

УДК 528.3

**РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
НА НАУЧНО-УЧЕБНОЙ БАЗЕ «ГОРНОЕ»  
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ПО ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВУ**

**RESEARCH WORK ON SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL BASE «GORNOE»  
OF THE STATE UNIVERSITY OF LAND USE  
PLANNING**



**Докукин П.А. / Dokukin P.A.**

Кандидат технических наук, руководитель лаборатории «Спутник-Информ» Государственного университета по землеустройству / Candidat of Tech.Sci., Head of the laboratory "Satellite-Inform", The State University of Use Land Planning

e-mail: [dokukin@geo-science.ru](mailto:dokukin@geo-science.ru)

**Аннотация.** Рассмотрены основные результаты научно-исследовательских работ, выполненных на научно-учебной базе «Горное» в 2004-2011 гг.

**Ключевые слова:** Геодезия, геология, геодинамика, гравиметрия, GPS, геодезические наблюдения, ускорение силы тяжести, геодезическая сеть, оползни, карст, инженерно-геодезическая сеть

**Abstract.** The main results of research carried out on scientific and educational base "Gornoe" in 2004-2011.

**Keywords:** Geodesy, geology, geodynamic, dynamics, gravimetry, GPS, geodetic observation of the acceleration due to gravity, geodetic network, landslides, karst, Engineering and Geodetic Network.

### Введение

Территория научно-учебной базы «Горное» Государственного университета по землеустройству (далее НУБ «Горное») расположена на северо-восточном склоне Среднерусской возвышенности, в бассейне реки Осетр – правого притока реки Оки. В административном отношении территория относится к Зарайскому району Московской области.

Основное здание базы, в котором размещаются студенческое общежитие, столовая, дисплейный класс и т.д. расположено в селе Спас-Дощатый на правом берегу реки Осетр. НУБ «Горное» была основана в 1963 году, в настоящее время здесь проводятся

учебные практики по высшей геодезии, геодезической астрономии, прикладной геодезии, спутниковым методам и фотограмметрии у студентов специальности «Прикладная геодезия», а также для научно-исследовательских работ.

Специально созданная геодезическая сеть базы расположена на территории 100 га по обе стороны реки Осетр.

В период 2004-2011 гг. на территории НУБ «Горное» кафедрой геодезии и геоинформатики Государственного университета по землеустройству были проведены научно-исследовательские работы, основные этапы которых представлены в табл.1.

## Основные этапы исследований на НУБ «Горное» в 2004-2011 гг.

Год	Название	Содержание этапа исследований	Руководители работ
2004	Создание инженерно-геодезической сети	1. Запроектирована, закреплена на местности инженерно-геодезическая сеть (ИГС) в виде треугольника с центральным пунктом для проведения учебной практики по прикладной геодезии. 2. Выполнены наблюдения на пунктах ИГС, определены координаты вершин, линейные и угловые элементы сети.	Зайцев А.К. Кузнецов А.И.
2005	Полное обследование геодезической сети	1. Выполнено полное обследование пунктов планово-высотной геодезической сети научно-учебной базы «Горное», по результатам которого составлен обновленный каталог.	Докукин П.А.
	Развитие геодезической сети	1. На берегах реки Осетр заложены пункты высотной сети для геодезических и гравиметрических наблюдений, а также для проведения геодезической эстафеты по нивелированию II класса.	Кузнецов А.И.
2006	Создание и развитие спутниковой геодезической сети	1. На крыше здания общежития в с.Спас-Дощатый закреплена периодически-определяемый пункт спутниковых наблюдений «Горное», пространственное положение которого определено относительно постоянно действующих пунктов ЦНИИГАиК, Менделеево, Обнинск, Звенигород Международной службы IGS 2. Выполнены многократные спутниковые наблюдения на пунктах геодезической сети в разных вариантах и комбинациях.	Докукин П.А.
	Гравиметрические наблюдения	1. Выполнены гравиметрические наблюдения на пунктах сети, закреплённой на берегу реки Осетр	Баранов В.Н.
2007	Геологические исследования территории	1. Полевые исследования. Мониторинг экзогенных геологических процессов 2. Структурно-морфологический анализ рельефа и дешифрирование аэрофотоснимков 3. Построение геоморфологической и неотектонической карт территории	Докукин П.А. Алексеева Е.В. Докукина К.А.
	Развитие спутниковой геодезической сети	1. Выполнены повторные спутниковые наблюдения на пунктах геодезической сети в разных вариантах и комбинациях. 2. Выполнены многократные спутниковые наблюдения на пунктах сети: в разных вариантах и комбинациях.	Докукин П.А.
2008	Развитие спутниковой геодезической сети	1. Выполнены многократные спутниковые наблюдения для геодеформационного анализа территории научно учебной базы «Горное» на следующих пунктах сети в разных вариантах и комбинациях.	Докукин П.А. Певнев А.К.
2009	Обновление геодезической сети	1. Заложены новые пункты для выполнения угловых, высотных и линейных наблюдений, определены их координаты относительно существующей сети	Кузнецов А.И.
2010	Обновление каталога высот пунктов геодезической сети	1. Выполнено высокоточное геометрическое нивелирование высотной сети научно-учебной базы.	
2011	Обновление каталога высот пунктов геодезической сети	1. Выполнено повторное высокоточное геометрическое нивелирование фрагмента высотной сети научно-учебной базы.	

## 1. Обследование геодезической сети

Геодезическая сеть НУБ «Горное» была закреплена на территории общей площадью около 96 га в 1963 году, на время закладки центров пунктов, она насчитывала 60 знаков IV класса, в том числе 35 пунктов полигонометрии и 25 пунктов нивелирования. Таким образом, плотность пунктов составляла 1,5 пункта на км<sup>2</sup>.

В 1998, 2005 и 2010 годах, для последующего анализа и прогноза развития были выполнены работы по рекогносцировке всех

пунктов триангуляции, полигонометрии и реперов нивелирования геодезической сети НУБ «Горное» (согласно каталогу).

В ходе обследования были определены состояние центров пунктов и их наружных знаков, взаимовидимость между пунктами; сделано описание их месторасположения и составлены абрисы. В табл.2 приведена информация о состоянии геодезической сети, составленная в результате проведенного обследования сети.

Таблица 2.

Сравнение данных рекогносцировок

№№	Пункты геодезической сети	Количество			
		1963 год	1998 год	2005 год	2010 год
1	Триангуляционные с наружным знаком	35	27	24	22
2	Триангуляционные без наружного знака	-	14	12	12
3	Репера нивелирования	25	23	14	12
4	Общее количество пунктов	60	64	48	46
5	Взаимовидимость между пунктами		80	39	неизвестно

Как видно из табл. в период до 2005 года сеть потеряла значительное количество центров пунктов, наружных знаков и взаимовидимость между пунктами, что послужило причиной организации мероприятий по восстановлению сети, ее развитию и модернизации.

## 2. Создание и развитие геодезической сети

### 2.1. Создание периодически определяемого пункта

Первым этапом модернизации сети было создание и закрепления в 2006 году высокоточного базового пункта «Горное» (аналога периодически определяемых пунктов Фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС)) на крыше студенческого общежития научно-учебной базы в селе Спас-Дошатый.

Базовый пункт «Горное» предназначен для последующей геодезической привязки фрагмента спутниковой сети к пунктам государственной геодезической спутниковой сети и сети международной службы IGS. Пункт может использоваться также как постоянно действующая дифференциальная базовая станция при проведении топографических и контурных съемок, межевания, инженерно-геодезических работ, создании

планово-высотной опоры для трансформирования аэро- и космических снимков и т.д.

Была разработана специальная конструкция центра пункта, представляющая собой жестко закрепленную на чердаке и крыше металлическую трубу, снабженную устройством принудительного центрирования для антенны (рис.1). С помощью специального кабеля, проведенным через окно, антенна соединена с двухчастотным приемником спутниковых сигналов и персональным компьютером, расположенным в специально оборудованном помещении и получающим постоянное электропитание с помощью специального устройства [1].

Для фиксации возможных перемещений центра пункта Горное, на местности была запроектирована контрольная сеть (рис.2), состоящая из четырех контрольных пунктов, на которых в течении около двух месяцев выполнялись периодические (каждый пятый день) спутниковые наблюдения по два сеанса в день (утром и вечером). Обработка показала, что максимальные колебания параметров базовых линий между пунктами сети (без включения базового пункта) являются допустимыми, т.е. контрольная сеть стабильна и может быть использована для фиксации возможных перемещений центра базового пункта Горное.

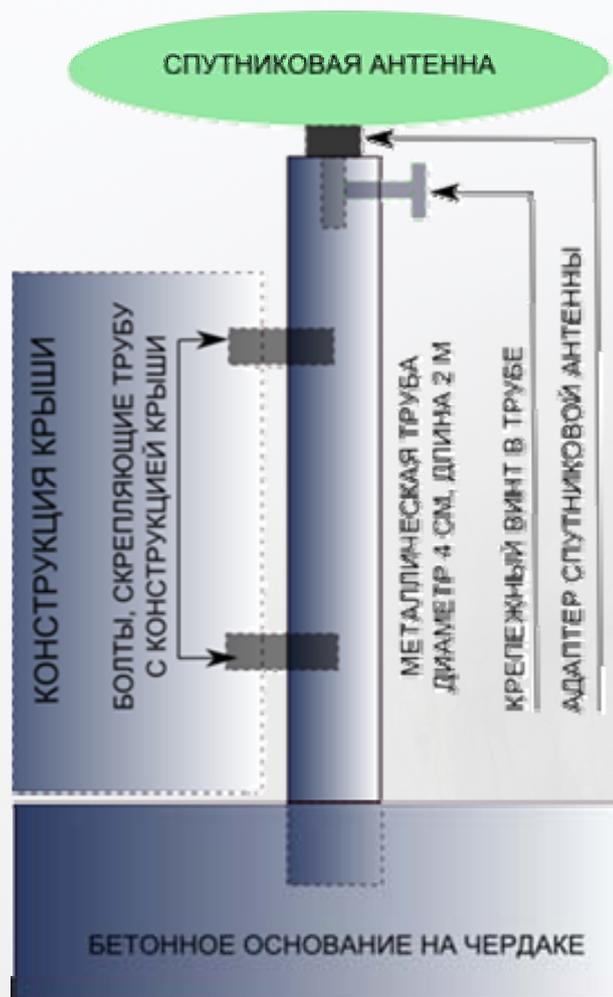


Рис.1 Конструкция базового пункта «Горное»

Затем в обработку вместе с пунктами контрольной сети (которые были приняты за жесткие) были включены и результаты наблюдений на базовом пункте Горное. Полученные результаты максимальных колебаний центра базового пункта относительно контрольной сети были признаны допустимыми, откуда были сделаны выводы о его стабильности и устойчивости.

Пространственное положение центра базового пункта «Горное» было определено в двух вариантах: 1) относительно 12-ти пунктов геодезической сети научно-учебной базы и 2) относительно постоянно действующих пунктов международной службы IGS, расположенных в Московском регионе.

Для определения координат базового пункта «Горное» относительно 12-ти пунктов геодезической сети НУБ «Горное» (рис.2) были выполнены синхронные спутниковые наблюдения двухчастотными приемниками Trimble 4700. В сеансе спутнико-

вых наблюдений вместе с базовым пунктом участвовало не менее трех пунктов, при этом были использованы разные комбинации пунктов. Все комбинации были измерены по несколько раз в разные дни: по три полуторачасовых сеанса. Обработка и уравнивание результатов были выполнены в программном продукте Trimble Geomatic Office (TGO). Уравнивание сети было выполнено методом фиксации твердых пунктов, в качестве которых были выбраны центры геодезической сети с наиболее надежными (продолжительными по времени) спутниковыми наблюдениями. Таким образом, были получены уравненные координаты пункта Горное в системе координат научно-учебной базы.

Для определения координат базового пункта «Горное» относительно пунктов Менделеево, Звенигород, ЦНИИГАиК (Московский пункт ФАГС) и Обнинск международной службы IGS (рис.2) из архива

SOPAC была загружена измерительная информация с этих пунктов на даты, совпадающие с временем спутниковых измерений

на пункте постоянных спутниковых наблюдений Горное, который непрерывно работал около двух месяцев.

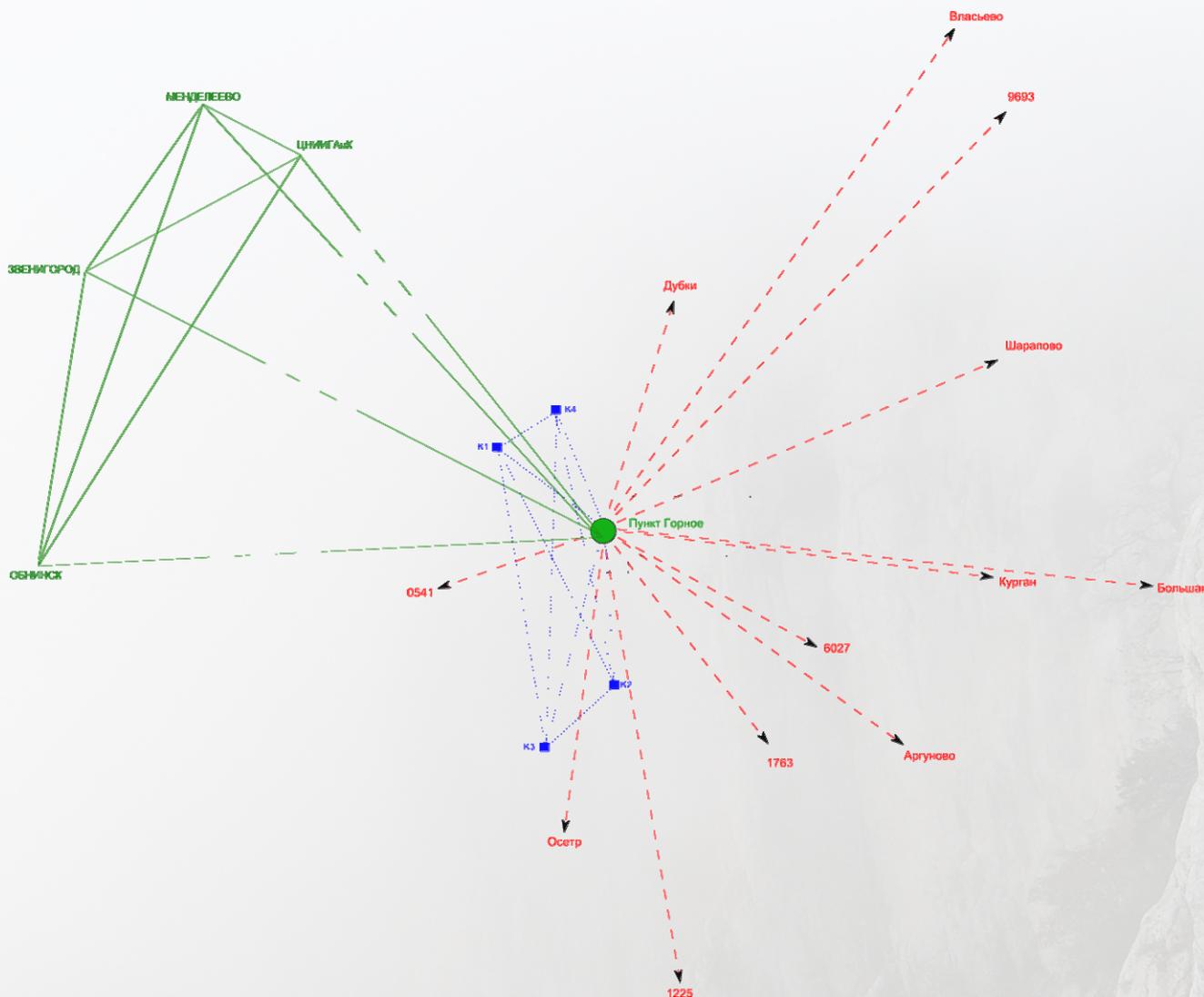


Рис.2. Схема определения координат базового пункта Горное относительно пунктов контрольной сети (синий цвет), геодезической сети НУБ «Горное» (красный цвет) и постоянно действующей сети международной службы IGS (зеленый цвет). На схеме длины базовых линий показаны условно, без соблюдения масштаба.

Обработка и уравнивание были выполнены независимо в двух программах обработки результатов спутниковых измерений: стандартной – TGO и программе обработки глобальных спутниковых сетей Bernese 5.9 Бернского астрономического университета.

В TGO, после обработки и отбраковки некачественных измерений, было выполнено уравнивание в двух вариантах: первый – свободная сеть (без фиксированных координат) и второй – с фиксированными координатами пунктов IGS (оба варианта были

ориентированы относительно пункта ЦНИИГАиК, для которого условно были приняты нулевые значения координат). Результаты уравнивания в обоих вариантах различались незначительно: по оси X разность составила 4 мм, по оси Y – 1 мм.

Обработка и уравнивание результатов спутниковых наблюдений пунктов IGS и «Горное» в программном продукте Bernese была выполнена в Геодезическом отделе ЦНИИГАиК.

Сравнение координат, полученных из обработки в разных программных продуктах

показавшее между ними минимальные расхождения, позволило сделать вывод о высоком качестве выполненных спутниковых измерений на базовом пункте Горное [1].

## 2.2. Инженерно-геодезическая сеть

В 2004 году на территории НУБ «Горное» под руководством проф. А.К. Зайцева и ст.преп. А.И.Кузнецова для проведения учебной практики по прикладной геодезии на местности была закреплена инженерно-геодезическая сеть (ИГС), представляющая собой треугольник с центральным пунктом (рис.3), каждая вершина которого закреплена на местности тремя залитыми в бетон металлическими центрами (круг, квадрат и крест), для обеспечения различных вариантов заданий студентам.

Координаты вершин, линейные и угловые элементы, а также превышения ИГС

были определены с помощью электронного тахеометра относительно пунктов геодезической сети НУБ «Горное».

В 2006 году ИГС была включена в проект спутниковых наблюдений научно-учебной базы, который предусматривал максимум возможных комбинаций пунктов, участвующих в сеансе, а также включение во все комбинации пункта «Дорога-квадрат», центр которого совмещен с пунктом триангуляции, включенным в фрагмент спутниковой сети. Кроме того, были предусмотрены синхронные наблюдения на всех центрах пункта Дорога с привязкой их к пункту «Горное».

Проведенные наблюдения, а также выполненные в последующие годы измерения ИГС электронными тахеометрами и спутниковыми приемниками показали высокую надежность заложенной сети.

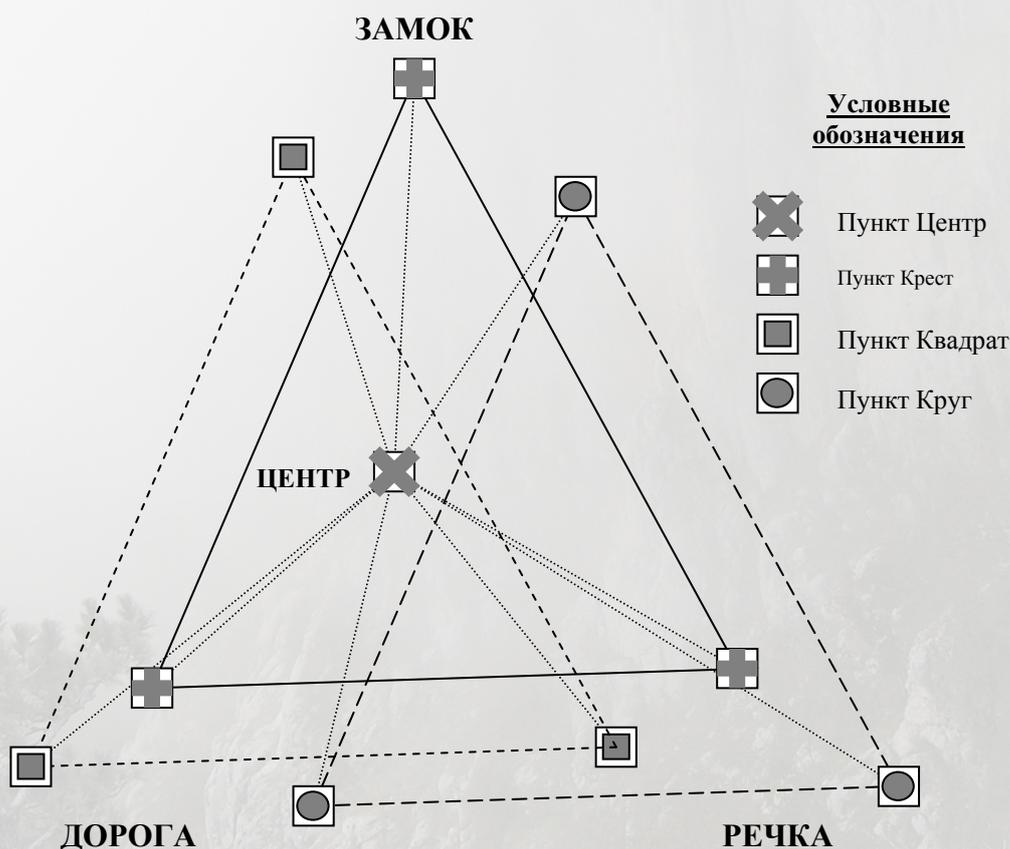


Рис.3. Инженерно-геодезическая сеть научно-учебной базы «Горное»

## 2.3. Спутниковые наблюдения геодезической сети НУБ «Горное»

В проект спутниковых измерений 2006-2007 годов [1] были включены все со-

хранившиеся пункты геодезической сети и новые пункты, в том числе базовый пункт «Горное», его контрольная сеть и ИГС (рис.4).

Измерения на пунктах геодезической сети проводились с учетом требований ЦНИИГАиК [9], [10] при постоянно включенном приемнике на базовом пункте «Гор-

ное». Обработка и уравнивание результатов спутниковых наблюдений геодезической сети были выполнены в TGO.

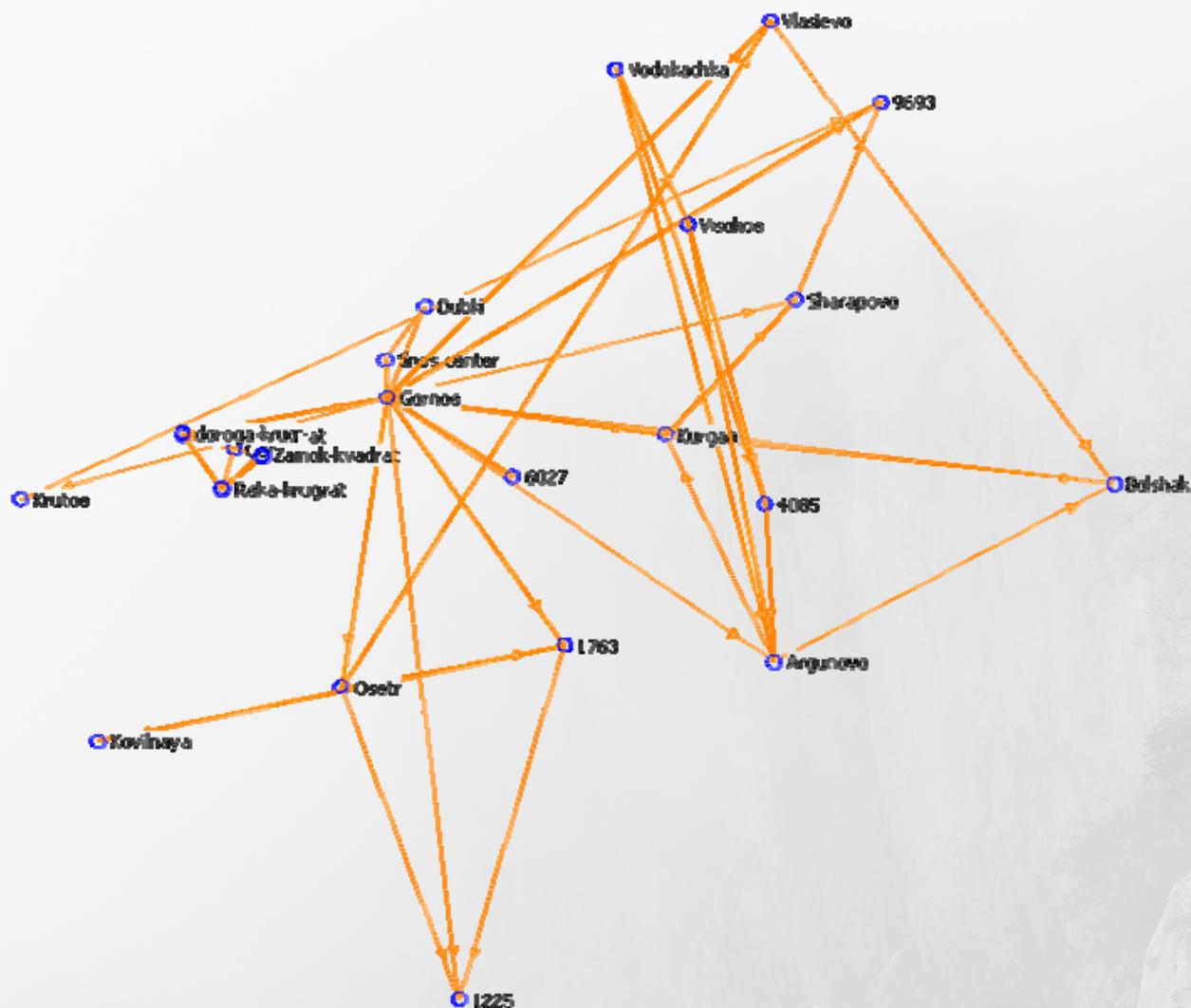


Рис.4. Спутниковая геодезическая сеть НУБ «Горное»

Уравнивание выполнили в двух вариантах: первый - как свободной сети и второй - относительно твердых пунктов Шарاپово, 9693, Большак и Курган (пункты на которых были выполнены самые продолжительные наблюдения).

После уравнивания было выполнено сравнение полученных координат с исходными (согласно каталогу координат 1963 года), результате чего были выявлены значительные расхождения (до 10 см), обусловленные (как в последствии выяснилось) некорректным трансформированием координат и произошедшими за период с момента

составления каталога деформациями земной поверхности (о чем сказано ниже).

Проект спутниковых наблюдений реализовался в течении 2006 и 2007 года, при этом были выполнены повторные измерения на одних и тех же пунктах, что позволило сравнить результаты измерений и проанализировать смещения центров пунктов за год. Максимальные расхождения составили 17 мм – по оси X; 15 мм – по оси Y и 23 мм – по высоте. Приведенные данные говорят о хорошей точности выполненных спутниковых измерений и достаточной стабильности центров пунктов геодезической сети научнo-учебной базы «Горное».

Все перечисленные построения составляют спутниковую геодезическую сеть НУБ «Горное», использование которого позволит на современном научно-техническом уровне проводить учебные и преддипломные практики, выполнять научные исследования и производственные работы.

#### 2.4. Гравиметрические измерения

Для дальнейших научных исследований на НУБ «Горное» были выполнены исследования и калибровка относительных гравиметров кафедры геодезии и геоинформатики ГУЗ. Для проведения исследований на правом берегу реки Осетр в твердых породах была закреплена экспериментальная гравиметрическая сеть в виде жестко закрепленных дюбелей в выходах известняка и асбестоцементных труб, зарытых в грунт.

Исследования предусматривали:

- Эталонирование гравиметра ГНУ-КС № 318 на экзаменаторе.
- Исследование правильности установки уровней гравиметра на экзаменаторе, определение продольного и поперечного наклонов для гравиметра ГНУ-К2 № 717.
- Гравиметрические измерения по способу прямого и обратного ходов на гравиметрической сети.

#### 3. Геологические исследования

Выявленные значительные расхождения в координатах пунктов, полученных из спутниковых наблюдений с каталожными значениями, навело на мысль о возможных смещениях пунктов вследствие развития экзогенных геологических процессов в пределах, которое обусловлено как факторами, сформированными в течение длительной геологической истории, так и современными техногенными факторами, связанными с деятельностью человека.

К геологическим факторам, определяющим развитие экзогенных геологических процессов на территории Московской области, относятся: наличие в геологическом разрезе растворимых пород, которое определяет развитие карста; наличие пластичных

глин разного возраста, определяющее развитие оползневых процессов.

Часть территории приурочена к воздымающимся неотектоническим блокам, что способствует интенсивному развитию эрозии, которая создает склоны и экспонирует глины, чем вызывает начало оползневых процессов. Размыв глинистых покровных отложений делает возможным проявление карстовых процессов на поверхности земли. Оползни приурочены к берегам рек и склонам овражно-балочной сети в местах выхода на поверхность глинистых отложений различного возраста.

Процесс карстообразования протекает в карбонатных каменноугольных породах. Карстовые и карстово-суффозионные формы проявляются на поверхности там где кровля юрских глин менее 10 м. Как правило, карстовые формы распространены по долинам рек, прорезающим глины юрского водоупора (приурочены к склонам речных долин и днищам балок, в пределах которых интенсивный водообмен способствует карстообразованию) [3].

На территории Зарайского района Московской области широко распространены современные экзогенные геологические процессы.

Наиболее развиты эрозионные, оползневые и карстовые процессы; заболачиваемость и подтопление выражены слабо.

Чрезвычайно подвержены деформированию склоны долины р. Осетр, например, у д. Трегубово протяженность оползня вдоль склона равна 700 м, у д. Овечкино - 350 м, а в окрестностях Б. Бельнички, М. Бельнички и Никитино она достигает километра. Оползневые процессы происходят и под Зарайском. В береговых обрывах нередко обнажается толща известняков и доломитов, местами выходят глины.

На территории района известны все формы карста, характерные для Русской платформы: воронки, западины, слепые овраги, карстовые поля и др. Факторами, контролирующими их распределение, служат тектонические и неотектонические условия, характер эрозионной деятельности и, в первую очередь, мощность и характер покровных отложений.

По данным дешифрирования выявлены проявления экзогенных геологических процессов, а именно, оползни, карстовые воронки, подмываемые участки склонов, растущие овраги.

Выявлено несколько активных неотектонических зон вблизи населенных пунктов, по которым возможно образование новых проявлений оползней и карста. Наибольший интерес представляют две зоны субширотного простирания, приуроченные к долинам оврагов.

Экзогенные геологические процессы на территории НУБ «Горное» приурочены к долине р.Осетр и овражным балкам, а форма речной долины и развитие оврагов контролируются неотектоническими процессами и системой дешифрируемых линеаментов.

На территорию НУБ «Горное» при активном участии начальника группы Геоцентра «Москва» Е.В.Алексеевой и научного сотрудника Геологического института РАН К.А.Докукиной были проведены структурно-морфологический анализ рельефа и дешифрирование аэрофотоснимков, в результате чего были построены геоморфологическая и неотектоническая карты, а также карта распространения проявлений экзогенных геологических процессов и условия их развития (рис.5) [3].

По результатам анализа результатов спутниковых измерений на пунктах геодезической сети научно-учебной базы за последние годы выделено две области: область опускания, приуроченная к левобережью р. Осетр и область поднятия, выраженная в виде трех куполовидных структур.

Из обработки спутниковых наблюдений было выявлено, что практически все геодезические пункты сместились в северном, восточном и северо-восточном направлениях, причем в некоторых случаях вектора смещения подчеркивают неотектонические структуры (линеаменты). Геодезические пункты, расположенные в долине реки Осетр смещаются преимущественно в восточном направлении, расстояния между ними уменьшаются, что свидетельствует о сужении долины, выраженном в ее углублении и увеличении крутизны склонов.

В районе пунктов Власьево, Шарапово, Дубки, Курган и Аргуново наблюдается расширение участков земной поверхности, выраженное разнонаправленностью векторов смещения названных пунктов и увеличением расстояния между ними. Данные участки в основном приурочены к водораздельным поверхностям.

По нашим предположениям, в случае, если геодезические пункты смещаются друг к другу или друг от друга (например, в районе пунктов Водокачка и Высокое), это может свидетельствовать об образовании в этих местах неотектонических нарушений.

Предварительный анализ смещений геодезических реперов показал их корреляцию с современной неотектонической структурой [3].

#### **4. Исследования движений и деформаций земной поверхности**

Для более детального исследования движений и деформаций, на 20-ти пунктах геодезической сети, расположенных на территориях подверженных геологическим процессам (по данным неотектонического картирования), в различных комбинациях были проведены статические спутниковые измерения [2].

Как уже говорилось, значительные смещения пунктов, полученные, как разность между уравненными координатами, полученными из спутниковых измерений 2006 года и данными каталога, обусловлены тем, что координаты пунктов в каталоге даны в местной условной системе, когда как в результате обработки спутниковых измерений, координаты тех же пунктов получены в системе WGS-84. При обработке GPS-измерений геодезическая сеть была сориентирована относительно пункта Шарапово, однако при этом невозможно учесть разнонаправленность осей систем координат и их разномасштабность. Для учета этих параметров было выполнено аффинное преобразование координат [2].

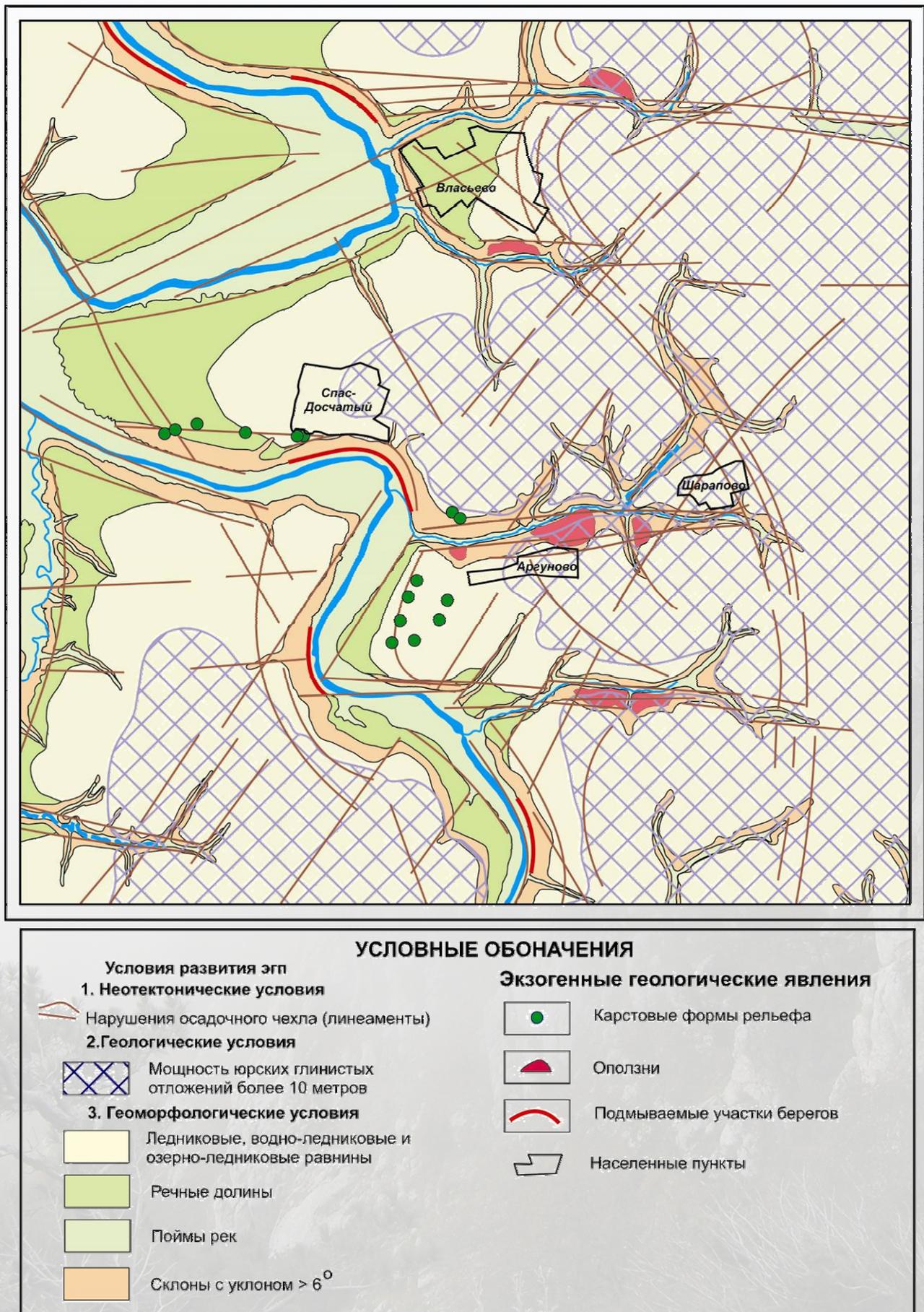


Рис.5. Карта распространения проявлений экзогенных геологических процессов и условия их развития

Для каждой точки были составлены два уравнения вида (1).

$$\begin{aligned} X_i &= a_0 + a_1 X_i' + a_2 Y_i' \\ Y_i &= b_0 + b_1 X_i' + b_2 Y_i', \end{aligned} \quad (1)$$

где  $X_i, Y_i$  – координаты пунктов в старой системе;  $X_i', Y_i'$  – координаты тех же пунктов в новой системе;  $a_0, b_0, a_1, b_1, a_2, b_2$  – коэффициенты перехода, учитывающие смещения начал систем координат, разворот их осей и разномасштабность вдоль координатных осей.

Для нахождения коэффициентов  $a_i, b_i$  необходимо как минимум три точки, не лежащие на одной прямой, с известными координатами в обеих системах. Для нахождения коэффициентов преобразования были использованы четыре пункта, выбранные по данным неотектонической карты, расположенные в местах, не подверженных сильным деформациям и образующие четырехугольники, стороны которых не пересекают линии тектонических разломов. Для выбора наиболее стабильной фигуры, между пунктами в обеих системах координат были вычислены горизонтальные проложения сторон и диагоналей четырехугольников. В результате был выбран четырехугольник, в котором расхождения между значениями сторон и диагоналей в двух системах, оказались наименьшими по сравнению с другими рассматриваемыми вариантами четырехугольников. Для выбранных пунктов составили система уравнений (1), которая была решена методом наименьших квадратов. В результате получены трансформированные координаты пунктов геодезической сети НУБ «Горное», которые были использованы для вычисления параметров горизонтальных деформаций.

Параметры движений пунктов геодезической сети получены следующим образом [11].

По формуле (2) вычислены разности длин базовых линий, оценка точности выполнена по формуле (3).

$$\Delta S_i = S_i^{T_2} - S_i^{T_1}, \quad (2)$$

$$m_{\Delta S_i} = \sqrt{m^2_{S_i^{T_2}} + m^2_{S_i^{T_1}}}, \quad (3)$$

где  $\Delta S_i$  – разности длин между эпохами  $T_1$  и  $T_2$ ;  $S_{ij}^{T_1}$  и  $S_{ij}^{T_2}$  – уравниваемые значения длин сторон соответственно в эпохи  $T_1$  и  $T_2$ ; где  $m^2_{S_i^{T_1}}$  и  $m^2_{S_i^{T_2}}$  – СКП измерения расстояния в эпохи  $T_1$  и  $T_2$ .

Вектор горизонтальных смещений определяется по формулам (4) и (5):

$$R_i = \sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2}, \quad (4)$$

$$\alpha_{Ri} = \arctg\left(\frac{\Delta y_i}{\Delta x_i}\right) \pm 180^\circ, \quad (5)$$

где  $R_i$  – длина вектора и  $\alpha_{Ri}$  – его дирекционный угол на  $i$ -м пункте;  $\Delta x_i = x_i^{(T_2)} - x_i^{(T_1)}$ ;  $\Delta y_i = y_i^{(T_2)} - y_i^{(T_1)}$  – разности уравниваемых координат между двумя сравниваемыми эпохами на  $i$ -м пункте сети.

Схема векторов смещений геодезических пунктов НУБ «Горное» приведена на рис.6.

Параметры деформаций были определены по формулам (6), представленным в [8] и преобразованным для использования результатов спутниковых наблюдений в [2]. Оценка точности выполнена по формулам (7).

$$\left. \begin{aligned} \gamma_1 &= (e_{AB})T_1 \cos(2\alpha_{CA} + C) + (e_{BC})T_2 \cos(2\alpha_{AB} + A) + (e_{CA})T_3 \cos(2\alpha_{BC} + B), \\ \gamma_2 &= -(e_{AB})T_1 \sin(2\alpha_{CA} + C) - (e_{BC})T_2 \sin(2\alpha_{AB} + A) - (e_{CA})T_3 \sin(2\alpha_{BC} + B), \\ \Delta &= (e_{AB})T_1 \cos C + (e_{BC})T_2 \cos A + (e_{CA})T_3 \cos B, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned} m_{\gamma_1} &= \mu \sqrt{T_1^2 \cos^2 2\alpha_C + T_2^2 \cos^2 2\alpha_A + T_3^2 \cos^2 2\alpha_B}, \\ m_{\gamma_2} &= \mu \sqrt{T_1^2 \sin^2 2\alpha_C + T_2^2 \sin^2 2\alpha_A + T_3^2 \sin^2 2\alpha_B}, \\ m_{\Delta} &= \mu \sqrt{T_1^2 \cos^2 C + T_2^2 \cos^2 A + T_3^2 \cos^2 B}, \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

где  $\gamma_1, \gamma_2$  – главные сдвиги,  $\Delta$  – дилатация (относительное изменения площади треугольника) – параметры горизонтальных деформаций;  $e_{ij} = \frac{S_{ij}^{t2} - S_{ij}^{t1}}{S_{ij}^{t1}}$  - относительные изменения длин сторон для каждого треугольника;

$T_1 = \frac{1}{\sin A \sin B}, T_2 = \frac{1}{\sin B \sin C}, T_3 = \frac{1}{\sin C \sin A}$ ;  
 $\alpha_{AB}, \alpha_{BC}, \alpha_{CA}$  - дирекционные углы сторон треугольника; А, В, С - углы треугольника.  
 Результаты определения горизонтальных деформаций даны на рис.7-8.

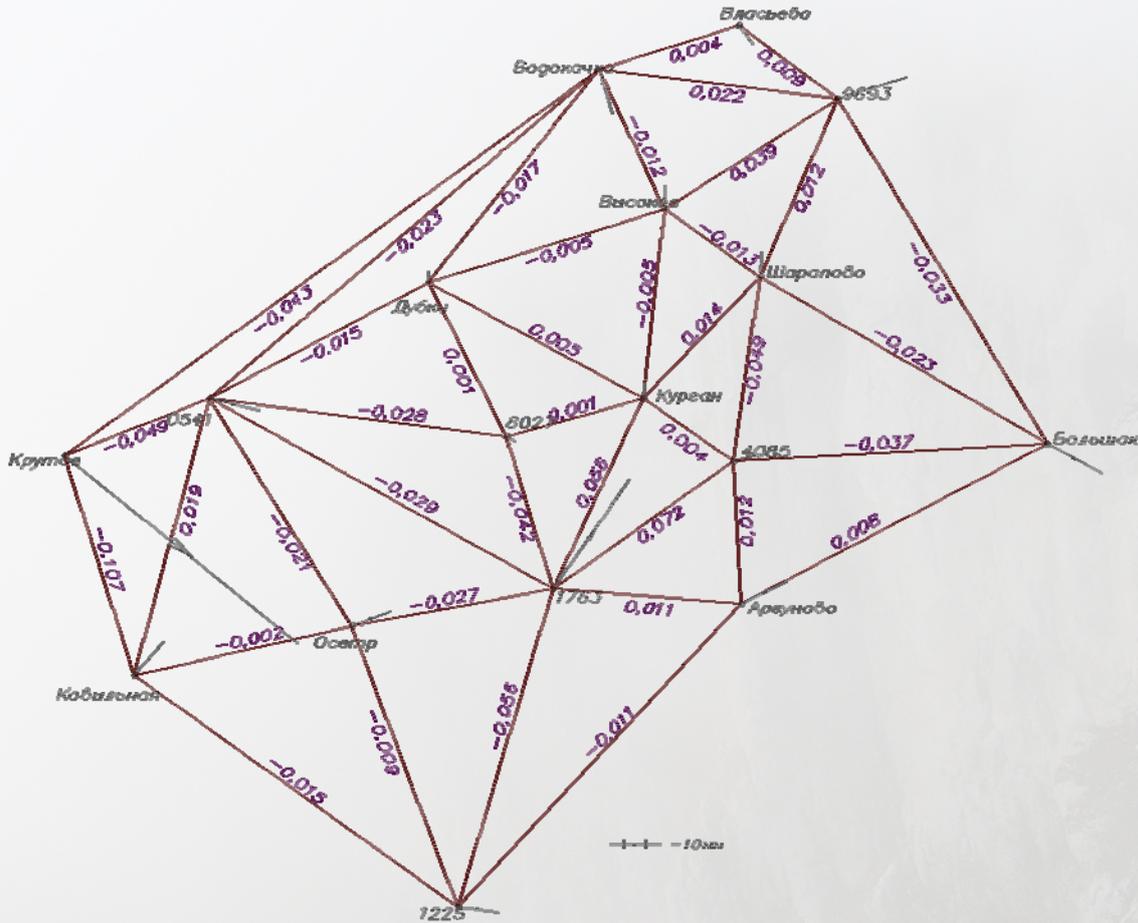


Рис.6. Схема векторов смещения пунктов спутниковой сети и разностей длин линий между циклами измерений

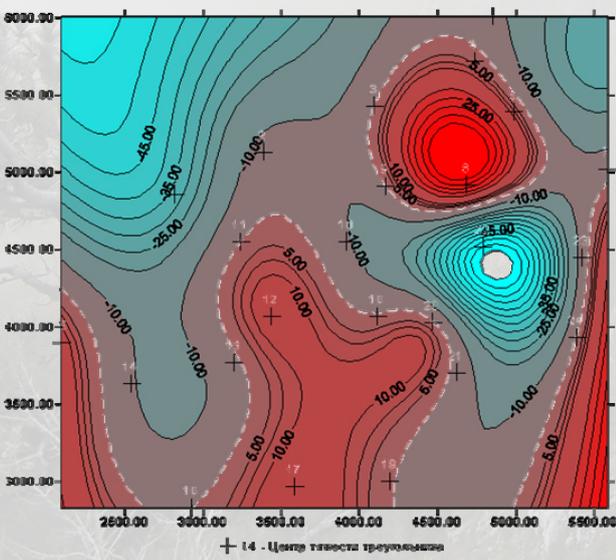


Рис.7. Схема сети с изолиниями дилатации ( $\cdot 10^{-5}$ )

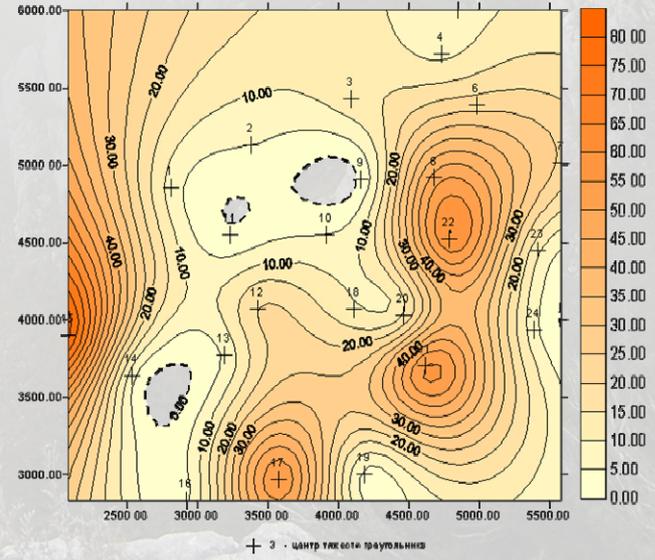


Рис.8. Схема аномальных сдвиговых деформаций

Вертикальные смещения пунктов геодезической сети по результатам проведенных измерений в данном случае можно оценить лишь примерно, выявив общую тенденцию направленности их векторов. Это обусловлено тем, что вертикальные компоненты в сравниваемых циклах представлены в разных системах высот, и для точного их сравнения необходимо учитывать данные гравиметрических съемок и карт высот квазигеоида на данную территорию. Предвари-

тельная оценка выполнена по следующей схеме: в обеих системах были вычислены средние уровенные поверхности (средние арифметические значения из всех значений высот в каждом цикле). Затем относительно этих величины были вычислены отклонения значений высот пунктов в обеих системах [2]. Схема вертикальных смещений дана на рис.9.



Рис. 9. Схема вертикальных смещений пунктов геодезической сети

### 5. Обновление каталога высот

В 2010-2011 году под руководством ст.преп. кафедры геодезии и геоинформатики А.И.Кузнецова были выполнены работы по нивелированию II класса геодезической высотной сети НУБ «Горное», в результате чего был составлен обновленный каталог высот пунктов.

### Выводы

Таким образом, рассмотрев основные результаты исследований на НУБ «Горное» можно сделать следующие выводы, предложения и рекомендации:

1. Геодезическая сеть требует постоянного мониторинга за своим состоянием, необходимо восстановить утраченные пункты

и заложить новые центры с учетом современных образовательных программ для проведения практик на высоком научно-техническом уровне.

2. Практику по линейно-угловой сети следует их блока «Высшая геодезия» передать в блок «Прикладная геодезия». На практике по высшей геодезии следует выполнять работы по созданию фрагментов государственной геодезической сети спутниковыми методами.
2. Необходимо ежегодно проводить спутниковые наблюдения на пунктах геодезической сети в целях контроля их стабильности.
3. Рекомендуются выполнить сравнение параметров движений и деформаций, определенных по рассмотренной методике и по методике, разработанной в [4], [5], [6].
4. Рекомендуются использовать созданную экспериментальную гравиметрическую сеть для проведения практики по геодезической гравиметрии.
5. В связи с наличием в сети НУБ «Горное» большого количества треугольников, интересно было бы проверить влияние их формы на точность определения деформаций по методике [7].

### Литература

1. Докукин П.А., Змызгов А.А. Создание и развитие спутниковой сети научно-учебной базы «Горное» Государственного университета по землеустройству // *Землеустройство, кадастр и мониторинг земель.* – 2009 - №9. -
2. Докукин П.А., Змызгов А.А., Алексеева Е.В. Исследование геодинамических процессов по спутниковым измерениям в локальной геодезической сети // *Землеустройство, кадастр и мониторинг земель.* – 2009. - №12. -
3. Докукин П.А., Докукина К.А. Мониторинг современных экзогенных геологических процессов с использованием геологических и геодезических методов на примере территории научно-учебной базы «Горное» (Зарайский район Московской области). Изменяющаяся геологическая среда: пространственные взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов: *Материалы Международной конференции.* Том 1: г. Казань; 13-16 ноября, 2007 г. / Сост. Н.Н.Равилова. – Казань: Изд-во Казанск. Гос. Ун-та, 2007. – 31-35 с.
4. Докукин П.А., Кафтан В.И. Непрерывные GPS/ГЛОНАСС измерения коротких базовых линий с целью выявления предвестников сильных землетрясений // *Геодезия и картография.* – 2006 - №2. – 7-10 с.
5. Кафтан В.И., Докукин П.А. Определение смещений и деформаций по данным спутниковых геодезических измерений // *Геодезия и картография.* – 2007 - №9. – 18-22 с.
6. Докукин П.А. Разработка методик анализа движений и деформаций по спутниковым наблюдениям в локальных геодезических сетях. Автореферат кандидатской диссертации. – М.: ГУЗ, 2008
7. Докукин П.А., Кафтан В.И., Красноперов Р.И. Влияние формы треугольников СРНС сети на определение деформаций земной поверхности // *Известия ВУЗов. Геодезия и аэросъемка.* – 2010. - №5 – с.6-11
8. Геодезические методы изучения деформаций земной коры на геодинамических полигонах, М.: ЦНИИГАиК, 1985
9. Временное руководство по обработке спутниковых наблюдений при построении основных геодезических сетей (проект), М, ЦНИИГАиК, 2001 г.
10. Инструкция по построению государственной геодезической спутниковой сети (проект), М, ЦНИИГАиК, 2000 г.
11. Шароглазова Г.А. Применение геодезических методов в геодинамике. Учеб. Пособие. – Новополюк: ПГУ, 2002. – 192 с.

(с) Докукин П.А., 2011