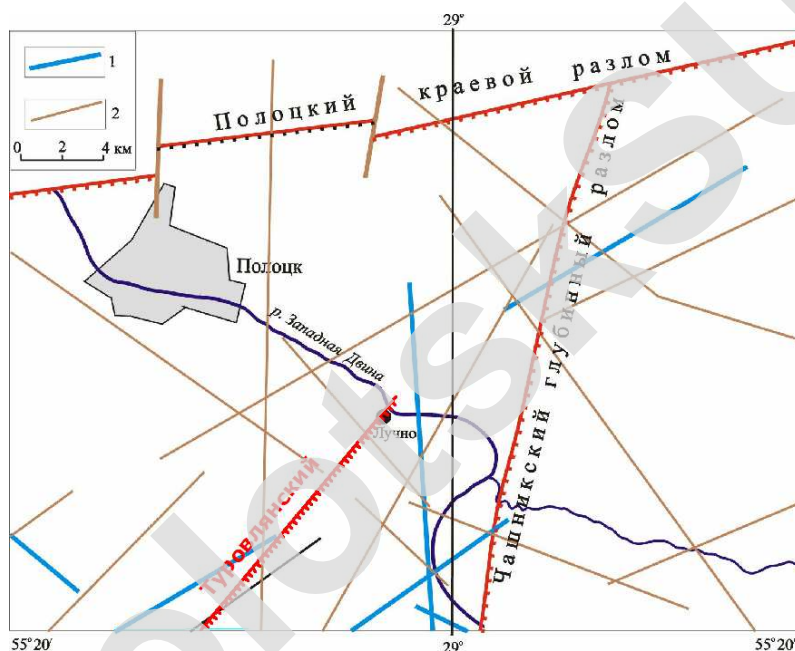


Рис. 3. Схема расположения тектонических разломов в районе Полоцкой ГЭС (По Каратаеву):

1 – флексурно-разломные зоны активизации; 2 – разломы кристаллического фундамента; Туровлянский разлом установлен по данным геофизических исследований 2006 г.

Исходя из приведенных результатов, в 2014 г. в районе Полоцкой ГЭС был запроектирован геодинамический полигон (ГДП) в виде ГНСС сети, расположение пунктов в которой выбрано, сообразуясь с необходимостью опроса Полоцкого, Чашникского и Туровлянского разломов, а также с учетом конфигурации имеющейся здесь дорожной сети (рис. 5).

С целью повышения надежности выбора мест закладки центров пунктов относительно опрашиваемых разломов на проектируемом ГДП

«Полоцкая ГЭС» было выполнено структурное дешифрирование материалов аэрокосмических съемок (МАКС) на площади 670 кв. км силами отдела аэрокосмических исследований государственного предприятия «НПЦ по геологии» НАНБ.

Исходными данными служили: космические снимки Landsat 5ТМ масштабов 1:100 000, 1:500 000 и 1:1 000 000, а также комплект материалов аэрофотосъемки различных масштабов и лет залета, необходимых для расшифровки и уточнения спутниковых данных.

Методически исследования проводились в 2 этапа.

Первый этап включал получение, компьютерную обработку и подготовку к работе материалов аэро- и космических съемок (МАКС), а также анализ и обобщение всех имеющихся материалов предшествующих геолого-геофизических работ и научных исследований, предварительное структурное дешифрирование МАКС и сопоставление рабочих схем результатов дешифрирования.

На втором этапе было проведено повторное дешифрирование МАКС, обработаны все имеющиеся данные, составлена карта результатов дешифрирования МАКС, а также пояснительная записка к ней о проведенных исследованиях.

Исследования осуществлялись с применением современных ГИС-технологий. Все полученные данные интегрировались в программную среду ArcGis 10.0. Картографические материалы представлены на бумажной основе в масштабе 1:100 000 (для удобства использования) и в электронном виде в масштабе 1:25 000.

Для дешифрирования был использован ниже перечисленный комплект разнообразных по информативности, масштабам, времени залетов и техническим характеристикам материалов аэрокосмических съемок:

- многозональные синтезированные (синтез каналов 4-5-3) космические снимки масштаба 1:100 000 и 1:500 000, полученные с американского космического спутника Landsat 5ТМ 2011 года съемки, хорошего качества;
- аэрофотоснимки масштабов 1:25 000 и 1:50 000, черно-белые хорошего качества залета 1979 г.

Компьютерная обработка космических изображений была направлена, прежде всего, на улучшение качества их изображения. Проводилась в программном продукте Erdas Imagine 9.1 компании Leica Geosystems. Данная система позволяет производить полный цикл обработки космических изображений от получения «сырого» снимка до создания тематической картографической продукции.

Поканальные изображения могут выявлять отдельные закономерности развития природных компонентов (например, в инфракрасной зоне хо-

рошо выделяются затопленные и переувлажненные территории, в зеленой зоне – четко выделяется здоровая растительность и т. п.), однако для целостного восприятия и детального дешифрирования космических изображений необходимо использовать синтезированные изображения.

Синтез изображений в Erdas Imagine выполняется автоматически, что реализовывается путем одновременной загрузки в тело программы изображения во всех каналах и выбором оператором наиболее подходящей комбинации каналов. Получающиеся цветные изображения формируются по принципу передачи цветов в палитре RGB. Результаты синтеза сохраняются в отдельный файл с расширением \*.img, который используется для дальнейшей работы.

Проанализировав результаты синтеза в различных комбинациях каналов, нами была выбрана комбинация 4-5-3. Остановка на данной комбинации обусловлена тем, что при данном варианте синтеза наиболее четко прослеживаются элементы, отражающие структурно-геологическое строение – линеаменты и кольцевые структуры, блоки земной коры.

Космические снимки, полученные сканерными аппаратами, оказались пригодными для выявления крупных структурных форм и наиболее протяженных космотектонических линеаментов, отождествляемых с глубинными региональными разломами и их зонами.

Аэрофотоматериалы использовались для уточнения результатов дешифрирования космических снимков и для выявления трещинно-разрывной тектоники и структурно-геоморфологических объектов.

Для качественного дешифрирования МАКС и последующей обработки полученных данных были собраны как специальная опубликованная литература, так и архивные документы по геологии, геофизике и тектонике района работ, которые помогли ознакомиться с районом, его геологическими и структурно-тектоническими особенностями, гравитационным и магнитным полями, сейсмогеологическими данными.

Структурное дешифрирование материалов аэрокосмической съемки (МАКС) было посвящено выявлению и картированию структурно-тектонических и геоморфологических особенностей территории, а также трещинно-разрывной сети.

Дешифрирование проводилось на ландшафтно-индикационной основе по общей схеме: обнаружение-опознание-интерпретация и трансформация. В качестве основного метода использован контрастно-аналоговый, т.е. выделение участков, обладающих характерным фотоизображением, основными компонентами которого являются фототон и рисунок. Были выяв-

лены дешифровочные признаки, которые встречаются не случайно, а образуют закономерные сочетания в различных природно-территориальных зонах. В нашем случае для региона Восточно-Европейской платформы дешифровочные признаки относятся к разряду косвенных.

Разломы распознавались на снимках в виде протяженных, иногда прерывистых, прямолинейных или слабоизогнутых в плане узких аномалий фототона, резких спрямленных границ между двумя градациями фототона или различными рисунками фотоизображения. В рельефе – это спрямленные участки русла Зап. Двины и ее притоков, прямолинейные протяженные (более 0,5 км) уступы, участки долин рек, цепочки впадин, угловатость форм рельефа, линейно вытянутые увлажненные участки днищ, впадин, ареалов растительности. Для их обнаружения тщательно анализировались не только фототон и рисунок фотоизображения, но и его структура. Были выявлены участки с аномальными значениями фототона, рисунка фотоизображения, закономерно ориентированные элементы ландшафта.

Для отбраковки объектов, связанных с проявлением антропогенной деятельности и экзогенными процессами, результаты дешифрирования сопоставлялись с топографическими, геоморфологическими и другими специальными картами. Выявленные при дешифрировании объекты после тщательного камерального анализа были перенесены с МАКС на топооснову масштаба 1:100 000.

Все собранные и вновь полученные данные после тщательной обработки и анализа легли в основу составления карт и результирующих выводов. В итоге получена «Космоструктурная карта по данным структурного дешифрирования материалов аэрокосмических съемок (мозаика Landsat) геодинамического полигона «Полоцкая ГЭС» (рис. 4), карта «Результаты структурного дешифрирования материалов космической съемки (мозаика Landsat, синтез каналов 4-5-3), а также выполнена их интерпретация. Ключом к расшифровке дешифровочной информации послужили картографические и текстовые материалы различных видов геологического, геофизического, структурно-тектонического и геоморфологического содержания, включая и результаты [4].

Выполненное структурное дешифрирование МАКС в исследуемом районе показало, что территория ГДП «Полоцкая ГЭС» в структурном отношении имеет разломно-блоковое строение, отражающее интенсивные глубинные процессы, происходящие в земной коре на современном этапе тектонического развития. Положение тектонических разломов Полоцкого, Чашникского и Туровлянского на рисунке 3 в точности совпало с положением разломов с повышенной проницаемостью осадочного чехла на кос-



моструктурной карте (см. рис. 4). Кроме того, проведенные исследования позволили:

- выявить общий план предполагаемых тектонических нарушений, их концентрацию;
- определить характер выявленных нарушений, размеры, протяженность, взаимосвязь;
- определить зоны предполагаемых тектонических нарушений, зоны разломных узлов и мегатрещиноватости, определяющих повышенную геодинамическую опасность мест их проявления;
- выявить ранее неизвестный блок земной коры, активный на современном этапе тектонического развития, определяющий потенциальную опасность проявления современных геодинамических процессов;
- обосновать и определить наиболее рациональное размещение мест закладки глубинных реперов на ГДП «Полоцкая ГЭС» (рис. 5).

Космоструктурная карта по данным структурного дешифрирования материалов аэрокосмических съемок (мозаика Landsat) геодинамического полигона "Полоцкая ГЭС". Минск, 2015 г. Масштаб 1:100 000

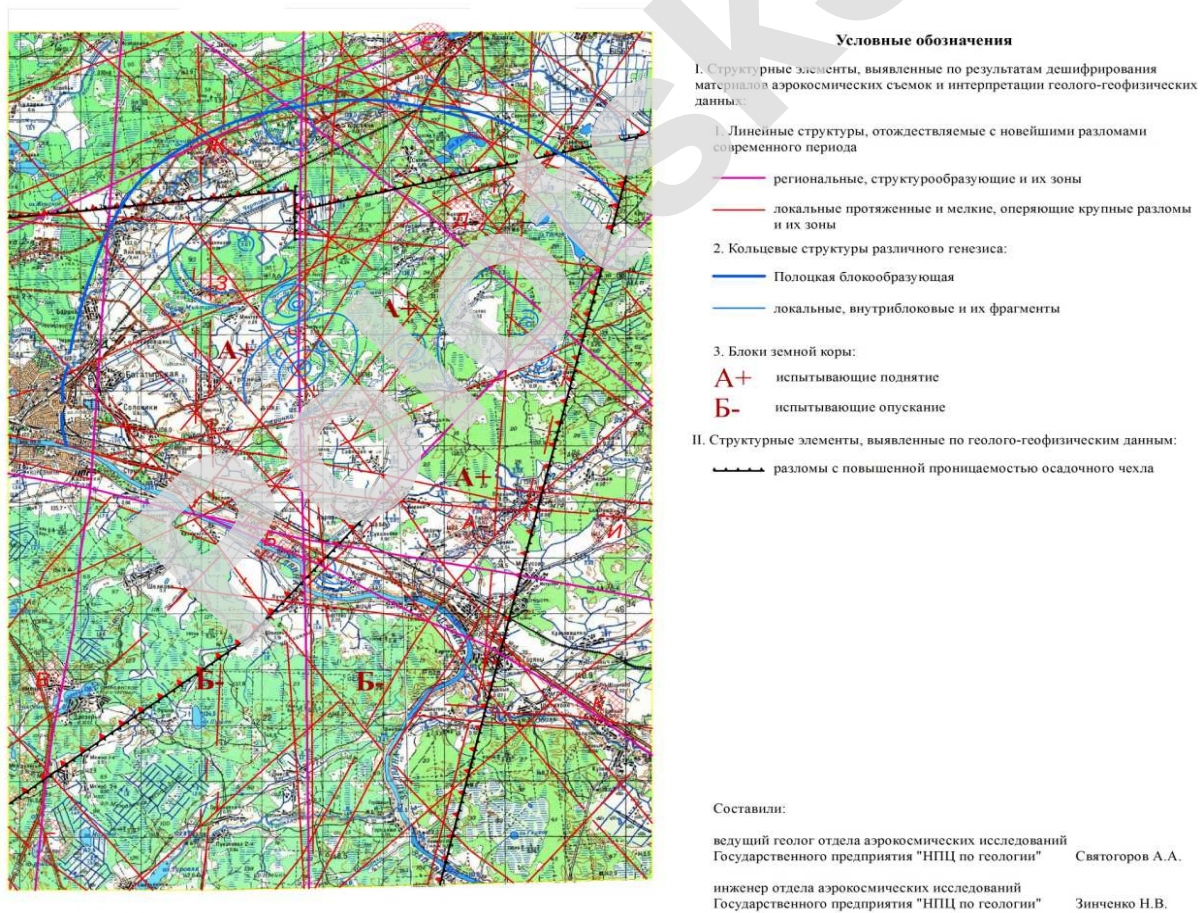


Рис. 4. Космоструктурная карта по данным структурного дешифрирования материалов аэрокосмических съемок (мозаика Landsat) геодинамического полигона «Полоцкая ГЭС»



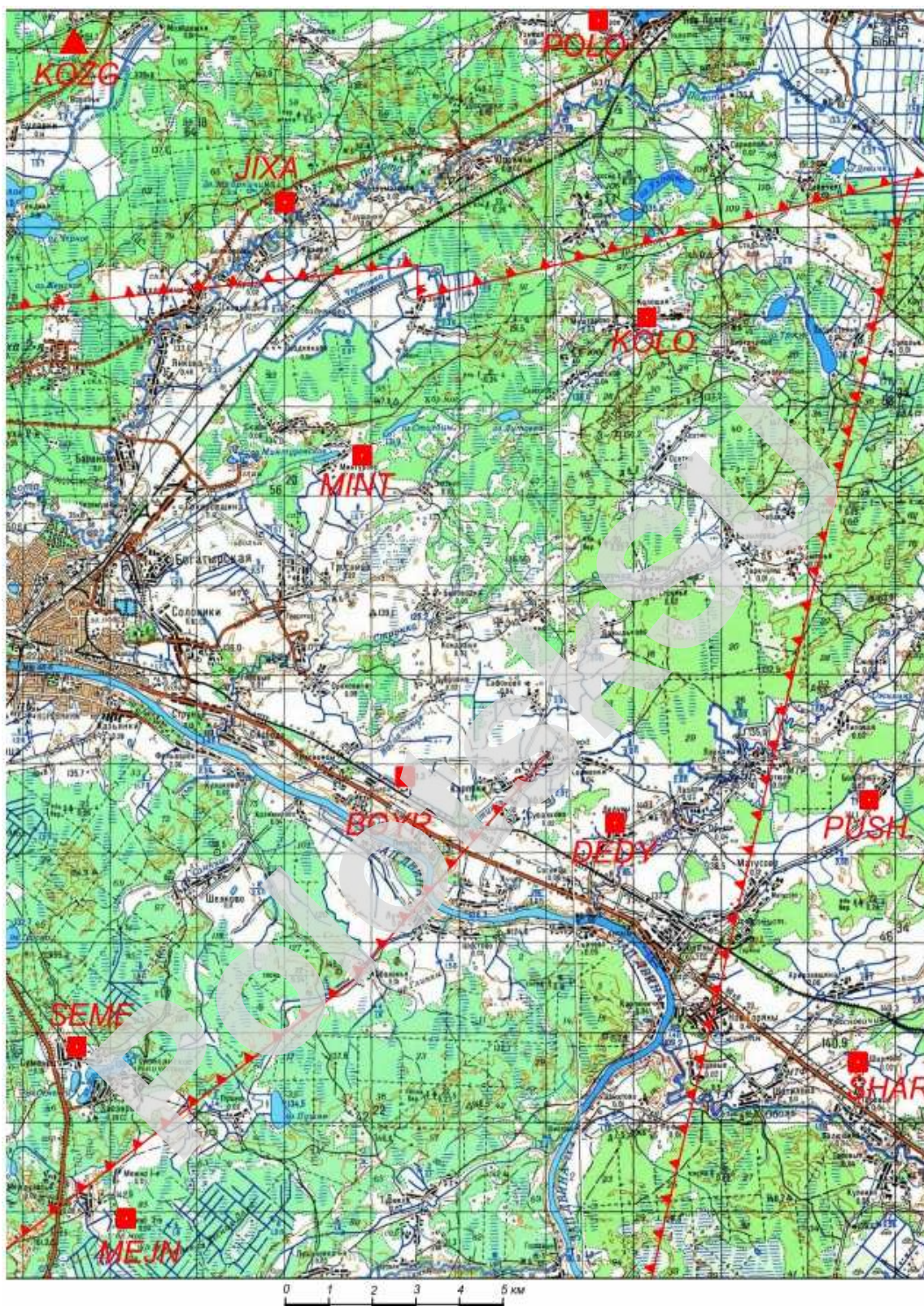
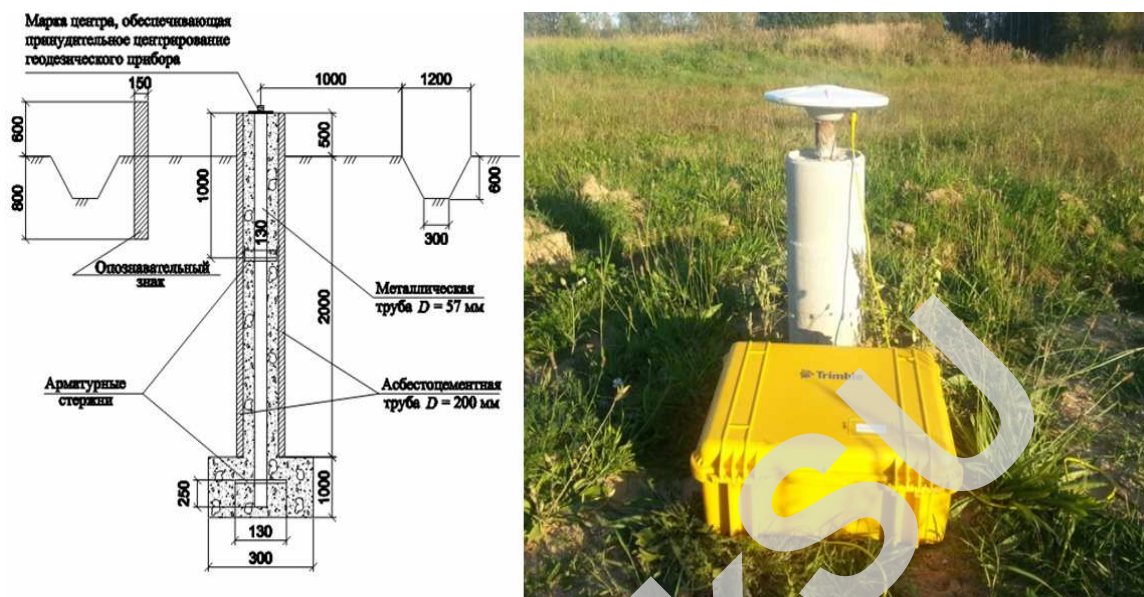


Рис. 5. Расположение тектонических разломов и пунктов геодинамического полигона в районе Полоцкой ГЭС: DEDY, BOYR, SEME, MEJN – пункты, контролирующие Туровлянский разлом; POLO, KOLO, JIXA, MINT – Полоцкий; DEDY, KOLO, PUSH, SHAR – Чашникский



Все представленные на рисунке 5 пункты ГДП «Полоцкая ГЭС» закреплены центрами, заложенными на глубину 3 м, и обеспечены устройствами для принудительного центрирования (рис. 6).



а

б

Рис. 6. Конструкция центров пунктов на геодинамическом полигоне Полоцкая ГЭС с маркой:

а – обеспечивающей принудительное центрирование спутниковых антенн;  
 б – вид центра с приспособлением для принудительного центрирования спутниковых антенн на местности

Проект геодезической сети на ГДП «Полоцкая ГЭС» и разработка методики ГНСС наблюдений.

Схема геодезической сети на ГДП «Полоцкая ГЭС» показана на рисунке 7 а. Для связи пунктов ГДП «Полоцкая ГЭС» и пунктов Полоцкого геодинамического профиля [5] к представленным на рисунке 5 пунктам в сеть включен пункт КОЗГ (Козьи горки нов.), который по результатам геофизических исследований находится вне зоны Полоцкого разлома.

Геодезическое оборудование и методика производства ГНСС измерений выбраны, исходя из необходимости достижения точности измерений не хуже 2–3 мм в плане и 5–7 мм по высоте. На основании приборной точности оборудования принято решение в процессе измерений использовать пять двухчастотных спутниковых приемников фирмы Trimble: четыре приемника R7 с антенной Zephyr Geodetic Model-2 и один приемник R8 с антенной Internal Model-2.

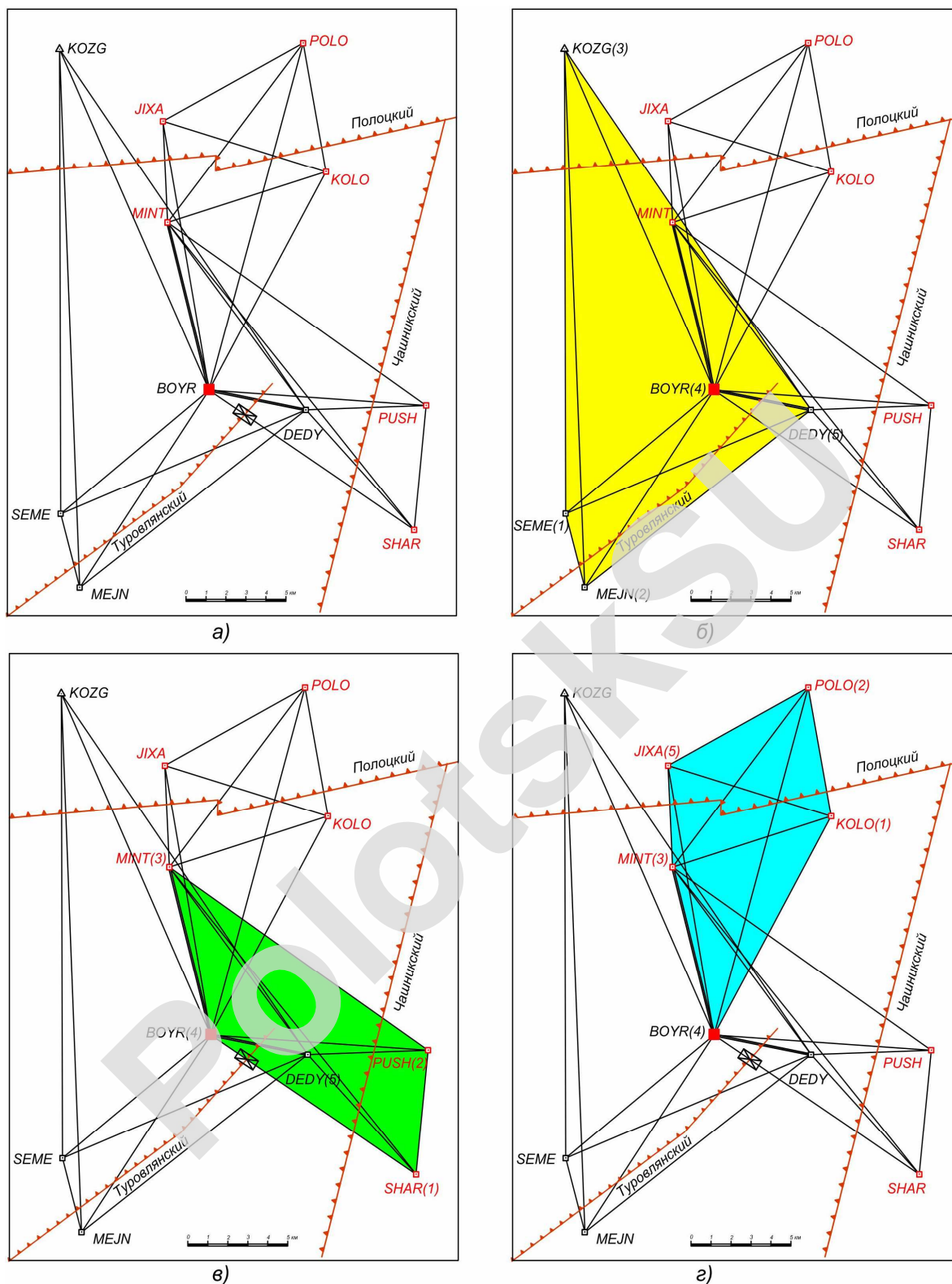


Рис. 7. Схема геодезической сети на ГДП «Полоцкая ГЭС»:   
*а* – общая схема сети ГДП «Полоцкая ГЭС»; *б* – схема 1-ой расстановки (пункты DEDY, BOYR, SEME, MEJN, KOZG); *в* – схема 2-ой расстановки (пункты DEDY, BOYR, MINT, PUSH, SHAR); *г* – схема 3-ей расстановки (пункты BOYR, MINT, POLO, KOLO, JIXA); (1), (2),(3), (4), (5) – номера приемников

Для выполнения ГНСС наблюдений в сети ГДП (см. рис. 7 а) запроектировано три расстановки спутниковых приемников (см. рис. 7 б–г), которые образуют серию. Программа ГНСС наблюдений в сети состоит из двух серий измерений, произведенных с интервалом не менее суток, с контролем сходимости результатов между сериями.

На каждой схеме расстановок в скобках на пункте обозначен номер приемника. Приемникам R7 с антенной Zephyr Geodetic Model-2 присвоены номера 1, 2, 4, 5, приемнику R8 Internal Model-2 – номер 3. Сторона *BOYR – DEDY* является связующей между первой и второй расстановками, сторона *BOYR-MINT* – связующей между второй и третьей, пункт *BOYR* – связующий во всех расстановках в серии. Исходя из максимальной длины стороны сети (около 30 км), длительность сеанса измерений в расстановке, необходимая для достижения требуемой точности, установлена в 6 часов.

Полевые наблюдения на ГДП «Полоцкая ГЭС» планируется выполнять ежегодно в сентябре строго по выше изложенной методике, сохраняя ее неизменной, включая и порядок расстановки приемников в сериях наблюдений.

Методика математической обработки результатов ГНСС наблюдений на ГДП, как и методика полевых измерений, принята одинаковой во все эпохи наблюдений с использованием программного продукта Trimble Business Center версия 1.11.

Система координат отнесена к пункту *BOYR* (Бояры).

Для обеспечения контролей результатов измерений и обработки уравнивание в каждую эпоху измерений принято выполнять трижды: каждая серия отдельно, а затем обе серии совместно. По результатам отдельной обработки каждой серии выполняется оценка точности по известной формуле разностей двойных измерений.

$$m = \sqrt{\frac{\sum(d^2)}{2n}}, \quad (1)$$

где  $m$  – средняя квадратическая погрешность измерения;

$d$  – разность между сериями оцениваемой величины, полученной из уравнивания каждой серии измерений в эпоху;

$n$  – число разностей (линий или превышений).

Характеристики точности результатов спутниковых наблюдений на ГДП «Полоцкая ГЭС» даны в таблице 1.

**Характеристики точности результатов спутниковых наблюдений  
на ГДП «Полоцкая ГЭС»**

$m_s$ , мм		$m_h$ , мм	
2014	2015	2014	2015
$\pm 0,9$	$\pm 2,9$	$\pm 6,7$	$\pm 6,0$

**Заключение.** Созданием ГДП «Полоцкая ГЭС» заложена надежная основа для организации долговременного мониторинга СДЗК в Полоцком регионе, вызванных взаимообусловленными влияниями тектонических и техногенных факторов. Исследования на геодинамических полигонах методом повторных геодезических измерений должны выполняться высококвалифицированными специалистами, владеющими глубокими теоретическими и практическими знаниями по производству высокоточных геодезических измерений и их математической обработке, знаниями смежных наук о земле (геологии, геофизики, сейсмологии), а также обладать качествами исследователя. Актуальным для Беларуси является издание нормативно-технических материалов по выполнению геодезических работ на геодинамических полигонах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трифонов, В.Г. Стихийные бедствия в системе современных геодинамических процессов / В.Г. Трифонов // Современная геодинамика и глубинное строение территории СССР. – М. : Наука, 1990. – С. 11–16.
2. Шароглазова, Г.А. Проектирование геодинамических исследований в районах взаимообусловленных влияния тектонических и техногенных факторов на состояние земной коры / Г.А. Шароглазова // Вестн. Полоц. гос. ун-та. – 2012. – №8. – С. 166-171.
3. Гарецкий, Р.Г. Полоцко-Курземский пояс разломов / Р.Г. Гарецкий [и др.] // Доклады национальной академии наук Беларуси. – 2002. – Т. 46, № 6 – С. 85–89.
4. Выполнение предпроектных геодинамических исследований в районе предполагаемого строительства Полоцкой ГЭС : отчет о НИР / Полоцкий гос. ун-т ; Г.А. Шароглазова, А.Г. Аронов, Г.И. Каратаев. – Новополоцк, 2006. – 64 с. – ХД НИР №6 – 1153/26552.
5. Шароглазова, Г.А. Методика выполнения высокоточных повторных геодезических измерений на Полоцком геодинамическом микрополигоне / Г.А. Шароглазова, С.К. Товбас, А.Н. Соловьев // Вестн. Полоц. гос. ун-та. – 2013. – № 8. – С. 114–117.



## ORGANIZATION OF GEODYNAMIC POLYGON «POLOTSK HYDROELECTRIC POWER STATION»

**G. SHAROGLAZOVA, K. MARKOVICH,  
A. SVYATOGOROV, V. YALTYHOV**

*Article is devoted to the organization of the classical geodynamic ground in the territory subject to interdependent influence of tectonic and anthropogenic factors. Need of participation at projection of the ground of experts of various sciences about Earth is shown. The special attention is given to qualitative laying of the centers of geodetic points and their optimum arrangement, and also a technique of high-precision geodetic measurements and mathematical processing of results of these measurements.*

**Keywords:** *modern movements of the Earth's crust, the geodynamic polygon repeated geodetic measurements, remote sensing tectonic fault*

**УДК 004.056.2:528.061.6**

## ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ КООРДИНАТ ТОЧКИ ПРИЕМА СИГНАЛОВ ИСККУСТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ СТАБИЛИЗАЦИЕЙ ВОЗМУЩАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ИХ ПРИЕМ

**д-р техн. наук, проф. В.К. ЖЕЛЕЗНЯК, А.И. ЯРИЦА**  
(Полоцкий государственный университет, Беларусь)

*Системно исследованы факторы, снижающие точность оценки координаты точки приема сигналов искусственного спутника Земли геодезическими приемниками, установленными на пунктах спутниковой системы точного позиционирования, размещенных на подстилающей поверхности Земли либо на наземных сооружениях. Показана возможность повышения точности оценки применением конструкционных стабильных по параметрам материалов с улучшенными механическими, тепловыми виброизолирующими свойствами.*

**Ключевые слова:** *спутниковая система точного позиционирования, постоянно действующие пункты, робастная оценка, случайные воздействующие факторы.*