

ПРАВИТЕЛЬСТВО РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН
МИНИСТЕРСТВО ЗЕМЕЛЬНЫХ И ИМУЩЕСТВЕННЫХ ОТНОШЕНИЙ РТ
ГБУ «ФОНД ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН»
ФГАОУ ВО «КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**XIV Международная
научно-практическая конференция
«АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ГЕОДЕЗИИ
И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ»**

26 августа – 27 августа 2025 года

Программа, тезисы и доклады



**Татарстанский
нефтегазохимический форум**

посвященный 75-летию образования ПАО «Татнефть» им. В.Д.Шашина



СИБУР

КАЗАНЬОРГСИНТЕЗ

НИЖНЕКАМСКНЕФТЕХИМ

АО «Нефтеконсорциум МНК»



Казань

2025



Kazan
Expo

26 августа – 27 августа 2025 года
ПРОГРАММА



Татарстанский нефтегазохимический форум

ПАРТНЕРЫ ФОРУМА



АО «Нефтеконсорциум МНК»



26 августа, вторник

08:00-18:00	Время работы выставки для посетителей	МВЦ «Казань Экспо» РТ, Лайшевский район, с. Большие Кабаны, ул. Выставочная, 1 Галерея, павильон №2
08:00-08:30	ТОРЖЕСТВЕННОЕ ОТКРЫТИЕ ТАТАРСТАНСКОГО НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКОГО ФОРУМА-2025	Павильон №2, зона открытия
08:00-16:00	Регистрация участников: XIV Международная научно-практическая конференция «Актуальные вопросы геодезии и геоинформационных систем»	Галерея, Стойка регистрации №1 (павильон №1)
14:00-14:15	Приветственное слово: Лунегов Дмитрий Алексеевич – директор ГБУ «Фонд пространственных данных Республики Татарстан», Кадыров Азат Рифгатович – министр земельных и имущественных отношений Республики Татарстан, Утенкова Алина Геннадьевна – заместитель министра земельных и имущественных отношений Республики Мордовии, Егоров Артур Егорович – и.о. директора филиала ППК «Роскадастр» по Республике Татарстан, Безменов Владимир Михайлович – заведующий кафедрой астрономии и космической геодезии Института физики Казанского федерального университета.	Зал 9 (305-308), 2 этаж
14:15-14:30	«ЭКОСИСТЕМЫ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ» Утенкова Алина Геннадьевна – заместитель министра земельных и имущественных отношений Республики Мордовия.	

14:30-14:45	<p>«РЕГИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ НАРУШЕНИЙ ЗЕМЕЛЬНОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА И СИСТЕМА ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЦЕДУР ПО УВЕЛИЧЕНИЮ ИМУЩЕСТВЕННЫХ НАЛОГОВЫХ И НЕ НАЛОГОВЫХ ДОХОДОВ»</p> <p>Макарова Светлана Николаевна – заместитель генерального директора, КП НО «Регнедвижимость».</p>	
14:45-15:00 ВКС	<p>«НАЦИОНАЛЬНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ: НОВЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ»</p> <p>Исабеков Нарынбек Дюшекеевич – заместитель директора, Государственное учреждение по геодезии и картографии "Госкартография" при Государственном агентстве по земельным ресурсам, кадастру геодезии и картографии при Кабинете Министров Кыргызской Республики.</p>	
15:00-15:15 ВКС	<p>«ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ И ПЕРЕУРАВНИВАНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПОСЛЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ»</p> <p>Вдовин Владимир Степанович – главный специалист, Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН.</p>	
15:15-15:30	<p>«О ПРОБЛЕМАХ ВЕДЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ФОНДОВ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ В ВЕКТОРНОМ ВИДЕ»</p> <p>Дяков Александр Иванович – директор ГБУ Новосибирской области «Фонд пространственных данных Новосибирской области».</p>	
15:30-15:45	Перерыв	
15:45-16:00 ВКС	<p>«ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭТАЛОННОГО ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛИГОНА «ЛОГОЙСКИЙ» И ЦИФРОВОЙ СЕТИ КОНТРОЛЬНЫХ КОНТУРОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ»</p> <p>Мицевич Людмила Александровна – начальник отдела фотограмметрических работ Топографо-геодезического республиканского унитарного предприятия «Белгеодезия».</p>	
16:00-16:15	<p>«ГЕОПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОТРАСЛЬ В ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ РОССИИ»</p> <p>Алябьев Александр Александрович – председатель правления Уральского регионального отделения Межрегиональной общественной организации «Российское общество геодезии, картографии и землеустройства».</p>	
16:15-16:30	<p>«СОЗДАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ НА ПРИМЕРЕ ПАО «ТАТНЕФТЬ»</p> <p>Гилаев Дамир Мунзилович – начальник отдела топографо-геодезических и маркшейдерских работ, заместитель начальника УТГИМР СП «Татнефть-Добыча» ПАО «Татнефть», ПАО «Татнефть» им В.Д. Шашина.</p>	
16:30-16:45	<p>«РАЗВИТИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИ НЕЗАВИСИМЫХ ПЛАТФОРМАХ»</p> <p>Черненко Антон Аркадьевич – заместитель начальника отдела комплексных проектов АО «НИИМА «Прогресс».</p>	
16:45-17:00	Подведение итогов конференции и обсуждение докладов.	

27 августа, среда

09:00-09:10	Приветственное слово Безменов Владимир Михайлович – заведующий кафедрой астрономии и космической геодезии Института физики Казанского федерального университета Бахматов Сергей Юрьевич – первый заместитель директора ГБУ «Фонд пространственных данных Республики Татарстан»	Научно-образовательный центр «Геодезия», ул. Зелёная, д.2
09:10-09:25	«ОБЗОР АКТУАЛЬНОЙ ЛИНЕЙКИ ОБОРУДОВАНИЯ ЕFT ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛОВ В ОБЛАСТИ ГЕОДЕЗИИ И МАРКШЕЙДЕРИИ» Равер Алексей Львович – заместитель генерального директора ООО «EFT GROUP».	
09:25-09:40	«ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ ЗАДАЧ: МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ И ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН» Палкин Павел Олегович – руководитель отдела мониторинга АО «ПРИН», старший преподаватель Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета.	
09:40-09:55	«ВОЗДУШНОЕ ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ И SLAM-ТЕХНОЛОГИИ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ ДОСТУПНОСТИ ПРИ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЯХ» Садыков Марат Рустемович – инженер-геодезист АО «ПРИН».	
09:55-10:10	«ОПЫТ И НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ГНСС ПРИЕМНИКОВ С ЛАЗЕРНЫМ ДАЛЬНОМЕРОМ» Кукушкин Дмитрий Александрович – коммерческий директор ООО «ГЕОСТРОЙИЗЫСКАНИЯ».	
10:10-10:25	«ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В СОЗДАНИИ И МОНИТОРИНГЕ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ» Кобзев Антон Александрович – заместитель директора по стратегическому развитию АО «Урало-Сибирская Гео-Информационная Компания».	
10:25-11:30	Демонстрация полевого оборудования.	
11:30-13:00	Перерыв	
13:00-13:15	«СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ГЕОДЕЗИИ И ГЕОИНФОРМАТИКИ В ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ» Метелкин Петр Валерьевич – директор Центра стратегического анализа ФГУП «ЗащитаИнфоТранс».	
13:15-13:30	«ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ В РАМКАХ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО РАЗРАБОТКЕ И ПРИМЕНЕНИЮ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В РОССИЙСКОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ МИРЭА (РТУ МИРЭА)» Двилянский Алексей Аркадьевич – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой ГИС ИРИ в «МИРЭА – Российском технологическом университете».	

13:30-13:45	«СОЗДАНИЕ БАНКА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ ДЛЯ НУЖД СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ» Коробкова Наталья Михайловна – начальник отдела ведения РФПД ГБУ СО «Оператор электронного правительства».	
13:45-14:00	«О МЕТОДАХ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ПРИВЯЗКИ СНИМКОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА» Шаймухаметов Рамиль Рашитович – доцент КФУ.	
14:00-14:15	«МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА ГЕОДИНАМИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ ПАО «ТАТНЕФТЬ» В НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ РАЙОНАХ ТАТАРСТАНА» Загретдинов Ренат Вагизович – доцент, к.н., КФУ.	
14:15-14:30	«ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВОЙ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОДЗЕМНОГО ГАЗОНЕФТЕПРОВОДА ДЛЯ КИНЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИЗМЕНЕНИЙ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ» Сильвестров Степан Аверкиевич – директор ООО «Астрапроект», эксперт по промышленной безопасности.	
14:30-14:45	«МОНИТОРИНГ СМЕЩЕНИЙ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ РАДАРНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ» Булатова Луиза Ирековна – инженер-геодезист II категории ООО «Эридан».	
14:45-15:00	«УПРАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИЕЙ ОБ ОБЪЕКТАХ ГАЗИФИКАЦИИ РЕГИОНА НА БАЗЕ ГИСОГД» Вильданова Рузиля Ильясовна – аналитик ООО «ГИСГИС».	
15:00-15:15	«АНАЛИЗ ОНЛАЙН-СЕРВИСОВ ОБРАБОТКИ АРХИВНЫХ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ» Борисов Леонид Тимурович – магистр 1 г. о., КФУ.	
15:15-15:30	«СОВРЕМЕННЫЙ ВЗГЛЯД НА ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ 1890, 1891, 1904, 1908 ГОДОВ ГОРОДА КАЗАНИ» Тохтаров Реналь Радикович – студент КФУ.	
15:30-17:00	Подведение итогов конференции, обсуждение докладов.	

СОДЕРЖАНИЕ

Вдовин В.С.

**ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ И ПЕРЕУРАВНИВАНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ
ПОСЛЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**

8

Дяков А.И.

**О ПРОБЛЕМАХ ВЕДЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ФОНДОВ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ
ДАННЫХ В ВЕКТОРНОМ ВИДЕ**

16

Гилаев Д.М.

**СОЗДАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ НА
ПРИМЕРЕ ПАО «ТАТНЕФТЬ»**

22

Черненко А.А.

**РАЗВИТИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НА
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИ НЕЗАВИСИМЫХ ПЛАТФОРМАХ**

29

Садыков М.Р., Смирнов И.И.

**ВОЗДУШНОЕ ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ И SLAM-ТЕХНОЛОГИИ В СЛОЖНЫХ
УСЛОВИЯХ ДОСТУПНОСТИ ПРИ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЯХ**

33

Метелкин П.В.

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ГЕОДЕЗИИ И ГЕОИНФОРМАТИКИ В
ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ**

38

Двилянский А.А.

**ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ В
РАМКАХ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО РАЗРАБОТКЕ И ПРИМЕНЕНИЮ
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В РТУ МИРЭА**

40

Коробкова Н.М..

**СОЗДАНИЕ БАНКА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ ДЛЯ НУЖД
СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

44

Михайлов В.Ю., Промптов И.А., Пшеничный П.В., Тагиров Р.Р., Шаймухаметов Р.Р

**О МЕТОДАХ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ПРИВЯЗКИ СНИМКОВ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО
ИНТЕЛЛЕКТА**

49

Сахаутдинов Р.В., Гилаев Д.М., Кузьмин Ю.О., Загретдинов Р.В., Рахматуллин М.Х.,
Загретдинов А.А., Комаров Р.В., Бахтиаров В.Ф.

**МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА
ГЕОДИНАМИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ ПАО «ТАТНЕФТЬ» В НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ
РАЙОНАХ ТАТАРСТАНА**

54

Сильвестров С.А., Комаров Р.В., Шаймухаметов Р.Р.

**ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВОЙ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ПОДЗЕМНОГО ГАЗОНЕФТЕПРОВОДА ДЛЯ КИНЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ИЗМЕНЕНИЙ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ**

55

Булатова Л.И., Назаров Р.Р.

**МОНИТОРИНГ СМЕЩЕНИЙ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ
РАДАРНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ**

59

Вильданова Р.И., Тереньтева Ю.Е.

**УПРАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИЕЙ ОБ ОБЪЕКТАХ ГАЗИФИКАЦИИ РЕГИОНА НА
БАЗЕ ГИСОГД**

65

Борисов Л.Т., Загретдинов Р.В.

**АНАЛИЗ ОНЛАЙН-СЕРВИСОВ ОБРАБОТКИ АРХИВНЫХ СПУТНИКОВЫХ
ИЗМЕРЕНИЙ**

68

Тохтаров Р.Р., Носкова А.П., Загретдинов Р.В.

**СОВРЕМЕННЫЙ ВЗГЛЯД НА ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ 1890, 1891,
1904, 1908 ГОДОВ ГОРОДА КАЗАНИ**

75

Шашубай Н.Ш.

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИНТЕГРАЦИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СФЕРУ
ГЕОДЕЗИИ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

91

Тухтамешов Ф.Г., Фазилова Д.Ш., Магдиев Х.Н.

**АНАЛИЗ ОСЕДАНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ НА ОСНОВЕ GNSS-ДАННЫХ И
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РАЙОНАХ ТЕХНОГЕННОГО
ВОЗДЕЙСТВИЯ**

98

Фазилова Д.Ш., Эргешов И.М., Магдиев Х.Н., Халимов Б.Т.

**ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ СДВИГА ЗЕМНОЙ КОРЫ В ТАШКЕНТСКОМ РЕГИОНЕ
НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ПОСТОЯННЫХ ГНСС-СТАНЦИЙ**

102

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ И ПЕРЕУРАВНИВАНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПОСЛЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Вдовин В.С.

Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН

Ключевые слова: геодезическая сеть, землетрясение, переуравнивание, ГНСС, СПЦ.

Аннотация. В статье рассмотрена проблема оценки состояния и переуравнивания геодезических сетей после землетрясений. Особый акцент сделан на сборе и обработке наблюдений глобальных навигационных спутниковых систем в системах предупреждения о цунами.

Введение

Оценка состояния и переуравнивание геодезических сетей после землетрясений - критически важная задача для проведения постсобытийного геодинамического мониторинга (мониторинга движений земной коры - ДЗК) в рамках фундаментальных¹ и прикладных² геодинамических исследований, обеспечения поддержания (восстановления) точности пространственных данных, и в конечном счёте, восстановления геодезической инфраструктуры региона, попавшего в зону землетрясения.

Мировой опыт показывает необходимость комплексного подхода, сочетающего современные технологии и классические методы.

В исследовании рассмотрены современные методы и технологии сбора первичных измерительных данных глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) с акцентом на проблемы точных и достоверных геодезических вычислений в глобальной отсчётной основе ITRF.

Особый акцент сделан на технологии сбора и обработки ГНСС-наблюдений в системах предупреждения о цунами (СПЦ), ключевым элементом которой является т.н. мгновенное (быстрое) уравнивание сети постоянно действующих базовых станций (ПДБС), англ. Continuously Operating Reference Stations (CORS).

I. Предварительный анализ и планирование

Предварительный анализ и планирование включают:

1. **Камеральный сбор наземных данных:** Изучение предсейсмического состояния сети (координаты геодезических пунктов, точность, класс) эпицентральной области, магнитуды предполагаемой зоны деформаций.

2. **Сбор данных ДЗЗ:** Анализ спутниковых снимков (оптических, радиолокационных) для выявления крупных смещений ландшафта, оползней, разрушений инфраструктуры, которые могут указывать на повреждение пунктов.

3. **Полевые обследования:** Визуальный осмотр пунктов геодезической сети

¹ **Фундаментальные геодинамические исследования** - изучение геодинамических процессов, происходящих в земной коре, мантии и ядре, и причин таких движений и деформаций. Такие исследования синтезируют данные геологических наук, геофизики и геохимии, а также геодезии (форма геоида).

² **Прикладные геодинамические исследования** - изучение геодинамических процессов, направленное на решение практических задач в различных областях науки и практики. Такие исследования могут быть связаны с изучением геодинамических активных зон, их влияния на природно-геологическую среду и человека.

(геодезических знаков, центров) на предмет разрушений (трещины, сдвиги фундаментов, обрушения сигналов), доступности, стабильности грунта вокруг.

4. **Приоритизация:** Определение ключевых геодезических пунктов (особенно фундаментальных), критически важных для восстановления геодезической инфраструктуры.

II. Измерения для оценки смещений

Для оценки смещений используются:

1. ГНСС-измерения (GPS/ГЛОНАСС/Galileo/Beidou)

1.1. **Быстрое развертывание:** Установка временных или использование существующих ПДБС.

1.2. **Повторные наблюдения:** Измерение координат сохранившихся пунктов сети относительно стабильных станций за пределами зоны деформации в Международной земной отсчетной основе (ITRF). Сравнение с координатами до землетрясения.

1.3. **Выявление векторов смещений:** Расчет горизонтальных (в плане) и вертикальных смещений пунктов.

2. Анализ спутниковой радиолокационной интерферометрии (InSAR³):

2.1. **Картирование деформаций:** Получение карт когерентности и полей смещений земной поверхности (в т.ч. по линии визирования спутника) с сантиметровой/миллиметровой точностью на больших площадях.

2.2. **Выявление зон наибольших деформаций:** Локализация зон, где пункты сети с наибольшей вероятностью смещены или разрушены, и направление туда полевых бригад для обследования.

Примечание к пункту 2: Анализ использования российской группировки радиолокационных КА «Кондор-ФКА» для решения задач постсейсмического анализа не проводился.

3. **Наблюдения традиционными методами** (дополнительно, там, где ГНСС-съёмка затруднена): Повторные измерения углов и расстояний на сохранившихся пунктах (теодолиты, тахеометры, светодальномеры) для выявления локальных деформаций.

III. Переуравнивание геодезических сетей

Цель: Получение новых, согласованных с ITRF, координат пунктов в изменившейся геодинамической обстановке.

1. Стратегии переуравнивания

1.1. Уравнивание «с нуля» (Free Network Adjustment)

Применяется, когда сейсмические деформации настолько велики, что вся опора, существовавшая до землетрясения, утратила свою стабильность в пределах сети.

Уравнивание проводится в ITRF без фиксации координат в зоне землетрясения до землетрясения.

1.2. Уравнивание с частичной фиксацией

Используется, когда часть пунктов (обычно на периферии зоны деформации) признана стабильной или ее смещение оценено как незначительное (например, по данным InSAR или ГНСС). Эти пункты принимаются за опорные и фиксируются с их координатами до

³ InSAR - Interferometric Synthetic Aperture Radar, радиолокационный метод спутниковой радиолокационной интерферометрии. Используется в геодезии и дистанционном зондировании Земли для создания карт деформации поверхности. Примеры: Sentinel-1 (European Space Agency - EKA), TerraSAR-X (German Aerospace Center - DLR), EADS Astrium, COSMOSkyMed (Italian Space Agency - ASI), ALOS PALSAR (JAXA).

землетрясения (или с поправками) при уравнивании остальной части сети.

Требует тщательного анализа стабильности опорных пунктов.

2. Включение данных о деформациях

Данные InSAR и плотные ГНСС-наблюдения могут использоваться как дополнительные наблюдения в процессе уравнивания, помогая получить более надежную и детальную картину деформаций всей сети.

3. Пример уравнивания «с нуля» в зоне Камчатского землетрясения (30.07.2025, Mw8.8)

Для оценки ДЗК в зоне Камчатского землетрясения магнитудой Mw8.8, произошедшего 30.07.2025, через неделю после землетрясения была построена оценочная геодинамическая сеть (рис.1), собраны из доступных источников данные входящих в неё ПДБС (опорных BADG, YONS, UTQI из сети IGS за пределами зоны землетрясения и определяемых ELIZ, PEMK, SKCH, PRVM, SVK1, KLCH, PPKK, YSSK, PETS в зоне землетрясения) и проведено их уравнивание в ITRF с использованием программы МИГ ИТПЗ РАН [1].

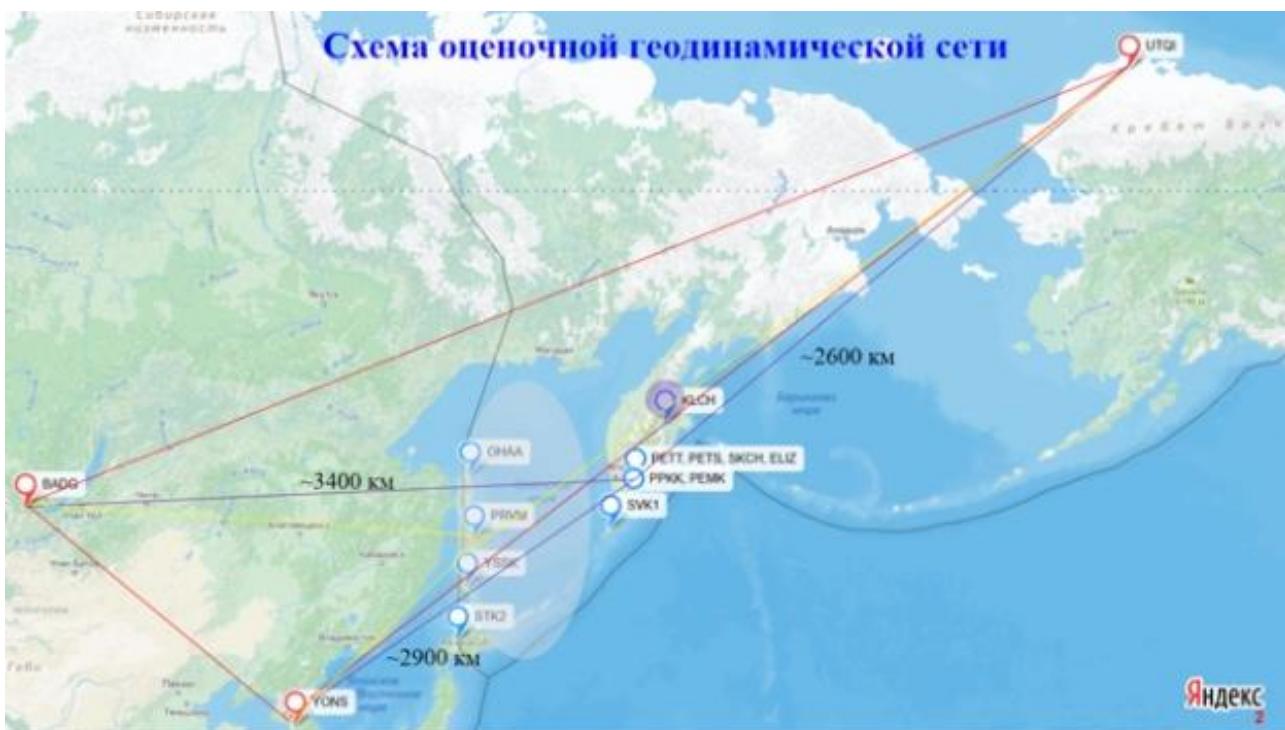


Рис. 1. Схема оценочной геодинамической сети

Уравнивание показало, что смещения определяемых станций в зоне землетрясения (кроме KLCH) через сутки после землетрясения по широте со сдвигом на юг находятся в интервале (0.425-0.866) м, по долготе со сдвигом на восток – в интервале (0.314-1.480) м, по высоте со сдвигом вниз – в интервале (0.028-0.142) м, что совпадает с общей картиной землетрясения.

IV. Особенности сбора и обработки ГНСС-наблюдений в системах предупреждения о цунами

1. Международные и национальные СПЦ

Международные (под эгидой ЮНЕСКО) и в ряде стран национальные СПЦ начали создаваться в 60-е годы XX века и стремительно развиваются после самого катастрофического в современной истории мегаземлетрясения магнитудой Mw9.3, произошедшего в 2004 г. в

Индийском океане, которое вызвало разрушительное цунами, достигшее берегов Индонезии, Шри-Ланки, юга Индии, Таиланда и некоторых других стран, приведшее к масштабным разрушениям и гибели от 225 тысяч до 300 тысяч человек.

Всего под эгидой ЮНЕСКО функционирует 4 региональные СПЦ, а именно, Тихоокеанская система предупреждения о цунами (PTWS); Система предупреждения о цунами в Индийском океане (IOTWMS); Система предупреждения о цунами и смягчения их последствий в Северо-Восточной Атлантике, Средиземном и связанных с ним морях (NEAMTWS); Система предупреждения о цунами в Карибском море и примыкающих регионах (CARIBE EWS). СПЦ PTWS создана в 1960 г. после цунами в Чили в 1960 году, три остальные СПЦ – после упомянутого цунами в Индийском океане.

Национальные СПЦ имеют США, Япония, Китай, Россия и многие другие страны, берега которых омываются открытыми (океаническими) морями.

В качестве примера на рис.2 показаны результаты работы СПЦ NOAA США (National Oceanic and Atmospheric Administration, Национальное управление океанических и атмосферных исследований) по мониторингу цунами, вызванного недавним упомянутым выше мегаземлетрясением на Камчатке [2]. По оценке [2], через двадцать шесть минут после основного толчка волны цунами, распространяющиеся от эпицентра со скоростью более 700 км/час, достигли первого буя DART (Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis, Глубоководная система оценки и регистрации цунами) СПЦ - буя, закреплённого над датчиком давления на дне океана, который является частью сети NDBC (National Data Buoy Center, Национальный центр обработки данных)

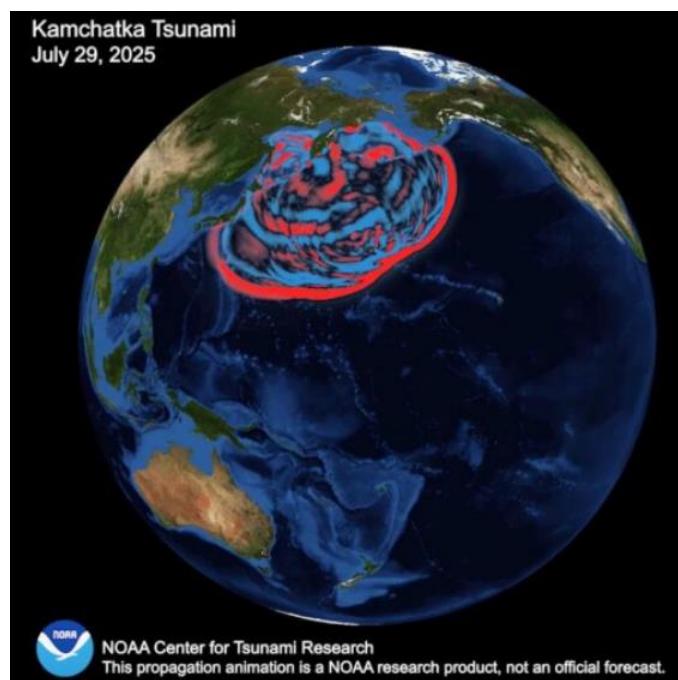
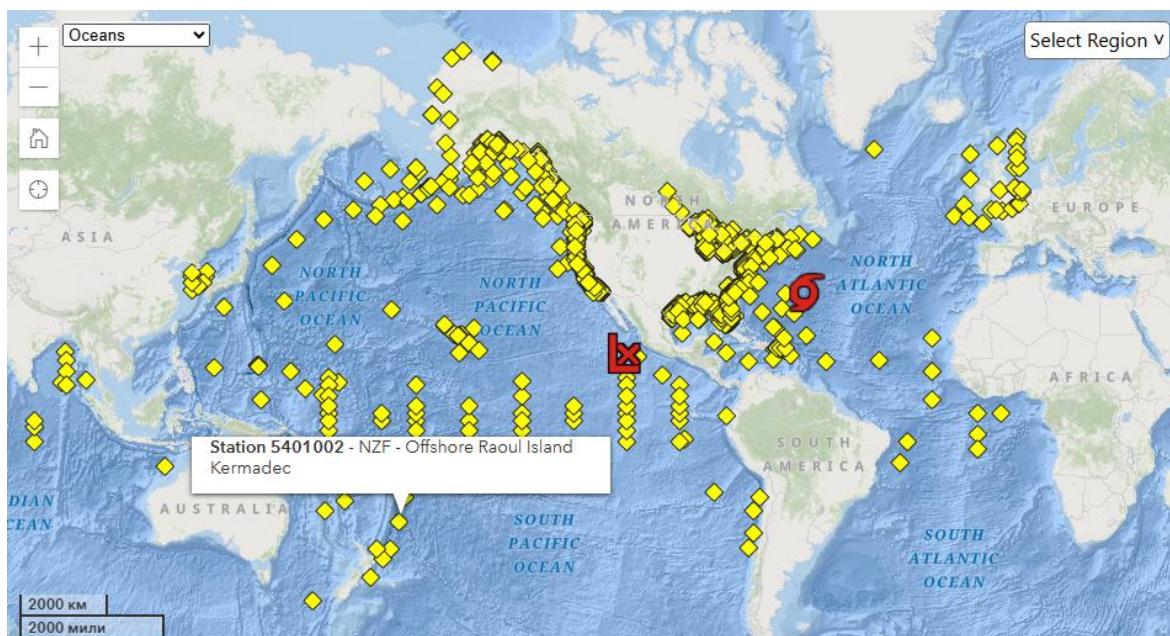


Рис. 2. Смоделированное распространение волны цунами, вызванной мегаземлетрясением магнитудой 8,8 у побережья Камчатки, Россия, 29 июля 2025 года

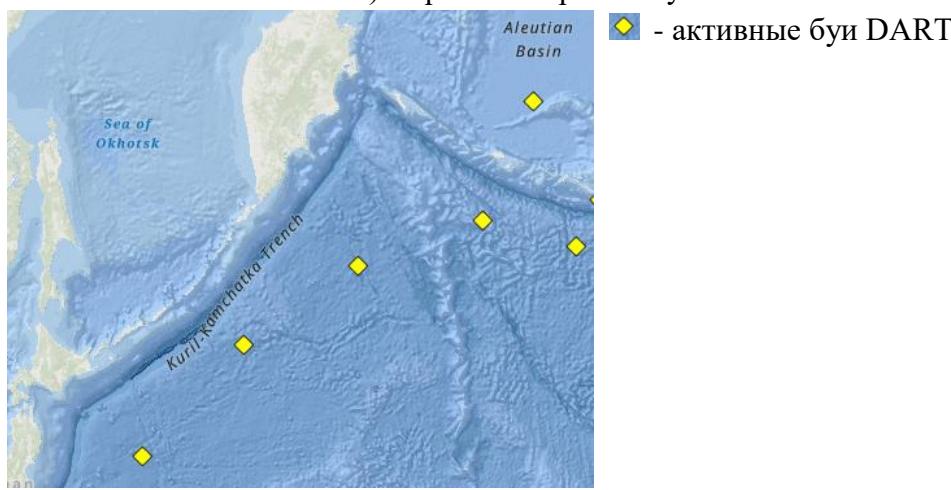
Национальной метеорологической службы (National Weather Service, NWS) NOAA [3] (рис.3). Самая сильная волна подняла буй почти на метр, что стало вторым по величине смещением, когда-либо зафиксированным системой буев DART после землетрясения в Тохоку в 2011 году.

По оценке [2], самые большие волны обрушились в основном на ненаселённые районы Камчатки, но наблюдавшиеся очень высокие волны разбивались о крутые скалы вдоль береговой линии.

Согласно [2], данные о цунами, полученные с трёх буёв DART, стали доступны примерно через час после землетрясения. По мере поступления новых данных и проведения последовательных итераций моделирования синоптики СПЦ NOAA пришли к выводу, что общее воздействие цунами на населённые пункты США будет менее серьёзным, чем предполагалось изначально, исходя только из параметров землетрясения. Первые волны цунами достигли Аляски через два часа после землетрясения, Гавайев — через шесть часов, штата Вашингтон — через восемь часов, а Сан-Диего, штат Калифорния, — через девять часов.



а) мировое покрытие буями DART



б) фрагмент покрытия буями DART

Курило-Камчатского желоба

Рис. 3. Интерактивная карта NDBC

Новые приборы на спутнике Д33 SWOT (Surface Water and Ocean Topography) [4], совместном проекте NASA (National Aeronautics and Space Administration, Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства США) и CNES (Centre

national d'études spatiales, Национальное космическое агентство Франции) зафиксировали изменения уровня воды, вызванные цунами, и его направление. Это показало, что прогноз цунами от NOAA был верным.

Более детальный анализ международных и национальных СПЦ выходит за рамки данного исследования.

2. Последовательность работы современной СПЦ

Последовательность работы современной СПЦ выглядит так:

1. Обработка данных сейсмографов (первые секунды): «Произошло сильное землетрясение здесь и с такой магнитудой!».

2. Обработка данных ГНСС-станции путём моментального (быстрого) уравнивания (первые минуты): «Земля здесь сдвинулась именно так, вертикальная деформация значительная - угроза цунами высока!».

3. Обработка данных буйёв DART (последующие 10-20 минут): «Подтверждаем, волна прошла над нами, её высота и параметры такие-то».

4. Моментальное (быстрое) моделирование трёх процессов развития цунами (землетрясение, распространение по океану и затопление суши) с использованием специального программного обеспечения (СПО) моделирования цунами типа MOST⁴ [4]: «Предупреждаем, у таких-то берегов ожидаются через столько-то минут (часов) цунами такой-то высоты!».

5. Мареографы (при подходе к берегу): «Волна прибывает, её высота у берега такая-то».

3. Моментальное (быстрое) уравнивание геодезической сети

Моментальное (быстрое) уравнивание геодезической сети - это процесс, который позволяет из данных от сотен и тысяч ПДБС получить оперативную информацию о ДЗК для СПЦ.

1. Суть процесса: От «сырых» данных к сигналу «тревоги». Задача – в первые 2-5 минут после главного толчка землетрясения определить не просто факт движения станций, а точные векторы смещения (по северу, востоку, высоте) для каждой станции в зоне бедствия. Это и есть моментальное уравнивание. Данные с ПДБС передаются в центры обработки в режиме, близком к реальному времени (с задержкой в 1-5 секунд).

2. Алгоритм моментального уравнивания: Как только система детектирует сильное землетрясение (по данным сейсмографов), запускается специализированный алгоритм обработки ГНСС-данных. Его можно упрощенно представить так:

a) Выбор опорных станций: Алгоритм автоматически выбирает опорные станции, расположенные вне зоны землетрясения. Предполагается, что они не сдвинулись и служат стабильной отсчетной основой.

b) Обработка данных определяемых станций: Для каждой станции в зоне землетрясения алгоритм вычисляет ее точное положение до и после события. «До»: Используется усредненное положение за несколько часов или дней до толчка. «После»: Вычисляется по короткому сеансу наблюдений сразу после толчка (буквально в течение 1-5

⁴ MOST - **M**ethod of **S**plitting **T**sunami, программа для моделирования цунами, разработанная Тихookeанской морской экологической лабораторией (PMEL) NOAA. В программе используется математическая модель распространения волны, предложенная российским учёным В.В. Титовым. Для численного расчёта распространения волны цунами применяется линейная система дифференциальных уравнений мелкой воды.

минут).

с) Расчет векторов смещения: Путем вычитания координат «До» из координат «После» для каждой станции вычисляется вектор смещения. Ключевой параметр — вертикальная компонента (Up). Именно вертикальный подъем или опускание земной коры напрямую связаны с генерацией цунами. Горизонтальное смещение также важно для понимания механизма разрыва.

д) Построение поля деформации: Смещения всех станций объединяются, чтобы построить карту полей ДЗК. Это показывает, какой участок морского дна и насколько именно он приподнялся или опустился.

3. Интеграция с СПЦ: Полученные данные моментального уравнивания немедленно используются:

а) Для подтверждения угрозы: Если станции на побережье показали значительное вертикальное смещение (например, опускание или подъем на 0.5 м), это мощный сигнал о том, что морское дно деформировалось и вытеснило гигантский объем воды. Это подтверждает высокую вероятность цунами.

б) Оценка масштаба: Размер смещения помогает уточнить фактическую магнитуду и механизм землетрясения, которые, вычисленные только по сейсмическим данным, могут быть недооценены в первые минуты для мегаземлетрясений.

с) Калибровка моделей: Данные о смещении подаются в модели распространения цунами. Это позволяет гораздо точнее спрогнозировать высоту волны и время ее подхода к разным участкам побережья, чем если бы модель работала только на сейсмических данных.

V. Ключевые аспекты

1. Оценка точности и надежности: Тщательный анализ невязок, поправок, эллипсов погрешностей для выявления потенциально нестабильных или поврежденных пунктов, которые могли сдвинуться во время измерений. Использование робастных методов уравнивания⁵.

2. Итеративность: Процесс часто итеративный. Результаты первичного уравнивания и анализа помогают выявить пункты, требующие повторных измерений или исключения из сети как разрушенных/нестабильных.

3. Документирование: Фиксация состояния каждого определяемого пункта, опорных пунктов, дат измерений, использованной стратегии, достигнутой точности.

4. Моментальное (быстрое) уравнивание геодезической сети в составе СПЦ: В составе СПЦ это революционная технология, которая спасла тысячи, и возможно спасёт миллионы человеческих жизней.

Заключение

1. Мировой опыт демонстрирует, что оперативная и точная оценка состояния и переуравнивание геодезических сетей после землетрясений жизненно необходимы. Это основа для восстановительных работ, оценки геодинамических рисков, научных исследований и обеспечения надежной геопространственной основы для всего общества.

2. Современные технологии (ГНСС, InSAR) революционизировали этот процесс, сделав его быстрее, точнее и охватывающим большие территории. Однако успех зависит от наличия развитой инфраструктуры до землетрясения, подготовленных протоколов

⁵ Робастные методы уравнивания - это подходы, направленные на снижение влияния «плохих» наблюдений (выбросов) путём их обнаружения и исключения из выборки.

реагирования, квалифицированных кадров и понимания сложных постсейсмических процессов.

3. Технология моментального (быстрого) уравнивания геодезической сети в составе СПЦ является будущим переуравнивания любой геодезической сети, находящейся в сейсмоопасной зоне.

4. Принципиальными вопросами в РФ являются:

- ✓ Использование Международной земной отсчетной основе ITRF.
- ✓ Использование импортозамещённого СПО научного назначения для уравнивания сетей и геодинамического анализа зоны землетрясения.
- ✓ Переход в обозримом будущем к технологии моментального (быстрого) уравнивания геодезической сети и внедрение этой технологии в российскую СПЦ.
- ✓ Использование последних достижений научного моделирования землетрясений.
- ✓ Координация фундаментальных и прикладных исследований для оценки землетрясений, разработки планов и проведения пост-событийных мероприятий.

Литература

1. <https://www.itpz-ran.ru/tu/dejatelnost/software/mig/>.
2. <https://research.noaa.gov/how-30-years-of-noaa-research-led-to-one-very-accurate-and-timely-tsunami-forecast/>.
3. <https://www.ndbc.noaa.gov/>.
4. <https://swot.jpl.nasa.gov/>.
5. https://nctr.pmel.noaa.gov/ComMIT/docs/MOST_manual.pdf.

О ПРОБЛЕМАХ ВЕДЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ФОНДОВ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ В ВЕКТОРНОМ ВИДЕ

Дяков А.И.

Государственное бюджетное учреждение Новосибирской области «Фонд пространственных данных Новосибирской области» (ГБУ НСО «Геофонд НСО»)

Распоряжением Правительства Новосибирской области № 120-рп от 11.04.2017 г. было создано Государственное бюджетное учреждение Новосибирской области «Фонд пространственных данных Новосибирской области» (далее, Геофонд НСО).

Одной из основных задач ведения фонда, является сбор, систематизация, обновление, хранение и выдача заказчикам топографических планов крупных масштабов (1:500 -1:2000), ортофотопланов, ОГС на населенные пункты.

Геофонд НСО использует местную систему координат Новосибирской области - МСК НСО. МСК НСО базируется на системе координат СК-95 и включает четыре трехградусные зоны в картографической проекции Гаусса-Крюгера. На рисунке 1 показана схема зонного деления МСК НСО для масштаба 1:100 000.

На начальном этапе (2018 – 2020 гг.) Геофонд НСО выполнил большую работу по переводу существующей технологии города Новосибирска на основе цифровых планшетов в растровом виде с импортного программного обеспечения на российское – ГИС «Панорама» (разработчик - КБ «Панорама»), формированию общей структуры фонда и его наполнению существующими материалами на всю территорию области. Основу фонда составили отсканированные топографические планы масштабов 1:500, 1:1 000, 1:2 000 и 1:5 000. Все материалы были приведены в систему координат МСК НСО в картографической проекции Гаусса-Крюгера, в рамках трапеций масштаба 1:2 000. На все районные центры выполнен пересчет каталогов координат пунктов полигонометрии из локальных систем в МСК НСО.

Параллельно этой большой работе, велась работа по обслуживанию заказчиков, выполняющих инженерные изыскания и корректировку топографических планов.

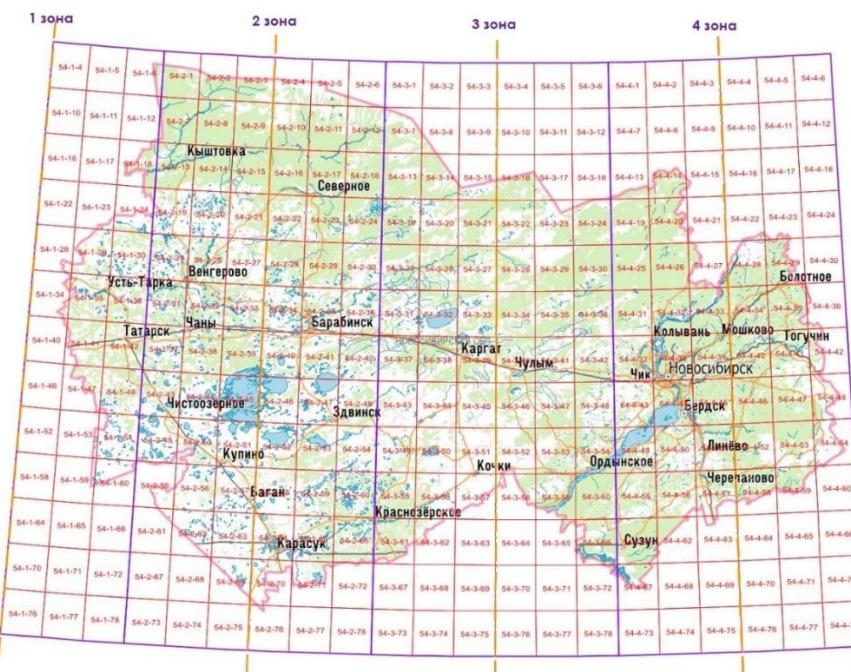


Рис. 1. Схема зонного деления МСК НСО. Сетка 1:100 000 масштаба

Используя преимущество растрового формата, в частности то, что все основные устройства ввода-вывода данных также основаны на матричной структуре данных; растровая графика достаточно проста в обработке, легко и качественно обеспечивает визуализацию; стандартизованные форматы TIFF, с внешним файлом географической привязки, *.tab, и geoTIFF широко используются в различных ГИС и САПР (CAD) системах, Геофонду НСО удалось в сжатые сроки наладить его функционирование и получить опыт работы с крупномасштабными топографическими планами в границах всей территории области.

Основным недостатком растровой графики является неформализованное изображение в виде пикселей, и как следствие, невозможность масштабирования с сохранением оригинального уровня деталей объектов как с позиции визуализации, так и с позиции выполнения каких-либо расчетов.

Особенностью растра является его строго ортогональный формат на физическом уровне, который отлично согласуется с прямоугольной разграфкой топографических планов населенных пунктов, но плохо согласуется с картографическими проекциями, в частности Гаусса-Крюгера.

В историческом плане геодезия и картография, можно сказать, развивались в двух направлениях: в навигационном и строительном. Навигационное направление требовало решения задач на всей поверхности Земли либо на ее значительных территориях (задачи высшей геодезии и математической картографии). Геодезия для строительства ограничивалась решением задач на локальных территориях, в пределах населенных пунктов. На линейных объектах между населенными пунктами эти направления пересекались. В результате навигационного направления мы имеем работу с географическими координатами φ -широта, l -долгота, h -высота над эллипсоидом каких-либо объектов, но визуализация сложно воспринимается человеком, отсюда – карты (картографические проекции земного эллипсоида или шара на плоскость). Строительное направление – планы (ортогональная проекция), координаты x, y, h . Особенность строительных планов их некоторая двойственность: координаты строительной сетки ортогональные от строительных осей, а локальные координаты самих населенных пунктов ортогональны относительно осевого меридиана, проходящего через населенный пункт, к которому привязана строительная сетка. По сути является топоцентрической системой координат. Как отмечает А.П. Герасимов [1, стр. 71] «плоские прямоугольные координаты x, y в проекции Гаусса-Крюгера и x_m, y_m в проекции Гаусса с местной координатной сеткой разные». Это одна из проблем перехода с локальных систем на местные системы координат регионов.

К проблеме относится и зонная структура местных координат. В соответствии с приказом Росреестра от 20.10.2020 г., № п/0387, п. 3 «Местная система координат устанавливается в 3-градусной или 6-градусной зонах картографической проекции ...», а «В практическом плане ширина зон для целей кадастра недвижимости устанавливается не в соответствии с градусным делением на зоны, а согласно административным границам муниципальных районов» [2, стр. 233]. Но «согласно» какого нормативного документа это делается, на этот вопрос ответа нет. Тем не менее все делают именно (согласно административным границам), что ведет к излишним пересчетам данных, появлению объективных (удаление от осевого меридиана) и субъективных ошибок.

Организации, работающие с пространственными данными, решают какие-либо расчетные задачи, включая проектировщиков, строителей, службы эксплуатации инженерных объектов. Результатом деятельности топографов являются цифровые инженерно-

топографические планы в векторных форматах. Понимая важность работы с векторной формой инженерно-топографических планов уже с 2020 года, помимо текущих производственных процессов, в Геофонде НСО решались задачи перехода на ведение цифровых инженерно-топографические планов в векторном виде.

Основные проблемы при работах с топографическими планами в векторном виде

Сложность формирования векторных топографических планов заключается в представлении топографических объектов в условных знаках: «Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500», утверждены ГУГК при Совмине СССР 25.11.1986 [3]. В законе о геодезии, картографии и пространственных данных (№431-ФЗ) статья 32, п.5. говорится: «Положения принятых до дня вступления в силу настоящего Федерального закона нормативных актов органов государственной власти СССР, РСФСР и Российской Федерации, регулирующие отношения в сфере геодезии и картографии, действуют до 1 января 2018 года в части, не противоречащей настоящему Федеральному закону и принятым в соответствии с ним иным нормативным правовыми актам», однако на практике пользуются именно эти условные знаки, они регламентированы и СП 317.1325800.2017 п. 5.3.3: «Цифровой инженерно-топографический план создают по ГОСТ Р 52440. На ЦИТП наносят точечные, линейные, полигональные объекты и подписи, отображаемые согласно [14] ([ссылка на НД «Условные знаки...»](#)) на инженерно-топографических планах».

Эти условные знаки, разработанные в прошлом веке, когда еще про вычислительные машины народ только слышал, естественно ориентированы на ручную рисовку и представление самих планов на бумажной основе. Требуется кардинально пересмотреть систему топографических планов увязав ее с большими возможностями ЭВМ, совершенно новыми подходами в реализации цифровых моделей рельефа, перехода с ортогональной проекции на картографическую, широко используемую сегодня в интернете. Следует четко различать методы инженерной (строительной) геодезии (работающей исключительно в ортогональных проекциях, включая информационные модели), от картографических методов в инженерных изысканиях и ведения Фондов данных, включая так называемые «дежурные планы» населенных пунктов являющимися своеобразной инфраструктурой, обеспечивающей различные инженерные службы эксплуатаций.

Организации, выполняющих съемки и обновление топографических планов, на практике используют для формирования различные программы обработки и библиотеки условных знаков, что существенно затрудняет работу по приему и анализу данных. В этой связи актуальной является задача интероперабельности пространственных **данных между продуктами КБ «Панорама», на которых мы работаем, и программными системами других организаций** и сервисами НСПД. Особенno сложно ее обеспечить с системами **других организаций**, так как в нормативной документации этот момент слабо проработан. Даже если пользователи работают на одном виде ПО, то порядок (правила) формирования цифровых моделей у них разные, как разные наборы и условных знаков.

Из практики работы Геофонда НСО можно выделить данные пользователей полученные с использованием программ обработки с форматом DWG (обменный формат DXF), например, «nanoCAD», и линейку программных продуктов КРЕДО (собственный закрытый формат).

В Геофонде НСО прорабатывалась технология конвертации данных этих форматов. Импорт и экспорт топографических планов посредством обменного формата DXF в ГИС

«Панорама» и обратно основан на технологии использования программы формирования условных знаков «Топография» (разработчик - ИП Рябинов), адаптированной под задачи Геофонда НСО и конвертора крупномасштабных планов в формате DXF в составе ГИС «Панорама». Конвертирование данных основано на таблице соответствий, в которой выполняется согласование условных знаков классификатора RSC (ГИС «Панорама») с соответствующими условными знаками классификатора DXF («Топография»). Суть технологии заключается в «разбиении» блоков на элементы, каждый из которых представлен отдельным слоем и настройкой таблицы соответствий, рисунок 2.

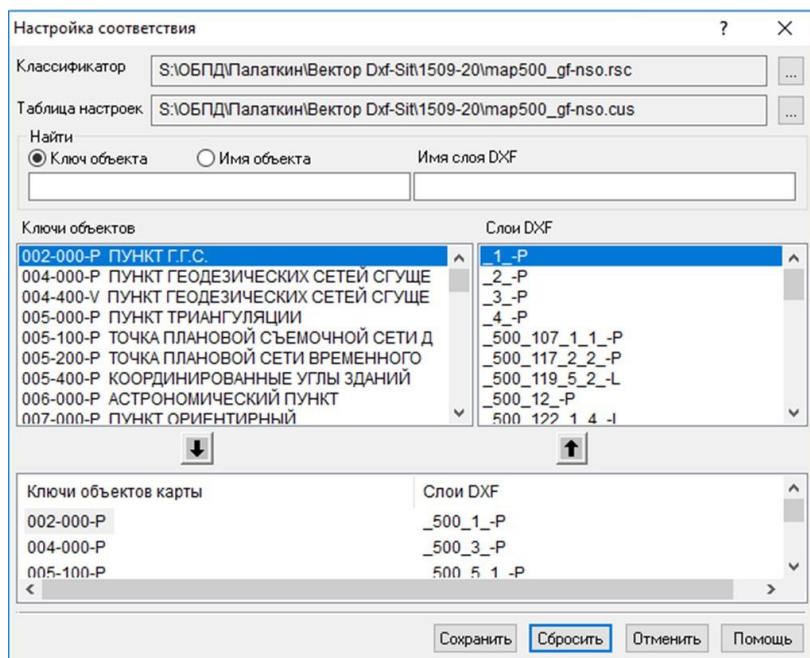
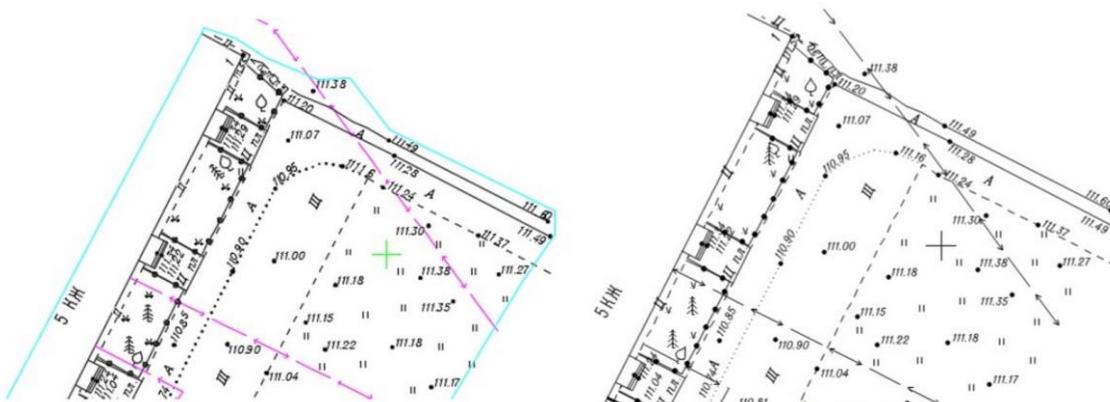


Рис. 2. Таблица соответствий

Конвертация данных пользователей в ГИС «Панорама» выполняется автоматизировано, более 95% объектов плана проходит с первого раза, рисунок 3. Основные проблемы заключаются в неоднозначном понимании исполнителями топографических планов, самих условных знаков, что исправляется оператором Геофонда НСО, с высокой квалификацией. Таблица соответствия настроена сегодня на более 1200 условных обозначений для масштаба 1:500.

Рис. 3. Фрагмент топографического плана ГИС «Панорама»
после импорта из nanoCAD (голубой контур – граница съемки)

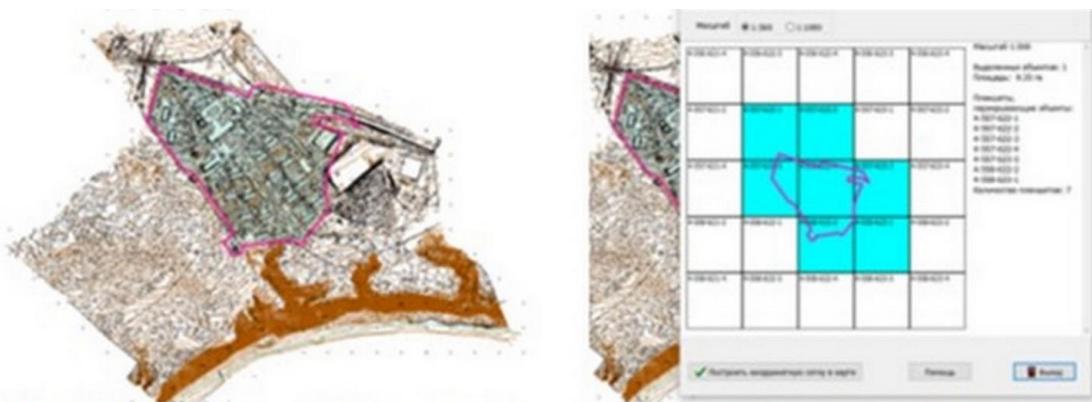
При обратной конвертации из ГИС «Панорама» в формат DWG существенно усложняется за счет необходимости «восстановления» блоков. Автоматизировано проходят только 276 объектов, с графической точки зрения с простой организацией графических примитивов.

В настоящее время основная база топографических планов ГБУ НСО «Геофонд НСО» представлена в растровом виде. Векторные данные в формате DWG, передаваемые для включения в фонд, конвертируются и хранятся в формате ГИС «Панорама», а также переводятся в растровый вид для обновления растровых топографических планов.

Обновление данных в растровом формате, отработанная годами, не вызывает проблем.

Основные проблемы обновления векторных крупномасштабных планов (карт) – это, во-первых, их высокая загруженность и сложная их структура: многослойность самих планов, многообразие форм условных обозначений объектов (условных знаков) для их восприятия человеком, наличие различных надписей, как выражающих семантические свойства объектов, так и просто поясняющих. Во-вторых – самые различные формы участков обновлений, выраженных границами съемок, и связанные с этим «краевые эффекты» на этих границах в виде их пересечений различными изображениями точечных условных знаков и текстовых элементов, которые требуют дополнительной работы по их редактированию.

В Геофонде НСО также проработана и технология обновления векторных локальных участков топографических планов, хранящихся в формате ГИС «Панорама» [4]. Суть технологии обновления заключается в формировании на выбранный участок плана «виртуальной» прямоугольной сетки, включающей границу этого участка, рисунок 4. На полученную границу формируется рамка, соответствующая слову «Математическая основа карты». Используя специальные инструменты ГИС «Панорама» («нарезка карты по выделенным объектам» и «объединение данных»), выполняется автоматизированная вырезка геометрии и семантики топографических объектов по границе рамки и последующая вставка обновленного плана.



Фрагмент плана с границей съемки

Виртуальная разграфка

Рис. 4. Фрагмент плана с границей съемки. Виртуальная разграфка.

Учитывая, что Геофонд НСО в первую очередь производственная организация, а решаемые задачи носят научно-технический характер, мы тесно сотрудничаем с специалистами КБ «Панорама», а в настоящее время прорабатываем взаимодействие с СГУГИТ в области проработки задач перехода на вектор.

Выводы

1. На этапе становления Геофонда НСО, в силу имеющегося большого количества топографических планшетов масштаба 1:500 в растровом виде была отработана технология ведения фонда на всю территорию области в местной системе координат на программном обеспечении КБ «Панорама», в частности ГИС «Панорама». Именно «растровые» данные позволили в сжатые сроки запустить технологию ведения регионального фонда пространственных данных включая организацию топографических карт и планов, ведения дежурных планов и их обновление, а также выдачу и прием материалов заявителям фонда.

2. Не прерывая основной производственный процесс, сотрудниками фонда были проработаны ряд вопросов обмена топографическими планами между форматами ГИС «Панорама» и форматом DWG.

3. Для векторных крупномасштабных планов, представленных в формате ГИС «Панорама», отработана система их обновления.

4. Повышение уровня автоматизации при переходе на работу с векторными данными, на наш взгляд, заключается в следующем:

- в пересмотре подходов к разработке условных обозначений (знаков) используемых на крупномасштабных планах, ориентированных на компьютер, а не на ручную рисовку.

- в разделении инженерной цифровой модели местности, которая представлена инженерно-топографическим планом, по мимо цифровой модели рельефа и цифровой модели ситуации еще на более мелкие тематические слои, например, базовая цифровая модель ситуации, топографические планы сетей подземных и наземных коммуникаций и т.п.

5. Для реализации технологии ведения фонда инженерно-топографических планов в векторном виде существует необходимость в стандартизации подхода к формированию инженерно-топографических планов (в части: используемых классификаторов, правил цифрового описания объектов, требований к структуре и соблюдения топологии), передаваемых в фонд, и регулирования нормативной базы на уровне федеральных органов власти.

Согласование векторных пространственных данных из разных источников — это не только техническая, но и организационная задача, требующая стандартизации, автоматизации, межведомственного сотрудничества и постоянного контроля качества. Только комплексный подход позволяет обеспечить целостность, актуальность и достоверность векторных пространственных данных на территорию региона.

Литература

1. А.П. Герасимов Спутниковые геодезические сети. - М: ООО «Издательство «Проспект», 2012. - 176 с.
2. Портнов А.М., Загребин Г.И., Чжэнъфэн Шао СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КООРДИНАТНОЙ ОСНОВЫ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ ЕДИНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕЕСТРА НЕДВИЖИМОСТИ Вестник СГУГиТ, Том 25, № 2, 2020.
3. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. Утверждены ГУГК при Совете Министров СССР 25 ноября 1986 г. - МОСКВА «НЕДРА» 1989.
4. Чухвачева Ю. Е., Тимофеев А. Н., Агафонова О. В. Обновление локальных участков векторных карт в ГИС «Панорама» // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2023. XIX Междунар. науч. конгр. Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия».:сб. материалов (Новосибирск, 17–19 мая 2023 г.). – Новосибирск: СГУГиТ, 2023. – С. 138–144.

СОЗДАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ НА ПРИМЕРЕ ПАО «ТАТНЕФТЬ»

Гилаев Д.М.

СП «Татнефть-Добыча» ПАО «Татнефть»

ПАО «Татнефть» осуществляет поиск, разведку, разработку и обустройство на 76 лицензионных участках недр, это практически 70 процентов республики Татарстан.

Для решения производственных задач и выполнения требований законодательства мы обязаны создавать и актуализировать на постоянной основе геопространственные данные.

Это данные, указывающие и отображающие местоположение объектов в определенной системе координат.

Какие же мы решаем задачи, с использованием пространственных данных

1. Мониторинг за геодинамической обстановкой на территории участков недр. То есть, определение планово-высотных смещений земной поверхности на разрабатываемых месторождениях.
2. Проектирование объектов недропользования (скважины и др.) и обустройства.
3. Оперативная оценка состояния местности, обновление единой электронной картографической основы лицензионных участков.
4. Выполнение маркшейдерских съемок, инженерно-геодезических изысканий.
5. Контроль за застройкой третьими лицами горных отводов месторождений нефти и газа.
6. Вопросы кадастрового учёта и земле/лесопользования.
7. Мониторинг соблюдения требований охранных зон нефтепроводов, водоводов, газопроводов третьими лицами.

Основные нормативно-правовые акты, регулирующие процесс создания и применения геопространственных данных

1. Закон РФ «О недрах» от 21.02.1992 N 2395-1.
2. Федеральный закон «О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 30.12.2015 N 431-ФЗ.
3. Постановление Правительства РФ от 24 ноября 2016 г. N 1240 «Об установлении государственных систем координат, государственной системы высот и государственной гравиметрической системы».

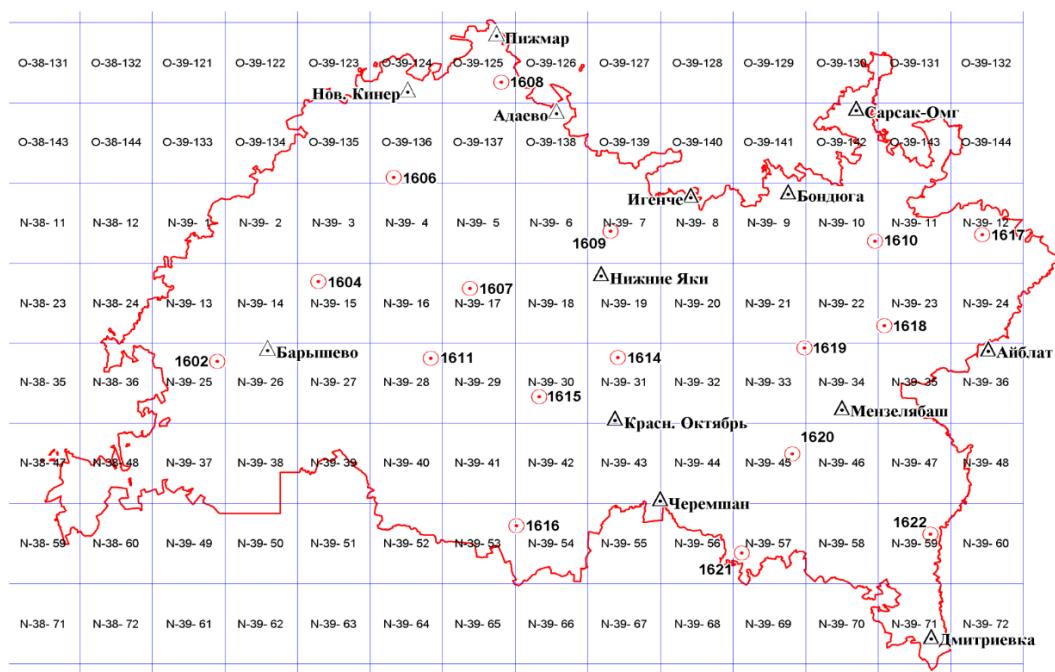
Система координат является фундаментом процесса создания геопространственных данных.

ПАО «Татнефть» работало в системе координат 1963 года, как мы знаем, Правительство РФ запретило использование условных систем координат, кроме государственных и местных, созданных в соответствии с определенными правилами.

В 2016 году нами было принято решение об установлении местной системы координат под названием «МСК-Татнефть» на всей территории деятельности Компании. Работы выполнялись Средне-Волжским аэрогеодезическим предприятием.

Для реализации мероприятий, в первую очередь, были обследованы исходные пункты.

Местоположение обследованных пунктов СГС-1 и ГГС представлены на рисунке 1. Перечень обследованных пунктов СГС-1 и ГГС представлены в таблице 1. Всего их 30 шт.

**Условные обозначения:**

- - Пункт СГС-1
- △ - Пункт ГТС

N-39-44 - Номенклатура листа карты масштаба 1:100 000

— - Граница территории Республики Татарстан

Рис. 1. Схема обследованных пунктов СГС-1 и ГТС

Таблица 1

Перечень обследованных пунктов СГС-1 и ГТС

№ п/п	Номер пункта	Класс	Номенклатура масштаба 1: 50 000	Номер по списку
1	Адаево	2/IV	О-39-138-Б	5
2	Айлат	3/IV	N-39-036-Б	24
3	Барышево	2/IV	N-39-026-Б	17
4	Бондюга	2/IV	N-39-009-Б	9
5	Дмитриевка	2/IV	N-39-071-Г	30
6	Игенче	2	N-39-008-А	8
7	Красн. Октябрь	2/IV	N-39-031-В	21
8	Мензелибаш, пир.	1/III	N-39-034-В	23
9	Нижние Яки	2/IV	N-39-019-А	14
10	Нов. Кинер	2/IV	О-39-124-Г	1
11	Пижмар	2/IV	О-39-125-Б	2
12	Сарсак Омга	2	О-39-142-Б	6
13	Черемшан	2/IV	N-39-043-Г	25
14	1602 (марка №4200)	СГС-1/III	N-39-025-Б	16
15	1604 (марка №4183)	СГС-1/III	N-39-015-А	12
16	1606 (марка №4525)	СГС-1/III	О-39-136-В	4
17	1607 (марка №4431)	СГС-1/III	N-39-017-А	13
18	1608 (марка №4377)	СГС-1/III	О-39-125-Г	3
19	1609 (марка №4229)	СГС-1/III	N-39-007-В	7
20	1610 (марка №4436)	СГС-1/III	N-39-010-Г	10
21	1611 (марка №4235)	СГС-1/III	N-39-028-Б	18

Продолжение таблицы 1

№ п/п	Номер пункта	Класс	Номенклатура масштаба 1: 50 000	Номер по списку
22	1614 (марка №4251)	СГС-1/III	N-39-031-А	20
23	1615 (марка №4895)	СГС-1/III	N-39-030-В	19
24	1616 (марка №4429)	СГС-1/III	N-39-054-А	27
25	1617 (марка №4286)	СГС-1/III	N-39-012-В	11
26	1618 (марка №4898)	СГС-1/III	N-39-023-В	15
27	1619 (марка №4180)	СГС-1/III	N-39-033-Б	22
28	1620 (марка №4305)	СГС-1/III	N-39-045-Б	26
29	1621 (марка №4218)	СГС-1/III	N-39-057-В	28
30	1622 (марка №4314)	СГС-1/III	N-39-059-Б	29

При создании фрагмента сети СГС-1 на территорию Республики Татарстан в качестве опорных пунктов использовались пункт федеральной астрономо-геодезической сети - «Самара» (SAMR) и 3 пункта высокоточной государственной сети – Казань (KZAN), Набережные Челны (NABE), Бугульма (BUGU).

Для осуществления привязки к существующей опорной спутниковой сети использовались результаты круглосуточных наблюдений на пункте ФАГС «Самара».

Схема спутниковых измерений по программе СГС-1 представлена на рисунке 2. Спутниковые наблюдения производились на 30 пунктах:

- 17 пунктов СГС-1 с центром принудительного центрирования
- 13 пунктов ГГС, определяемых по программе СГС-1 по данному объекту.

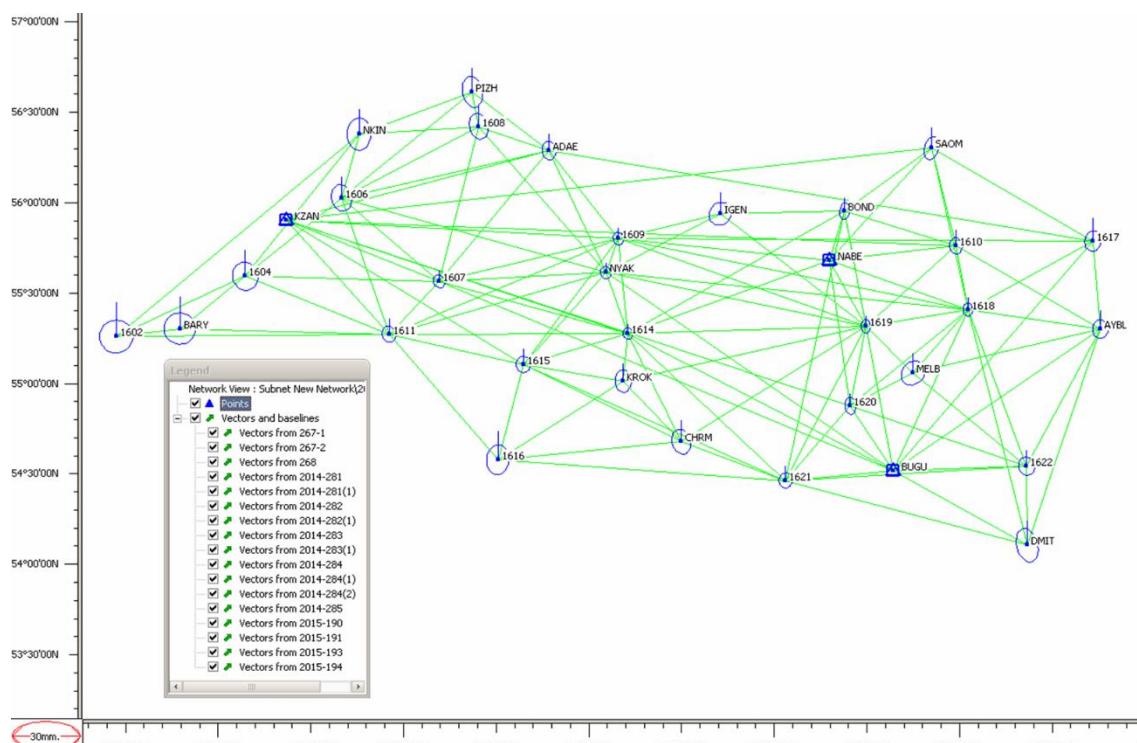


Рис. 2. Схема спутниковых измерений по программе СГС-1

Результаты работ, в виде технического отчёта и других документов сданы и согласованы управлением Росреестра по Республике Татарстан, рассчитаны ключи перехода к ГСК-2011.

Распоряжением Правительства РФ в 2017 году была утверждена программа «Цифровая экономика» Российской Федерации под № 1632-р.

Целевой моделью которой было создание федеральной сети дифференциальных станций, обеспечивающих повышение точности определения координат, а также центр интеграции сетей дифференциальных станций и обработки получаемой информации.

Необходимо отметить, что внедрением современных спутниковых систем ПАО «Татнефть» уже начало заниматься гораздо раньше, в 2010-2012 гг. на Ашальчинском месторождении сверхвязких нефлей была создана спутниковая и нивелирная сеть для обеспечения геодинамических наблюдений на разрабатываемой территории.

Схема сети представлена на рисунке 3.

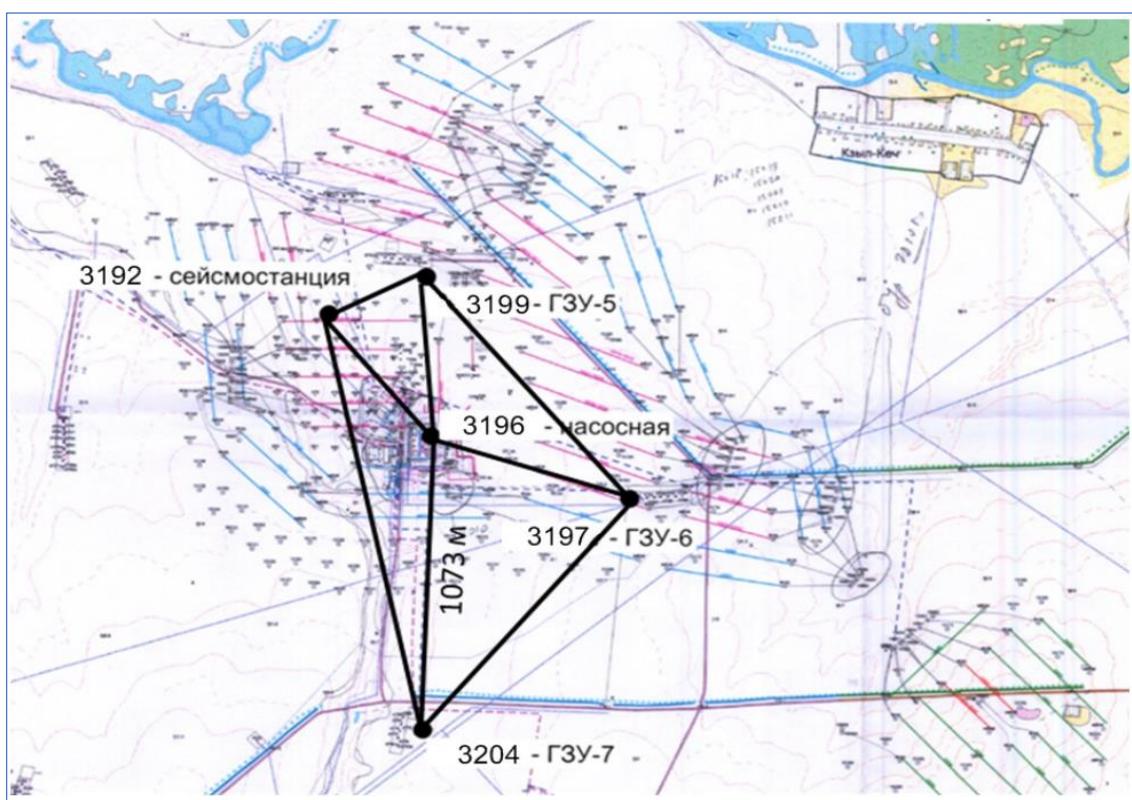


Рис. 3. Схема спутниковой и нивелирной сети (2010-2012 гг.) на Ашальчинском месторождении СВН ПАО «Татнефть»

На тот момент это было экспериментальное месторождение битумных нефлей, подтвержденных запасов в республике которых составляет более 7 млрд. тонн.

Особенность таких месторождений заключается в том, что расположены они относительно неглубоко – порядка 100 м, и добыча идет методом закачки пара и переводом битума из твердой фазы в жидкую, что, несомненно, влияет на геодинамическую обстановку.

На сегодняшний день ПАО «Татнефть» добыто более 10 млн. тонн битумной нефти.

Проведение наблюдений двумя методами, спутниковые и нивелирные, позволило сравнить результаты измерений на одном из совмещённых пунктов. Сопоставление

полученных данных за 6 лет проведено для пункта наблюдения 3197. Как видим, оба метода показали хорошее согласие между собой в пределах точности ГНСС измерений.

По мере разработки других месторождений СВН, спутниковая сеть развивалась с внедрением собственных подходов.

В 2017-2018 годах, в соответствии уже с государственной программой, на всей территории Компании была развернута геодезическая сеть специального назначения на основе спутниковых приемников.

На постоянной основе организовано 17 пунктов ГНСС наблюдения и 4 временных, которые бывают задействованы по необходимости.

Для успешного выполнения работ различного назначения — это проведение регионального геодинамического мониторинга в нефтедобывающих районах Татарстана, выполнения кадастровых и текущих маркшейдерско-геодезических работ осуществлена привязка пунктов к ГСК-2011, местной системе координат «МСК-ТАТНЕФТЬ» и МСК-16.

Для привязки использовались пункты государственной геодезической сети IGS, ФАГС, ВГС и СГС-1.

Под данную сеть был создан центр обработки данных, для автоматизированной обработки получаемых данных силами специалистов Компании разработан программный продукт

Проект сети был согласован с Росреестром, технический отчёт сдан в федеральный фонд пространственных данных.

Через подписание Соглашения сеть была включена в федеральную сеть Росреестр и является составной частью системы геодинамических наблюдений Российской Федерации.

На рисунке 4 представлены тренды движения на примере Ромашкинского месторождения и глобальный Евразийской плиты.

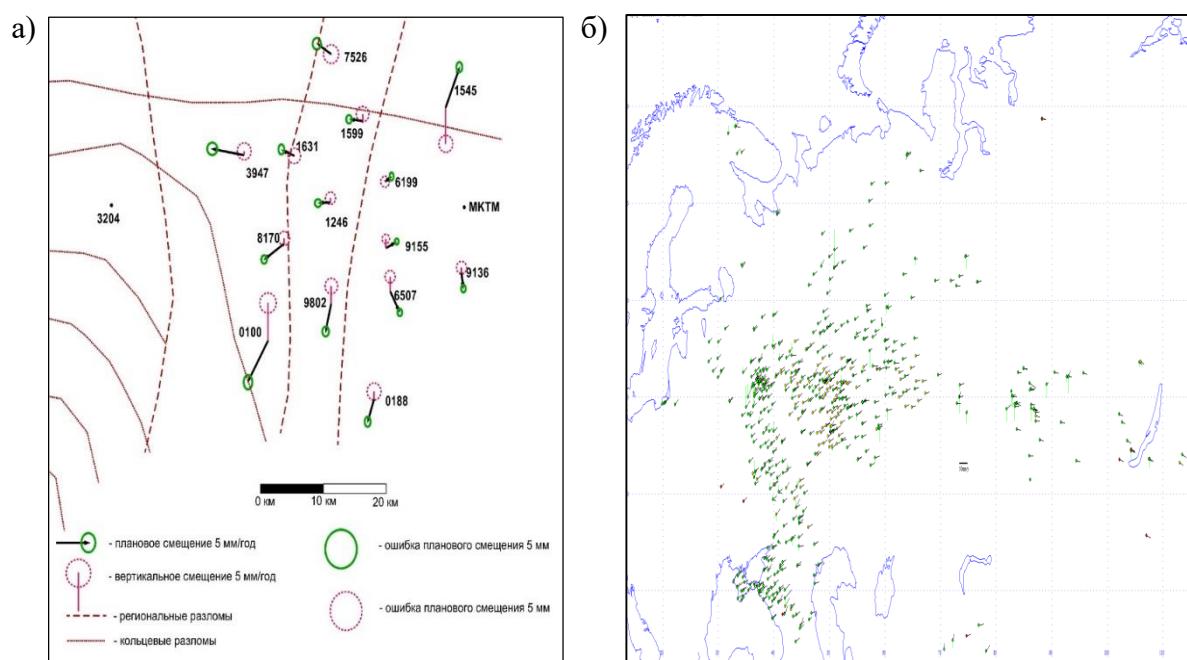


Рис. 4. а) Плановые и высотные смещения пунктов локального Ромашкинского ГНСС геополигона; б) Дрейф векторов смещения Евразийской плиты

Необходимо отметить, что наработанная методика позволила повысить уровень мониторинга за геодинамической обстановкой и имеет положительный экономический эффект.

Для закрепления полученных результатов через нормативно-правовой акт, концепция разработанной сети включена в состав главы «Наблюдения за сдвигением земной поверхности» предварительного национального стандарта «Нефтяная и газовая промышленность. Маркшейдерское обеспечение поиска, разведки, обустройства и разработки месторождений углеводородного сырья», утвержденного приказом № 38-пнст от 16.06.2022 Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт). Разработчиком предварительного стандарта являются ПАО «Татнефть», ПАО НК «Роснефть» и ПАО «Газпромнефть».

Сами геопространственные данные, государством реализованы в виде Единой электронной картографической основы, где за основу взяты ортофотопланы.

На территории населенных пунктов за базовый масштаб взят 2000, вне населенных пунктов – 10 000.

Для получения ортофотпланов применяются космоснимки и материалы, полученные с летательных и беспилотных аппаратов.

Выходным продуктом является система, которая объединяет в себя ЕЭКО, ЕГРН и ИСОГД.

Для сбора геоданных в ПАО «Татнефть» используются беспилотные летательные системы. ПАО «Татнефть» оснащен целым рядом БПЛА геодезического класса, это и самолетного типа и коптерного, так же имеется воздушно-лазерный сканер высокой точности.

Из преимуществ данного метода необходимо отметить скорость и объем выполняемых работ, при этом достигается необходимый уровень безопасности и информативности, включая залесенные и труднодоступные территории.

За базовый масштаб взят 2000-й, при необходимости масштабный ряд укрупняется до 1000 и 500-го.

Сводом правил, регулирующий требования в отношении инженерно-геодезических изысканий, позволяет использовать аэрофотосъемочные материалы. В соответствии с требованиями СП осуществляется создание топографических планов с ортофотпланов.

Полученные материалы также используются для мониторинга за промышленной и экологической безопасностью.

Все получаемые данные консолидируются в едином Геопортале, куда может подключиться любой сотрудник Компании и использовать геопространственные данные в производственной деятельности.

Если просматривать новости из сайта Росреестра, то можно отследить явную тенденцию о направлении деятельности государственного органа – это наполнение базы Единого государственного реестра недвижимости, что за собой влечет увеличение налоговых поступлений. Для этого уже во всю используются алгоритмы машинного обучения. «Умный кадастр» («Умка»). В контрольно-надзорной деятельности применение сервиса позволяет массово выявлять незарегистрированные объекты недвижимости, порядка 40 тыс. объектов в день.

Приказом Росреестра от 23.10.2020 № П/0393 утверждены значения точности (средней квадратической ошибки) определения координат характерных точек земельных участков. В

соответствии с данными требованиями для проведения кадастровых работ, включили возможность использования ортофотопланов различной точности.

К примеру, для земель промышленной категории должен быть не менее 9 см. на один пиксель.

Необходимо отметить, что ранее используемые технологии (таксеометрическая съемка, аналитический и картографический метод) по техническим и иным причинам не обеспечивали необходимую точность при проведении кадастровых работ, что привело к появлению реестровых ошибок в отношении границ земельных участков в Едином государственном реестре недвижимости.

Методика использования БПЛА позволяет за один рабочий день осуществить облет и произвести геопространственный анализ на территории до 40 км², что традиционными методами (таксеометрическая или ГНСС съемка) осуществить невозможно.

Соответственно, на сегодняшний день, данный метод является наиболее эффективным для решения подобных задач.

На основании вышеизложенного, выводы:

1. Роль геопространственных данных в процессе нефтедобычи повышается, появляются новые области применения – цифровые двойники месторождений, нефтепромысловых объектов, кадастр и т.д.

2. В ПАО «Татнефть» выстроена современная и эффективная инфраструктура для создания и обработки геопространственных данных:

- установлена местная система координат, рассчитаны ключи перехода к ГСК-2011;
- создана геодезическая сеть специального назначения, включена в федеральную сеть дифференциальных станций Росреестра, обеспечивает геодинамический мониторинг на территории участков недр;
- функционирует отряд БПЛА геодезического класса, включая воздушно-лазерное сканирование;
- создан центр сбора данных.

3. Все организационно-технические решения соответствуют законодательным требованиям и государственным программам.

4. Дальнейшим вектором развития является разработка механизмов систем автоматизированной обработки большого объема геопространственных данных, приведение границ земельных и лесных участков фактическим границам, инвентаризация объектов недвижимости и т.д.

РАЗВИТИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИ НЕЗАВИСИМЫХ ПЛАТФОРМАХ

Черненко А.А.
АО «НИИМА «ПРОГРЕСС»

Все мы с Вами в последнее время наблюдаем как в мире не прекращается соперничество государств по захвату рынков, технологий и переосмыслению основ торговли. Россия была втянута в этот процесс задолго до начала СВО, но тем не менее основные вызовы проявились именно в последние годы.

Ни для кого не секрет, что те геодезические комплексы, к которым все привыкли за последние 30 лет стали доступны только в виде «серого» импорта, без каких-либо гарантий, а иностранные программные продукты, особенно сетевые, облачные сервисы, вызывают настороженность у крупных пользователей таких продуктов.

Это подтверждается результатом нашей совместной работы с «ЕФТ групп» по маркетинговому исследованию рынка геодезических программных продуктов. Присутствующие здесь представители недр добывающих компаний уже сталкивались с неустойчивой работой сервисов, ранее предоставляемых ушедшими с отечественного рынка западными компаниями.

Так что такое технологическая независимость и какие основные положения ее определяют.

В общем случае определение технологической независимости можно сформулировать следующим образом: **Технологическая независимость — это состояние развития науки, техники, технологии и производства технологических машин, оборудования и методов их использования**, которое соответствует современному мировому уровню развития и может обеспечить необходимую минимально допустимую (без учёта импорта) потребность национальной экономики с возможностью увеличения собственного производства на основе имеющегося производственно-технологического опыта и ноу-хау при возникновении внутреннего спроса.

Если не углубляться в подробное изучение существующей нормативно-правовой базы, то одним из основных критериев к продуктам, в рамках реализации технологической независимости, относится:

Наличие научно-производственной базы (собственной или контрактной), расположенной на территории РФ и необходимой для разработки и производства продукции, наличие на территории РФ сервисного центра, уполномоченного осуществлять ремонт, гарантийное и постгарантийное обслуживание продукции.

В настоящее время, в области высокоточной спутниковой геодезии, более или менее полноценная технологическая независимость обеспечена только в Минобороны России усилиями КБ «НАВИС», но даже если отбросить некоторые юридические аспекты, их продукция на гражданском рынке не выдерживает конкуренции с китайским оборудованием в силу высокой стоимости.

В своем докладе, я не собираюсь проводить какие-либо сравнения и давать оценки уровню достижений наших коллег. Цель моего доклада рассказать, как НИИМА «Прогресс» видит применение и дальнейшее развитие своего геодезического комплекса, с учетом современных научных подходов в геодезии и расширения возможностей искусственного

интеллекта, а также, возрастающей потребности в высокоточном позиционировании в различных сферах экономики.

Мы полагаем, что недостаточно разработать геодезический спутниковый приемник, пусть даже с отличными характеристиками, поскольку это лишь элемент среди прочих аппаратных и программных средств, включенных в современную технологию геодезической съемки. Современная технология съемки предполагает наличие структуры предоставления корректирующей информации, наличие средств информационной поддержки, средств обработки и представления результатов измерений.

Только такой комплекс может обеспечить решение основных задач геодезиста, топографа, маркшейдера, кадастрового инженера. Представлено несколько вариантов внешних антенн. Антенны, предназначенные для стационарной установки на базовых станциях, позволяют получить наиболее надежные измерения в течение продолжительного периода времени. Для обеспечения надежности и точности определения координат конечным пользователем целесообразно использовать облачный сервис ПроГеоСеть. Решение вопросов передачи поправок пользователю в районах со слабым покрытием телематических систем обеспечивает серия УКВ модемов. Постобработка измерений, выполняемая с помощью ПроГеоОфис позволяет корректно с максимальной точностью и информативностью, выполнить камеральную обработку измерений.

В настоящее время, готовится запуск серийного производства аппаратной части нашего комплекса, которая представлена на рисунке 1. Мы планируем вывести на отечественный рынок аппаратные решения уже в начале 2026 г, сразу после завершения сертификационных испытаний.



Рис. 1. Организация серийного производства

Программные решения, о которых расскажу далее, уже представлены на рынке и активно используются потребителями.

Реализуя концепцию единого комплекса высокоточной геодезии и навигации, мы получили так называемую Экосистему, элементы которой при совместной работе позволяют добиваться требуемого результата. Вместе с тем каждый из элементов этой системы способен работать с устройствами других производителей. Но стоит отметить, что в этом случае повышаются риски снижения производительности. Хочу показать, что у нас получилось за неполные полтора года.

Наша организация не располагает собственными сетями базовых станций и источниками дополнительной информации (точные орбиты и часы спутников, метеоданные), но в наше комплексное решение:

- входит сетевая программа сбора, формирования и предоставления корректирующей информации,

- входят облачные решения, которые, в том числе, предоставляют вспомогательную информацию для обработки измерений и представления результатов этих измерений.

- В основе большинства наших решений заложены собственные, проверенные многолетним использованием, алгоритмы обработки ГНСС измерений. В том, или ином виде они присутствуют во всех сервисах.

- Полевая съемка немыслима без ПО для мобильных устройств, которое не только поддерживает фактическое выполнение геодезических работ, но и технически реализует доступ к облачным службам в полевых условиях.

Все вместе объединено в единую Экосистему на нашем сайте <https://www.progeo.expert/>

Покажу как мы видим дальнейшее развитие нашего спутникового геодезического оборудования и сервисов и как, по нашему мнению, оно может быть использовано в различных сферах экономики.

На рисунке 2 представлены направления, по которым мы планируем вести разработки в ближайшее время.

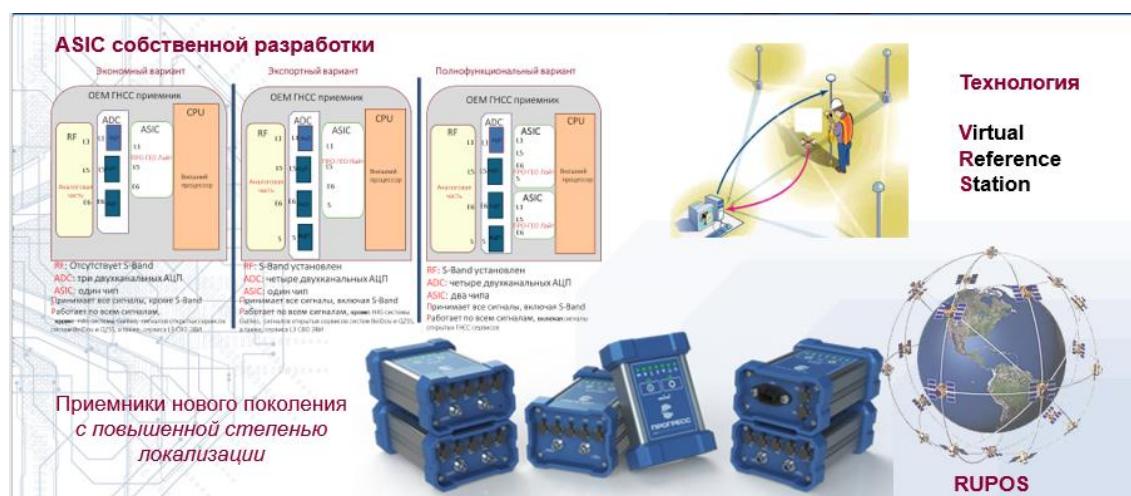


Рис. 2. Направления развития

Это и создание отечественного ASIC-а и развитие собственной линейки приемников для машин-контроля и развитие ПО для формирования высокоточных поправок для районов со слабым покрытием связных и телематических сетей, а также, в районах со слабым приемом сигналов спутниковых навигационных систем. Кроме того, в планах предусмотрено создание двух и трех-антенных приемников, позволяющих реализовать полноценный машин-контроля.

И все это будет включаться в общий контур Экосистемы ПРО-ГЕО, что позволит максимально использовать возможности как «железной», так и программной составляющей.

Не оставляем без контроля и развитие программного обеспечения, позволяющего повысить качество работ геодезистов. Основными направлениями в разработке мы видим реализацию в нашем облачном ПО таких сервисов, как виртуальная базовая станция - VRS.

В настоящее время, уже реализован и проходит тестирование в нескольких геодезических организациях Москвы, СКФО и Урала, сервис VRS.

Преимущества: быстрое фиксированное решение на значительных удалениях (свыше 60 км) от базовой станции, надежное определение координат в сложных условиях и при радиопомехах.

Недостатки: двусторонняя связь; повышенная нагрузка на сервер при активной динамике пользователя.

Основываясь на мировом опыте, мы считаем, что концепция облачной кинематики моментальных измерений в реальном времени (sRTK) обладает большим потенциалом для применения не только в высокоточной геодезии, но и в приложениях Интернета вещей (IoT), а также в роботизированной технике.

Суть этой концепции, в том, что на сервер передаются необработанные приемником исходные кодовые и фазовые измерения, где они обрабатываются, используя данные с базовых станций и другие вспомогательные данные, после чего уже готовый результат возвращается потребителю.

Преимущества: использование Интернет ресурсов, дополнительных данных, обработка с помощью искусственного интеллекта, **дешевые ГНСС модули**.

Недостатки: необходимы сети 5G/6G, высокая вычислительная нагрузка на сервер, требуются приемники нового поколения.

Еще одно направление, которое проходит тестовые испытания, это создание онлайн сервиса вычисления координат на территории России. Полагаем, что существование такого сервиса значительно упростит работы геодезистов и кадастровых инженеров, а также всех, кто в той или иной степени решает задачи с использованием спутниковых геодезических приемников. Помимо решения геодезических задач этот сервис будет обеспечивать:

- Использование данных сетей базовых станций Российской Федерации;
- Контроль качества работы базовых станций на территории РФ;
- Единый стандарт обработки и устранение ошибок в базе данных.

Развитие программного сегмента экосистемы ПРО-ГЕО позволило выделить отдельное направление, являющееся ответом на современную тенденцию расширения сфер применения искусственного интеллекта.

Уже сейчас мы отработали и показали заинтересованным агрохолдингам возможности ИИ для повышения урожайности путем контроля за состоянием плодовых агрокультур от набухания почек до момента сбора урожая.

Пока, к нашему сожалению, для обеспечения работы ИИ мы вынуждены использовать наши приемники, которые не обеспечивают возможность надежной и комфортной установки на сельхозтехнике, но сформированный план работ по расширению экосистемы ПРО-ГЕО в ближайшее время позволит решить эту задачу.

ВОЗДУШНОЕ ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ И SLAM-ТЕХНОЛОГИИ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ ДОСТУПНОСТИ ПРИ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЯХ

Садыков М.Р., Смирнов И.И.
АО «ПРИН»

Актуальность

На сегодняшний день выполнение инженерных изысканий для тех или иных работ требуют комплексного подхода к сбору пространственных данных [1]. В ходе сбора данных (при проектировании, строительстве, эксплуатации и реконструкции объектов; горных выработок, маркшейдерских работ и т.д) необходимо учитывать ряд параметров [2]:

- Полнота данных — отсутствие «слепых зон» в модели объекта или местности.
- Точность — соответствие данных требованиям нормативов по координатам и высотам.
- Оперативность — минимизация времени от момента съёмки до получения итоговых моделей.
- Безопасность — исключение или снижение необходимости пребывания персонала в опасных зонах.

Традиционные методы — нивелирование, тахеометрическая или GNSS-съёмка — обеспечивают высокую точность, однако отличаются значительными временными затратами, нередко данные виды съёмок связаны с повышенными рисками и не всегда позволяют быстро и безопасно получить полное представление об объекте.

Развитие технологий беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и систем трёхмерного сканирования открыло новые возможности для инженерных изысканий. Сегодня такие комплексы применяются не только для съёмки открытых территорий, но и для обследования замкнутых, труднодоступных и потенциально опасных пространств.

Технологии сканирования и их роль в инженерных изысканиях

В современных инженерных изысканиях значительное место занимают методы трёхмерного лазерного сканирования, позволяющие получать детализированные пространственные модели объектов и территорий. Эти методы отличаются высокой производительностью, точностью и способностью фиксировать геометрию окружающей среды в цифровом виде. В инженерной практике наибольшее распространение получила аэрофотосъёмка в комплексе с лазерным сканированием, выполняемая с использованием беспилотных летательных аппаратов. Кроме этого в последнее время также внедряется технология SLAM-сканирования, обеспечивающая выполнение работ без зависимости от сигналов ГНСС. Данные методы характеризуются относительной безопасностью для оператора, поскольку позволяют выполнять сбор информации с удалённых позиций, без необходимости непосредственного нахождения в зоне потенциальной опасности.

Лазерное сканирование с БПЛА основано на регистрации отражённых лазерных импульсов от поверхности объекта. Современные LiDAR-системы, интегрированные с GNSS приёмниками и инерциальными измерительными блоками (IMU), обеспечивают пространственную точность до 2–5 см на дистанции сотен метров [3]. Основные преимущества данного подхода:

1. возможность охвата больших территорий за короткое время;
2. высокая плотность точек (до нескольких миллионов в минуту);

3. независимость от освещённости и частичная устойчивость к погодным условиям.

Технология Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) представляет собой совокупность алгоритмов, позволяющих одновременно определять собственное местоположение сканирующего устройства и строить карту окружающего пространства. Ключевым преимуществом SLAM-методов является независимость от спутниковых навигационных систем, что делает их незаменимыми в условиях, где отсутствует или затруднён приём GNSS-сигнала: в подземных выработках, подвалах, тоннелях, промышленных помещениях [4]. Ключевые особенности:

1. независимость от ГНСС;
2. мобильность в процессе съёмки;
3. независимость от освещённости и частичная устойчивость к погодным условиям.

Опыт применения БПЛА с лазерным сканированием

В рассматриваемом примере в рамках проекта по геодезической съёмке территории карьера применялся воздушный лазерный сканер CHCNAV AA10, установленный на квадрокоптер Matrice 350. Такой комплекс позволил оперативно и с высокой точностью получить трёхмерные данные рельефа и объектов местности.

Цели съёмки:

1. Создать ЦММ.
2. Векторизовать новое положение уступа борта карьера.
3. Определить объём вынутой массы породы.

Параметры полёта:

1. Высота — 100 м.
2. Скорость — 10 м/с.

Временные затраты:

1. Сбор данных — 40 минут.
2. Обработка данных — 90 минут.
3. Расчёт объёмов — 30 минут.

Результаты работы представлены на прилагаемых изображениях, демонстрирующих полученные модели местности, векторизованные объекты и рассчитанные объёмы. Оценочная абсолютная точность полученного облака точек ~ 3 см.

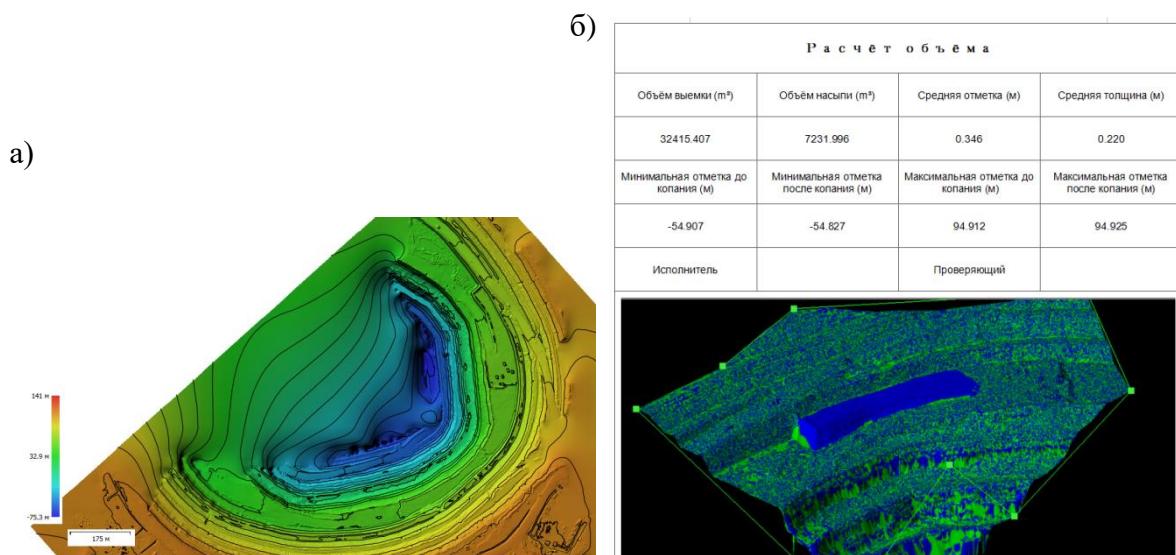


Рис. 1. а) ЦММ; б) Расчёт объёмов выработки

Опыт применения SLAM-сканирования

В случаях, когда аэросъёмка с дронов недоступна, а наземное сканирование требует слишком много времени и ресурсов, SLAM-сканирование может стать быстрой и эффективной альтернативой. Так например, в рамках работ по геодезической съёмке горной выработки и забоя для уточнения геометрии и расчёта объёмов добываемой руды был применён лазерный сканер CHCNAV RS10, работающий в режиме SLAM. Технология позволила оперативно зафиксировать пространственную форму подземных выработок без использования спутниковой навигации, что особенно важно в условиях ограниченной видимости.

Цели съёмки:

1. Получить детализированную трёхмерную модель горной выработки и забоя.
2. Рассчитать объём вынутой руды.

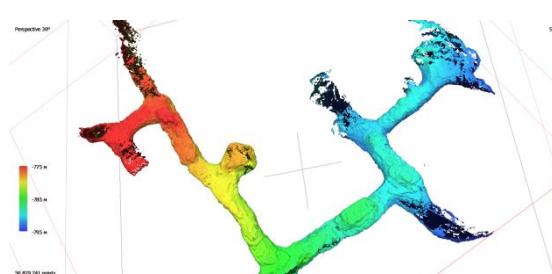
Параметры съёмки:

1. Скорость движения оператора со сканером — 0,5–1 м/с.
2. Время непрерывной съёмки — 25 минут.

Временные затраты:

1. Сбор данных — 25 минут.
2. Обработка облака точек — 30 минут.
3. Расчёт объёмов — 30 минут.

Результаты работы представлены на прилагаемых моделях и схемах, демонстрирующих полученные облака точек, построенные цифровые поверхности и рассчитанные объёмы горной массы. Оценочная абсолютная точность полученного облака точек ~ 3 см.



Расчёт объема			
Объём выемки (м³)	Объём насыпи (м³)	Средняя отметка (м)	Средняя толщина (м)
403 262	57 746	0 523	0 392
Минимальная отметка до копания (м)	Максимальная отметка до копания (м)	Минимальная отметка после копания (м)	Максимальная отметка после копания (м)
-781 727	-781 727	-770 828	-770 828
Исполнитель		Проверяющий	

Рис. 2. а) Облако точек; б) Расчёт объёма вынутой руды

Опыт применения БПЛА со встроенным SLAM-сканером

В ряде случаев использование ручного SLAM-сканера оказывается затруднительным или небезопасным — например, при обследовании горно-обогатительных предприятий, инженерных коммуникаций в подвалах и технических помещениях с ограниченным пространством, где оператор не может свободно перемещаться. Одновременно применение традиционного БПЛА с классическим лазерным сканером невозможно из-за отсутствия

сигнала ГНСС. В таких условиях оптимальным решением становится использование дрона со встроенным SLAM-сканером. Данная технология позволяет выполнять сканирование и визуальный осмотр инженерных систем без спутниковой навигации, обеспечивая при этом безопасность оператора и доступ в труднодоступные зоны.

В данном примере целью съёмки был визуальный осмотр инженерных коммуникаций в подвальном помещении, а также фиксация их фактического расположения.

Параметры съёмки:

1. Высота полёта в помещении — 1,5–3 м.
2. Скорость движения дрона — 0,5–2 м/с.
3. Время непрерывной съёмки — 10 минут.

Временные затраты:

1. Сбор данных — 10 минут.
2. Обработка облака точек — 20 минут.
3. Формирование отчёта — 60 минут.

Результаты представлены на прилагаемых изображениях и схемах, где показаны трёхмерные модели подвала, трассировка инженерных коммуникаций и зафиксированное фактическое их расположение.

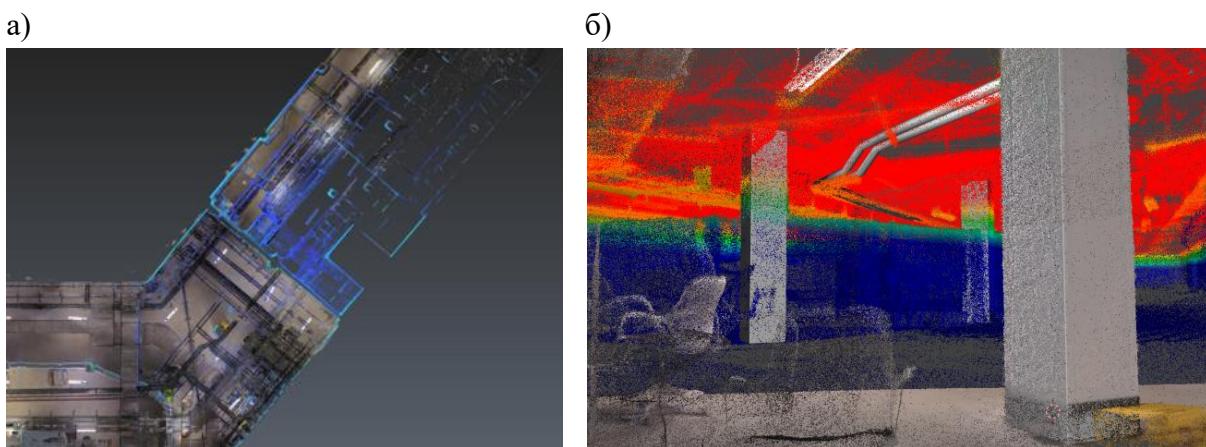


Рис. 3. а) Облако точек; б) Оцифровка коммуникаций

Сканирование выполнялось с помощью защищённого промышленного дрона InnoSpector [5].

Заключение

Применение лазерного сканирования с БПЛА и SLAM-технологий является эффективным инструментом обследования объектов в условиях ограниченной доступности. Рассмотренные примеры подтверждают, что:

1. **БПЛА с LiDAR** оптимальны для внешних труднодоступных зон и протяжённых конструкций.
2. **SLAM-сканирование** незаменимо для внутренних пространств без GNSS.
3. **Комплексное использование** технологий обеспечивает максимальную полноту данных, а также безопасность сотрудников.

В условиях роста потребности в цифровых моделях инфраструктуры, мониторинге состояния объектов и обеспечении безопасности персонала, эти технологии будут занимать

ключевое место в инженерных изысканиях, архитектурном моделировании и промышленной инспекции.

Литература

1. СП 47.13330.2012. Инженерные изыскания для строительства. Актуализированная редакция СНиП 10-01-95 [Текст]. – М.: Минрегион России, 2012. – 58 с.
2. СП 11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства [Текст]. – М.: Госстрой России, 1997. – 45 с.
3. Новиков, В. В. Воздушное лазерное сканирование на базе БПЛА для изучения объектов археологии в европейской части России / В. В. Новиков // Поволжская археология. – 2022. – № 1 (39). – С. 232–246. – DOI: 10.24852/pa2022.1.39.232.246. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozdushnoe-lazernogo-skanirovanie-na-baze-bpla-dlya-izucheniya-obektov-arheologii-v-evropeyskoy-chasti-rossii>
4. FARO Technologies. How SLAM Works [Электронный ресурс] : Article from Resource Library. – Режим доступа: <https://www.faro.com/en/Resource-Library/Article/How-SLAM-works>, свободный. – Заголовок с экрана.
5. InnoSpector [Электронный ресурс] : официальный сайт компании InnoIT. – Режим доступа: <https://innoit.ru/innospector>, свободный. – Заголовок с экрана.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ГЕОДЕЗИИ И ГЕОИНФОРМАТИКИ В ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ

Метелкин П.В.

Центр стратегического анализа ФГУП «ЗащитаИнфоТранс»

Поговорим о современных методах геодезии и картографии, которые активно развиваются и применяются в различных отраслях, особенно в транспортной. Мы рассмотрим три ключевых направления: лазерное сканирование, использование беспилотников и внедрение искусственного интеллекта.

В настоящее время на транспортной отрасли активно развивается строительство новых и реконструкция существующих объектов дорожной транспортной инфраструктуры.

Важнейшим фактором для создания транспортного пространства будет качественное обеспечение геопространственными данными изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных, железных дорог и мостов.

При этом методы получения геопространственных данных (ГПД) и технология выполнения инженерно-геодезических работ для объектов дорожной транспортной инфраструктуры обуславливаются конструктивными особенностями автомобильных и железных дорог.

Для контроля геометрических параметров применяют различные геодезические средства измерений (электронные тахеометры, приемники глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), системы наземного и воздушного лазерного сканирования, референцные станции, беспилотные летательные аппараты).

В современных условиях отсутствует единая система геопространственного обеспечения дорожной транспортной инфраструктуры с учетом достижений науки, техники и технологий.

Кроме того, необходимо разрабатывать методы геодезических работ, основанные на новых теоретических положениях и позволяющие получать более качественные геопространственные данные.

В РФ проводятся работы по внедрению в производство BIM (Building Information Modeling) технологии трехмерного проектирования инженерных объектов.

Однако современные средства измерений и методики производства геодезических работ не всегда корректно применяются для новых методов проектирования и строительства.

Поэтому существует проблема, вызванная необходимостью разработки базы данных методов геодезических работ для автомобильных, железных дорог и мостов, базирующейся на новой информационной основе и позволяющей принимать правильные решения для процессов управления, мониторинга и технического контроля на объектах дорожной инфраструктуры.

1. Лазерное сканирование и применение облаков точек в транспортной отрасли

Первый метод, о котором я хочу рассказать, — это лазерное сканирование. Этот метод позволяет получать высокоточные трехмерные модели объектов и местности. В транспортной отрасли лазерное сканирование используется для:

- Создания цифровых моделей местности. Это помогает в проектировании новых дорог и инфраструктуры.

- Мониторинга состояния объектов. Например, с помощью облаков точек можно отслеживать изменения в состоянии мостов и зданий.
- Проведения топографических съемок. Лазерное сканирование значительно ускоряет этот процесс и повышает его точность.

Облака точек, полученные с помощью лазерного сканирования, могут быть использованы для создания детализированных карт и планов, что делает их незаменимыми в проектировании и управлении транспортными системами.

2. Использование беспилотников в геодезии и картографии

Следующий метод — это использование беспилотных летательных аппаратов, или дронов. Они стали настоящей революцией в геодезии и картографии благодаря своей доступности и многофункциональности. Преимущества использования дронов включают:

- Скорость сбора данных. Дроны могут быстро облетать большие территории, собирая данные с высоты.
- Доступность труднодоступных мест. Беспилотники позволяют проводить съемку в местах, куда сложно добраться наземным способом.
- Качество изображений. Современные дроновые системы оснащены высококачественными камерами и сенсорами, что позволяет получать детализированные изображения для дальнейшего анализа.

Дроны активно используются для создания ортофотопланов, 3D-моделей местности и мониторинга изменений в природной среде.

3. Использование ИИ в геодезии и картографии

Наконец, давайте поговорим о внедрении искусственного интеллекта в геодезию и картографию. ИИ открывает новые горизонты для анализа данных и автоматизации процессов. Его применение включает:

- Обработку больших объемов данных. ИИ может быстро анализировать данные, полученные с помощью лазерного сканирования или дронов, что значительно ускоряет процесс создания карт.
- Прогнозирование изменений. Алгоритмы машинного обучения могут предсказывать изменения в ландшафтах или инфраструктуре на основе исторических данных.
- Автоматическую классификацию объектов. ИИ способен автоматически распознавать и классифицировать объекты на изображениях, что упрощает создание тематических карт.

Таким образом, использование искусственного интеллекта делает процессы геодезии и картографии более эффективными и точными.

Заключение

В заключение, современные методы геодезии и картографии, такие как лазерное сканирование, использование беспилотников и внедрение искусственного интеллекта, значительно изменяют подходы к сбору и анализу данных. Эти технологии не только повышают точность, но и ускоряют процессы, что особенно важно для транспортной отрасли.

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ В РАМКАХ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО РАЗРАБОТКЕ И ПРИМЕНЕНИЮ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В РТУ МИРЭА

Двилянский А.А.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования МИРЭА - Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), г. Москва

Кафедра геоинформационных систем (ГИС) МИРЭА – Российского технологического университета (РТУ МИРЭА) в рамках учебных дисциплин «Основы геодезии» и «Информационное обеспечение геоинформационных ресурсов» ведет подготовку геодезических специалистов по следующим направлениям подготовки бакалавров: 05.03.03 – Картография и геоинформатика (направленность: Геоинформационные системы и комплексы) и магистров 05.04.03 – Картография и геоинформатика (направленность – Аэрокосмическое зондирование, геоинформационные системы и комплексы), применяя современное программное обеспечение (ПО) информационных систем обработки и анализа информации (ИСОАИ, экспертные системы, машинное обучение, нейронные сети, распределенный искусственный интеллект и т.д.), включая пространственные геоинформационные системы (ГИС) с возможностью получения пространственных данных дистанционного зондирования Земли, новейшего навигационного оборудования открывает большие перспективы в области геодезии и картографии, особенно при градостроительстве.

Развитие искусственного интеллекта (ИИ), ГИС-технологий таких как *ArcGIS*, *QGIS* и *Google Maps*, представляющие собой мощные инструменты для получения агрегированной информации, используемой при многокритериальном анализе и выступающими как связующее звено между иерархическими уровнями системы поддержки принятия решений (СППР) в компьютерной автоматизированной системе (КАС) в сложных условиях априорной неопределенности для полного и объективного анализа предметной деятельности – *DSS* (*Decision Support System*) создает необходимые условия для совершенствования традиционных подходов, применяемых в рамках геодезии и картографии (рис.1) [1].

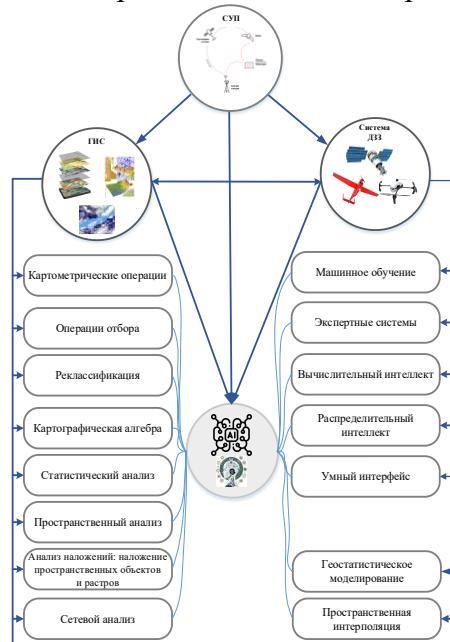


Рис. 1. Возможности сочетания методов ГИС и технологий искусственного интеллекта

СУП – система управления полетами, АИ (ИИ) – искусственный интеллект; ДЗЗ – дистанционное зондирование Земли; ГИС – географические информационные системы

В зависимости от высоты съемки территории различают космическую, аэросъемку и съемку с помощью БПЛА (рис. 2), что очень важно для получения достоверной информации. С одной стороны, эти два источника данных создают значительные объемы данных, способствующих процедуре ДЗЗ, а с другой – каждая система обладает специфическими особенностями съемки, которые являются результатом компромисса между разрешением (пространственным, спектральным и временным), углом прямой видимости и отношением сигнал/шум. Все доступные и дополнительно собранные данные с помощью ГИС и ГНСС обобщаются и обрабатываются с помощью нейросетевых алгоритмов для получения достоверной информации, основанной на многокритериальном методе проведения геодезической разведки [1].

Для получения изображений обследуемой территории и передачи данных (ПД) в режиме реального времени БПЛА оснащаются несколькими камераами с высоким разрешением и датчиками, включая мультиспектральные, гиперспектральные, тепловизионные инфракрасные камеры, радарные системы, инерциальные измерительные устройства (*IMU*), лидар (*LIDAR, Light Detection and Ranging* – технология измерения расстояний с помощью светового (лазерного) луча, позволяющая обнаруживать скопления мельчайших частиц в атмосфере) и устройства *GPS*/

На кафедре ГИС РГУ МИРЭА имеется парк беспилотных летательных аппаратов БПЛА, в частности *DJI Matrice M30T* и комплекс для аэросъемки Геоскан *Gemini* с трёхсистемным двухчастотным *GNSS*-приемником с возможностью встраивания магнитометра (спецификация Геоскан *Gemini 401*) (рис. 2) [2,3].



Рис. 2. Парк БПЛА кафедры геоинформационных систем РГУ МИРЭА: *DJI Matrice M30T* и комплекс для аэросъемки Геоскан *Gemini*

Характеристики *DJI Matrice M30T* [3]

- Размеры (в разложенном виде, без пропеллеров): 470×585×215 (Д×Ш×В) мм
- Диагональная колесная база: 68 мм
- Вес (включая две батареи): 3770 ± 10 г
- Макс. взлетный вес: 4069 г
- Раб. частота [1] 2,4000–2,4835 ГГц; 5,725–5,850 ГГц
- Мощность передатчика (EIRP): 2,4 ГГц: <33 дБм (FCC); <20 дБм (CE/SRRC/MIC); 5,8 ГГц: <33 дБм (FCC/SRRC); <14 дБм (CE)
- Точн. позиционирования RTK: 1 см+1 миллионная доля (по горизонтали); 1,5 см+1 миллионная доля (по вертикали)
- Макс. угловая скорость шаг: 150°/сек.;

- Отклонение от курса: 100°/сек.
- Макс. угол наклона 35° (режим N и система переднего обзора включены: 25°)
- Макс. скорость подъема/спуска: 6 м/с, 5 м/с
- Макс. скорость наклона и спуска: 7 м/с
- Макс. горизонтальная скорость: 23 м/с
- Макс. рабочий потолок над уровнем моря (без другой полезной нагрузки):
– 5000 м (с 1671 винтами)
– 7000 м (с 1676 винтами)
- Макс. сопротивление ветру: 12 м/с
- Макс. время наведения: 36 мин.
- Макс. время полета: 41 мин.
- ГНСС
- GPS+Galileo+BeiDou+ГЛОНАСС (ГЛОНАСС поддерживается только при включенном модуле RTK)
- Раб. Температура: от -20° до 50° С (от -4° до 122° F)
- Подвес
- Угловой диапазон вибрации ±0,01°
- Контролируемый диапазон
- Панорамирование: ±90°.
- Наклон: от -120° до +45°.
- Механический диапазон
- Панорамирование: ±105°
- Наклон: от -135° до +60°
- Поворот: ±45°
- Зум камеры
- Датчик 1/2" CMOS, количество эффективных пикселей: 48М
- Объектив
- Фокусное расстояние: 21–75 мм (эквивалент: 113–405 мм)
- Диафрагма: f/2,8–f/4,2
- Фокус: от 5 м до ∞
- Макс. разрешение видео: 3840×2160
- Максимальный размер фотографии: 8000×6000

Кафедра ГИС в рамках учебного процесса тесно взаимодействует с Федеральной сетью базовых станций EFT-CORS (<https://eft-cors.ru/>), предназначеннной для кинематического позиционирования в реальном времени (RTK), которая включает в себя определение местоположения с высокой точностью с использованием одной или нескольких базовых станций, подключенных к сети спутникового позиционирования (рис.3) [3].

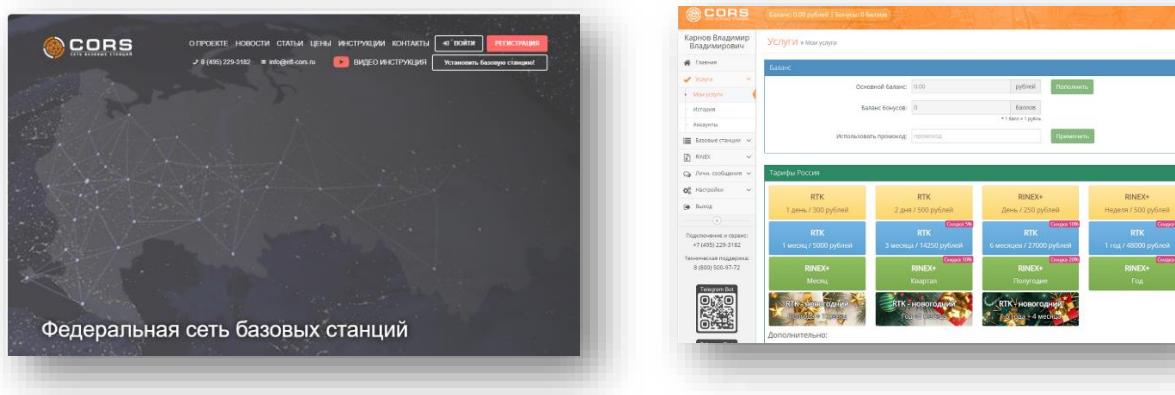


Рис.3. Внешний вид сайта <https://eft-cors.ru/>

На кафедре имеется спутниковый приемник (ГНСС-приемник) *Trimble R8s* и контроллер *Trimble TSC3* для отслеживания спутников с малыми углами возвышения (рис.4,5)



Рис. 4. Спутниковый приемник (ГНСС-приемник)



Рис. 5. Контроллер *Trimble TSC3*

Приёмник *Trimble R8s* может использоваться как самостоятельное устройство, накапливающее данные для последующей камеральной обработки во внутреннюю память, так и в составе системы, объединяющей работу GPS-приемников и электронных тахеометров.

При кинематической ГНСС съемке с постобработкой (PPK) полевое оборудование используется только для записи GNSS-данных, которые программное обеспечение постобработки сможет обсчитать для получения положения с сантиметровой точностью:

- в плане 8 мм + 1 мм/км СКО;
- по высоте 15 мм + 1 мм/км СКО.

Кинематическая съемка в реальном времени (*RTK* – форма съемки, которая включает в себя определение местоположения с высокой точностью с использованием одной или нескольких базовых станций, подключенных к сети спутникового позиционирования):

- от одиночной базы не далее 30 км;
- в плане 8 мм + 1 мм/км СКО;
- по высоте 15 мм + 1 мм/км СКО;

Сетевой *RTK4*:

- в плане 8 мм + 0,5 мм/км СКО;
- по высоте 15 мм + 0,5 мм/км СКО;
- время инициализации обычно <8 с.;
- надежность инициализации обычно >99.9%.

Одновременно отслеживаемые сигналы спутников:

- *GPS*: *L1C/A, L1C, L2C, L2E, L5*;
- ГЛОНАСС: *L1C/A, L1P, L2C/A, L2P, L3*;
- SBAS (ШДПС): *L1C/A, L5* (для спутников, поддерживающих *L5*);
- Galileo: *E1, E5A, E5B*;
- *BeiDou (COMPASS)*: *B1, B2*;
- SBAS (ШДПС): *QZSS, WAAS, EGNOS, GAGAN*;
- Частота измерений: 1 Гц, 2 Гц, 5 Гц, 10 Гц и 20 Гц.

5. Форматы RTK поправок данных ГНСС-приемника *Trimble R8s*:

- ввод и вывод *CMR+*, *CMRx*, *RTCM 2.1*, *RTCM 2.3*, *RTCM 3.0*, *RTCM 3.1*;
- вывод 23 сообщений *NMEA*, *GSOF*, *RT17* и *RT27*, поддержка BINEX и сглаженной несущей.

Технические характеристики контроллера *Trimble TSC3*

- ОЗУ – 256 Мб;
- память – 8Гб + слот под *SDHC*;
- интерфейсы – *USB, RS-232*;
- беспроводная связь – *Wi-Fi, Bluetooth+EDR*;
- навигация – *GPS, WAAS*;
- герметичность корпуса – *IP67*;
- вес – 1,1 кг.

Кафедра в рамках образовательной и научной деятельности тесно взаимодействует с Государственной корпорацией «РОСКОСМОС» (ГК «РОСКОСМОС»), ППК «РОСКАДАСТР», Государственное бюджетное учреждение города Москвы «Московский городской трест геолого-геодезических и картографических работ» (ГБУ «Мосгоргеотрест»), что способствует формированию компетенций выпускников, востребованных на рынке геодезических и картографических услуг.

Литература

1. Valente, J., Hiremath, S., Ariza-Sentís, M., Doldersum, M., Kooistra, L., 2022. Mapping of *Rumex obtusifolius* in nature conservation areas using very high resolution UAV imagery and deep learning. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 112, 102864
2. Официальный магазин DJI RUS. Электронный ресурс: URL: <https://dji-rus.ru/seriya-matrice/matrice-30/kvadrokopter-dji-matrice-30/> [Дата обращения 09.01.2025]
3. Электронный ресурс: URL:<https://dji-market.ru>. [Дата обращения 13.01.2025].
4. URL: Электронный ресурс <https://eft-cors.ru> [Дата обращения 25.05.2025]

СОЗДАНИЕ БАНКА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ ДЛЯ НУЖД СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Коробкова Н.М.

ГБУ Свердловской области «Оператор электронного правительства»

В настоящее время в Российской Федерации и в субъектах Российской Федерации действуют ряд программ, направленных на комплексное развитие территорий населенных пунктов и создание комфортной среды для населения.

Для планирования развития территорий городов и сельских населенных пунктов, разумного распоряжения и эффективного их использования, конечно, требуется хорошая картографическая основа крупных масштабов.

Такая основа создается, как мы знаем, ППК «Роскадастр» за счет средств бюджета Российской Федерации, в том числе для загрузки в ЕЭКО. Это цифровые ортофотопланы масштаба 1:2000.

Но для практической работы, как показывает опыт государственных органов Свердловской области, муниципальных органов требуется картографическая основа более крупного масштаба — 1:500.

Почему?

Такая основа более детализирована, содержит больше информации, особенно если это касается проектирования.

Картографическая основа (цифровые ортофотопланы):

- нужна для организации городского хозяйства (дороги, линии электропередач, системы движения транспорта, освещения, водоснабжения и т. д.);

- позволяет избежать ошибок при проектировании объектов инженерной инфраструктуры, в том числе максимально защитить права собственников и пользователей земельных участков, сократить сроки таких работ;

- вносить изменения в градостроительную документацию, это в первую очередь касается правил землепользования и застройки, более качественно и в сокращенные сроки;

- предоставляет возможность проведения мониторинга использования земель и земельных участков, особенно это касается удаленных территорий;

- помогает избегать ошибок при формировании новых земельных участков, разделе или объединении существующих, их перераспределении;

- положительно влияет на качество выполнения кадастровых работ.

Площадь территории Свердловской области составляет 194 226 кв. км.

Площадь населенных пунктов — 7 284 кв. км, или 3,8% от общей площади территории. Общее количество населенных пунктов — 1844.

Статистика распределения территории населенных пунктов Свердловской области по видам собственности свидетельствует, что лишь около половины земель разграничена в собственность Российской Федерации, Свердловской области и муниципальную собственность и принадлежат на праве собственности физическим и юридическим лицам. Отсюда происходят задачи по разграничению, эффективному распоряжению и управлению земельными ресурсами.

Около 70% территории Свердловской области занимают лес, болота и водные объекты. А это лесные пожары, паводки, чрезвычайные ситуации природного и техногенного

характера. Чтобы прогнозировать их воздействие на города, на большие и малые сельские населенные пункты, также надо иметь перед собой крупномасштабный картографический материал.

Кроме того, актуальная картографическая основа необходима для реализации инвестиционных проектов и быстрого подбора земельных участков.

Необходим банк пространственных данных, который должен удовлетворить потребности органов власти региона, органов местного самоуправления, а также иных заинтересованных лиц: проектировщиков, кадастровых инженеров и т. д.

С целью формирования пространственных данных, их хранения, учета и актуализации, предоставления всем заинтересованным лицам был образован фонд пространственных данных Свердловской области — РФПД.

На территории Свердловской области региональный фонд пространственных данных создан постановлением Правительства Свердловской области от 22 декабря 2022 № 911-ПП «О создании фонда пространственных данных Свердловской области и внесении изменения в положение о Министерстве цифрового развития и связи Свердловской области», утвержденное постановлением Правительства Свердловской области от 01.07.2021 № 383-ПП».

Положение о РФПД утверждено Постановлением Правительства Свердловской области от 18 апреля 2024 г. № 259-ПП.

Фонд начал свою работу в октябре 2024 года.

Государственное бюджетное учреждение Свердловской области «Оператор электронного правительства» было определено в качестве Фондодержателя.

На сегодня в РФПД уже учтены цифровые ортофотопланы масштабов 1:500 и 1:2000, единые 3D-стереомодели населенных пунктов, цифровые модели (матрицы) рельефа, фотограмметрические проекты, аэрофотоснимки. Эти материалы созданы в отношении территорий населенных пунктов. Также есть цифровые ортофотопланы масштаба 1:10000 на межселенную территорию, но их немного. Все эти материалы выполнены за счет бюджета Свердловской области в 2022 и 2024 годах. Кроме того, в РФПД поступают пространственные данные от органов местного самоуправления, созданные в рамках исполнения муниципальных контрактов. Такая норма предусмотрена Положением об РФПД. По состоянию на 1 августа 2025 года общее количество документов РФПД составило 689,8 тыс. единиц хранения. База метаданных выложена на сайте Фондодержателя и доступна всем заинтересованным лицам.

О поступлении в РФПД новых материалов уведомляется Федеральный фонд пространственных данных. С учетом переданных в ФФПД цифровых ортофотопланов масштаба 1:2000 достигнут высокий процент обеспеченности территорий населенных пунктов Свердловской области актуальной картографической основой. По состоянию на 1 июля 2025 года он составил 95%.

Одновременно с созданием пространственных данных в подсистеме «Региональная геоинформационная система Свердловской области» информационной системы для организации мониторинга социально-экономического развития Свердловской области был доработан функциональный модуль «Фонд пространственных данных Свердловской области» (далее — Модуль).

В настоящее время все пространственные данные, учтенные в РФПД, размещены в Модуле.

Модуль позволяет пользователям получать беспрепятственный доступ к актуальной и достоверной картографической, семантической информации о пространственных данных и материалах.

Пользователями Модуля на сегодня являются представители исполнительных органов государственной власти (Министерство по управлению государственным имуществом Свердловской области, Министерство строительства и инфраструктуры Свердловской области, Министерство транспорта и дорожного хозяйства Свердловской области), представители муниципальных образований Свердловской области и подведомственных им учреждений.

Посредством штатного функционала Модуля пользователи могут осуществлять поиск пространственных данных в границах территории муниципального образования, отдельного населенного пункта и просматривать их.

Кроме того, данные Модуля можно использовать одновременно со сведениями из других слоев РГИС. Например, при визуализации ортофотоплана на территорию населенного пункта или муниципального образования, возможно подгрузить данные из модуля имущественного комплекса, позволяющего отображать сведения из ЕГРН о кадастровом делении и границах объектов недвижимости. Также возможно на картографических материалах отобразить данные из модуля градостроительной деятельности: границы муниципальных образований, населенных пунктов, территориальных зон, зон с особыми условиями использования территории (например зоны затопления и подтопления, санитарно-защитные зоны, зоны минимальных расстояний магистральных трубопроводов и др.).

Одной из функций Модуля является взаимодействие с заявителями при предоставлении материалов РФПД, что позволяет заинтересованному лицу не только формировать заявление с приложением дополнительных документов, но и видеть весь процесс его обработки, включая регистрацию заявления и его рассмотрение.

Запрошенные материалы предоставляются в электронном виде.

Материалы РФПД не имеют ограничительных грифов и могут быть предоставлены всем заинтересованным лицам.

Заявителями выступают органы местного самоуправления — для наполнения крупномасштабной картографической основой своих внутренних АИС, филиал ППК «Роскадастр» — для выполнения комплексных кадастровых работ; кадастровые инженеры и организации, оказывающие услуги в сфере кадастровых работ и землеустройства. В настоящее время к данному списку добавились суды.

Развитие Модуля по мере его использования будет продолжено. На 2025 год уже заключен контракт на выполнение работ по его развитию. В планах — увеличение количества пользователей Модуля, полная автоматизация процесса предоставления пространственных данных и наполнение актуальными материалами.

На 2025 год запланировано создание пространственных данных на территории 107 населенных пунктов общей площадью 1 377,91 кв. км.

В настоящее время формируется план работ на 2026-2028 годы. Финансирование мероприятий по созданию пространственных данных, по развитию Модуля и его технической поддержке осуществляется в рамках государственной программы Свердловской области «Информационное общество Свердловской области», утвержденной постановлением Правительства Свердловской области от 29.12.2021 №1050-ПП.

При планировании работ по созданию пространственных данных учитываются предложения органов государственной власти Свердловской области, органов местного самоуправления, а также территориальных органов Росреестра и ППК «Роскадастр», а также сведения о наличии материалов в ФФПД. Также учитывается информация о предстоящем упразднении населенных пунктов.

Проблемы:

1. Нормативная база регионального фонда пространственных данных включает в себя законы, постановления, приказы и другие нормативные акты, регулирующие создание, ведение и использование пространственных данных на уровне субъекта Российской Федерации.

Нормативная база определяет технические требования к пространственным данным, правилам их предоставления и использования.

Учет пространственных данных в фондах пространственных данных осуществляется на основе порядка, установленного законодательством Российской Федерации. Основные моменты включают создание и ведение фондов, определение состава пространственных данных, порядок их передачи и включения в фонды, а также правила доступа к ним.

Порядок учета пространственных данных в фондах пространственных данных представляет собой сложный процесс, который требует соблюдения установленных правил и норм.

Для ведения фонда пространственных данных реализуются организационно-технические мероприятия, направленные на оптимизацию процессов ведения фонда. Автоматизация ведения фонда достигается использованием соответствующей информационной системы. Для построения информационной системы ведения любого фонда пространственных данных должен быть использован некий комплекс ведения банка данных.

В настоящее время отсутствует единый комплекс, который мог бы использоваться всеми региональными фондами, что могло бы облегчить, на наш взгляд, взаимодействие с федеральными информационными ресурсами, и обеспечить единство в учете документов.

КБ «Панорама» разработан комплекс ведения банка данных цифровых карт и дистанционного зондирования земли (Банк данных ЦК и ДЗ) с бессрочной лицензией стоимостью около 700 тыс. руб. При этом для функционирования требуется приобретение еще ГИС Сервер x64 стоимостью не менее 234, 1 тыс. руб. Комплекс обеспечивает выполнение основных технологических процессов и используется в составе информационной системы ведения федерального фонда пространственных данных (ИС ФФПД). Для ГБУ Свердловской области «Оператор электронного правительства», который является Фондодержателем, это большие деньги. В связи с этим учет пространственных данных осуществляется в ручном режиме в виде табличных форм.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ:

Необходимо разработать более простой комплекс ведения банка данных регионального фонда пространственных данных, который мог бы использоваться на уровне субъектов РФ, и при этом позволял бы оптимизировать процесс ведения фонда.

ГБУ Свердловской области «Оператор электронного правительства» является заказчиком работ по созданию пространственных данных на территорию Свердловской области, финансируемых из бюджета Свердловской области.

Нормативные акты, регулирующие создание пространственных данных в России, включают Федеральный закон от 30.12.2015 № 431-ФЗ «О геодезии, картографии и пространственных данных», а также ряд постановлений Правительства РФ и ГОСТов.

Вместе с тем при планировании работ по созданию пространственных данных возникают трудности при определении стоимости затрат на выполнение работ по созданию этих пространственных данных. В настоящее время действуют Сметные укрупненные расценки на топографо-геодезические работы (СУР-2002), которые устарели и не отвечают современным реалиям. Появились новые виды пространственных данных, изменились технологии выполнения работ, используются другие приборы и программное обеспечение. Как следствие, при планировании работ, финансируемых из бюджета субъекта Российской Федерации, приходится запрашивать предложения о ценовой информации в организациях, выполняющих геодезические и картографические работы. При сравнении полученной ценовой информации выясняется, что цена выполнения работ по созданию одних и тех же пространственных данных разными организациями, значительно отличается друг от друга.

В результате при планировании создания пространственных данных для расчета стоимости работ берется наименьшая цена из представленных предложений. В конечном итоге это оказывается на качестве создаваемых пространственных данных. Организация, выигравшая конкурс в результате занижения стоимости работ, с целью экономии затрат на выполнение работ вынуждена нарушать технологию выполнения работ, либо нарушать какие-то требования, установленные ГОСТами.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ:

Необходима разработка новых расценок на работы, выполняемые с использованием современных технических средств, передовой технологии и организации труда.

О МЕТОДАХ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ПРИВЯЗКИ СНИМКОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

*Михайлов В.Ю., Промптов И.А., Пшеничный П.В., Тагиров Р.Р., Шаймухаметов Р.Р.
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»*

Задачи картографирования требуют значительных затрат ручного труда и использования геоинформационных систем с обязательной привязкой к координатной сетке. Однако в некоторых случаях, особенно на начальных этапах обработки изображений, при подготовке предварительной визуализации и в процессе обучения более уместен подход, ориентированный на визуальную пространственную привязку – сопоставление объектов на спутниковом снимке с их условным отображением на карте. Данный подход можно рассматривать как задачу условной генерации изображений, где входом служит снимок поверхности Земли, а выходом – картографическое изображение, отражающее структуру дорог, зданий, объектов.

Одним из наиболее перспективных направлений в данной области стал перевод изображений с помощью моделей машинного обучения, которые способны извлекать и интерпретировать сложные визуальные закономерности. Среди таких моделей особую популярность приобрели архитектуры Pix2Pix [1, 2] и CycleGAN [3]. Каждая из них решает задачу *image-to-image translation*, но отличается своими методологическими основами, требованиями к данным и архитектурными решениями.

Pix2Pix построена на основе генеративной состязательной сети (GAN) и состоит из двух основных частей: генератора и дискриминатора. Генератор пытается создать изображение, максимально близкое к целевому, а дискриминатор – отличить сгенерированное изображение от настоящего. Обе сети обучаются совместно, постоянно улучшаясь: генератор становится все более точным, а дискриминатор – все более избирательным.

Особое внимание в Pix2Pix удалено архитектуре генератора: она реализована на основе U-Net, что позволяет сохранять детальные пространственные признаки и эффективно восстанавливать мелкие объекты. Благодаря пропускным соединениям (*skip connections*) между слоями кодировщика и декодировщика создается точная передача данных о границах и формах объектов. Для задачи генерации картографических изображений данная особенность очень важна, так как каждый пиксель имеет важное значение в структуре карты.

Основная суть архитектуры CycleGAN [4] заключается в циклических преобразованиях. То есть, если перевести исходное изображение из одного в другое, а потом сделать обратное преобразование, то в результате полученное изображение должно быть максимально похоже на исходное. Это накладывает жесткое ограничение на структуру преобразований и заставляет модель сохранять исходные формы, даже без прямого сопоставления между образцами.

Однако у CycleGAN есть и серьезные ограничения, так как модель работает без привязки к конкретным парам изображений, то она не всегда способна сохранить точную структуру объектов. В задачах, где важны геометрические и пространственные соответствия, в данном случае при генерации картографических слоев, она может искажать форму зданий, смещать границы или вводить артефакты. Обучение модели CycleGAN может занимать

значительно больше времени и требует больших ресурсов, так как данная модель содержит вдвое больше параметров из-за использования двух генераторов и дискриминаторов.

В рамках данной работы выбор был сделан в пользу модели Pix2Pix.

Один из ключевых этапов заключался в подготовке обучающего набора данных, необходимого для корректной работы и обучения модели Pix2Pix. Для достижения наилучших результатов набор данных был сформирован полностью вручную, без использования готовых, что позволило строго контролировать соответствие между изображениями и обеспечивать точность и сопоставимость визуальных признаков. В процессе подготовки данных были использованы открытые и свободные ресурсы, в первую очередь – платформы Яндекс Карты и OpenStreetMap, которые предоставляют удобные инструменты для построения, редактирования и экспорта картографических данных.

Процесс создания каждой пары данных включал следующие шаги:

- 1) выбор участка местности, где были отобраны подходящие фрагменты городской или пригородной территории, в основном содержащие дороги, здания, кварталы и другие элементы инфраструктуры, хорошо различимые как на спутниковых снимках, так и на карте, что обеспечивало наличие четких визуальных ориентиров для обучения модели;
- 2) получение спутникового изображения для каждого выбранного участка, с помощью соответствующего слоя в Яндекс Картах, позволяющего визуализировать спутниковые данные.
- 3) генерация картографического отображения, с помощью использования стилизованных слоев OpenStreetMap с акцентом на структуру объектов: дороги, контуры зданий, развязки и другие элементы городской инфраструктуры. Визуальный стиль карты приводился к единому виду для повышения единообразия в обучающем наборе.

Дискриминатор в модели Pix2Pix играет роль классификатора, который пытается отличить реальные изображения от сгенерированных.

Модель дискриминатора была реализована в функции `define_discriminator(image_shape)`. Входными данными для данной функции является параметр `image_shape`, который определяет размер изображения, далее идет инициализация весов, с нормальным распределением и стандартным отклонением 0.02, для того, чтобы стабилизовать обучение.

Дискриминатор принимает два входных изображения:

- `in_src_image`: исходное изображение, которое необходимо преобразовать (например, черно-белое изображение);
- `in_target_image`: целевое изображение, которое может быть либо реальным (из обучающего набора), либо сгенерированным генератором.

Оба изображения объединяются по каналам (channel-wise), чтобы дискриминатор мог анализировать их совместно. Это важно, так как дискриминатор должен оценивать, насколько хорошо целевое изображение соответствует исходному.

Дискриминатор состоит из нескольких сверточных слоев (Conv2D), которые постепенно уменьшают размерность изображения, извлекая из него признаки [5]. Каждый слой сопровождается нормализацией (BatchNormalization) и активацией LeakyReLU. Активация LeakyReLU с отрицательным наклоном 0.2 помогает избежать проблемы «умирающих нейронов», которая может возникнуть при использовании обычного ReLU.

Далее следуют аналогичные слои с увеличением количества фильтров. Последний слой содержит один фильтр, который выдает одно значение, вероятность того, что изображение реальное.

Сама модель создается с двумя входами (исходное и целевое изображение) и одним выходом (вероятность). Используется оптимизатор Adam с learning rate = 0.0002 и beta_1 = 0.5. Функция потерь – бинарная кросс-энтропия, так как задача дискриминатора – бинарная классификация (реальное или поддельное изображение). Вес потерь установлен на 0.5, чтобы сбалансировать влияние дискриминатора на общую модель [5].

Таким образом, дискриминатор в модели Pix2Pix – это сверточная нейронная сеть, которая принимает два изображения (исходное и целевое) и пытается определить, является ли целевое изображение реальным или сгенерированным. Он состоит из нескольких сверточных слоев, которые постепенно уменьшают размер изображения и извлекают из него необходимые признаки. В конце работы модели выводится показатель вероятности того, что изображение реальное. Процесс обучения направлен на оптимизацию и минимизирование бинарной кросс-энтропии, для того, чтобы улучшать способность отличать реальные изображения от поддельных.

Для успешного обучения модели Pix2Pix были вручную подобраны и использованы следующие гиперпараметры, влияющие как на сходимость, так и на стабильность процесса:

- количество эпох: 100. Обучение модели проводилось в течение 100 полных проходов по обучающему датасету. Эмпирически установлено, что этого количества достаточно для достижения устойчивого качества генерации при заданной архитектуре и размере набора данных;

- размер батча (batch size): использование одиночного изображения в каждом шаге обучения является стандартом для GAN-архитектур, поскольку это повышает разнообразие градиентов и способствует более стабильному обучению дискриминатора;

- размер изображений: 256×256 пикселей. Все изображения были приведены к фиксированному размеру 256×256, что обеспечило унификацию входных данных и совместимость с U-Net-архитектурой генератора;

- оптимизатор: Adam, Learning rate (скорость обучения): 0.0002, β1: 0.5, β2: 0.999. Выбор данных параметров обусловлен рекомендациями из оригинальной статьи Pix2Pix и эмпирическими результатами. Низкое значение β1 снижает «инерцию» градиентов и делает обучение более чувствительным к изменениям, что полезно в нестабильной среде GAN;

- функции потерь: GAN loss (Binary Cross Entropy): используется для оценки правдоподобности сгенерированных изображений по отношению к реальным, L1 loss: средняя абсолютная ошибка между выходом генератора и эталонной картой, направленная на улучшение сходства по пикселям;

- взвешивание потерь: λ=100. Значение λ выбрано исходя из баланса между реализмом и точностью генерации. При меньших значениях генератор терял структурную четкость, при больших – изображения становились слишком «жесткими» и неестественными;

- активации: для генератора: LeakyReLU в энкодере, ReLU в декодере, Tanh на выходе, для дискриминатора: LeakyReLU. Нормализация: BatchNorm использовалась во всех слоях генератора и дискриминатора, за исключением последнего слоя выходов. Dropout: Применен в декодере генератора (на уровнях upsampling) с вероятностью 0.5 – в целях регуляризации и борьбы с переобучением;

– аугментации: горизонтальное отражение (50% вероятности), поворот на $\pm 10^\circ$, легкие цветовые искажения на входных изображениях (satellite side). Даные техники применялись во время загрузки данных для повышения обобщающей способности модели;

– частота сохранения моделей: каждые 10 эпох генерировались контрольные изображения, и сохранялись веса генератора и дискриминатора для возможности тестирования и внесения изменений в код программы.

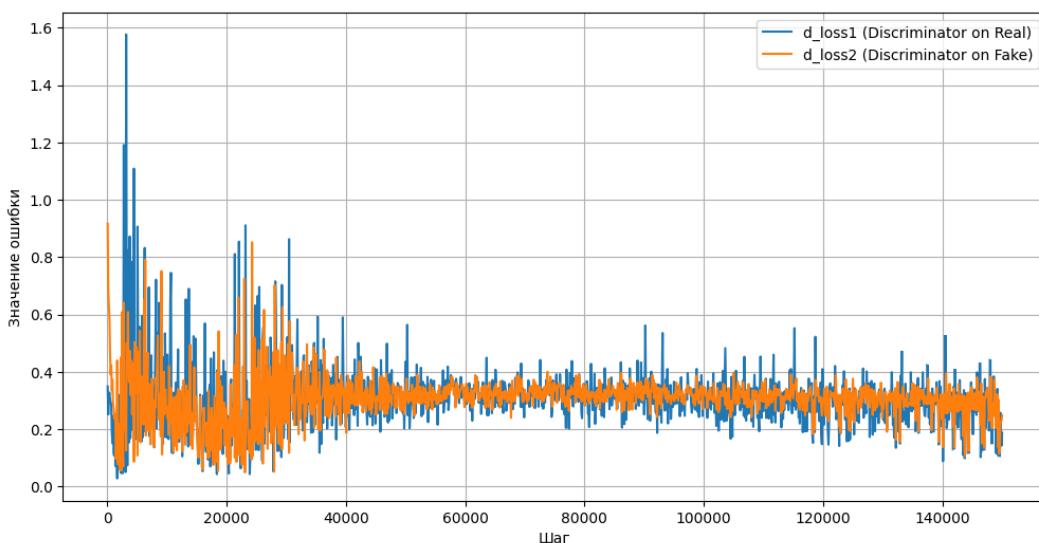


Рис. 1. График ошибок дискриминатора на реальных и сгенерированных изображениях

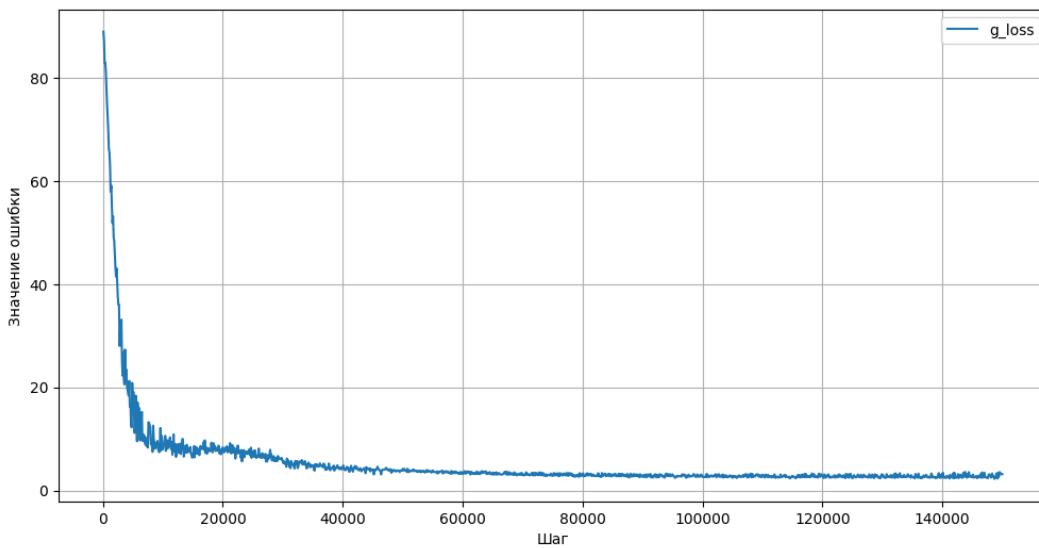


Рис. 2. График ошибок работы генератора

Рисунки 1 и 2 показывают, что на начальных этапах обучения наблюдается резкое снижение значение ошибки генератора, что свидетельствует о том, что генератор научился распознавать основные закономерности реальных изображений. Далее, значение ошибки начинает плавно убывать и сходимость процесса обучения становится более устойчивой. Отсутствие резких колебаний также указывает на стабильность процесса обучения модели. На поздних этапах значение ошибки стабилизируется. Таким образом, модель демонстрирует устойчивую сходимость и способность генерировать хорошие поддельные изображения.

Полученная модель может использоваться как вспомогательный инструмент при предварительном картографировании, анализе территорий, моделировании городской среды и других прикладных задачах, связанных с обработкой данных дистанционного зондирования Земли.

Литература

1. Deep Learning in Remote Sensing: A Comprehensive Review and List of Resources / X. X. Zhu, D. Tuia, L. Mou, G. S. Xia, L. Zhang, F. Xu. // IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine. - 2017. - № 9. - С. 8-36. - URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8113128>.
2. Image-to-Image Translation with Conditional Adversarial Networks / Phillip Isola, Jun-YanZhu, Tinghui Zhou, AlexeiA.Efros - Текст : электронный // arXiv:1711.11585
3. A Review of Practical AI for Remote Sensing in Earth Sciences / B. Janga, G. P. Asamani, Z. Sun, N. Cristea. – Текст : электронный // Remote Sens. - 2023. - С. 1-34. - URL: <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/16/4112>.
4. Artificial Intelligence for Remote Sensing Data Analysis: A review of challenges and opportunities / L. Zhang, L. Zhang. - Текст : электронный // IEEEGeosci. Remote Sens. - 2022. - № 10. - С. 270-294. - URL: https://www.researchgate.net/publication/373331678_A_Review_of_Practical_AI_for_Remote_Sensing_in_Earth_Sciences.
5. Artificial Intelligence and Machine Learning for Earth Science / S. A. Oudfeul, S. D. Jawak, A. Shirzadi, M. O. Idrees. - Текст : электронный // Frontiers in Earth Science. - 2023. - № 10. - С. 1-20. - URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2022.1090016/full>. - URL:[1711.11585] High-Resolution Image Synthesis and Semantic Manipulation with Conditional GANs.

МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА ГЕОДИНАМИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ ПАО «ТАТНЕФТЬ» В НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ РАЙОНАХ ТАТАРСТАНА

*Сахаутдинов Р.В.¹, Гилаев Д.М.², Кузьмин Ю.О.³, Загретдинов Р.В.⁴, Рахматуллин М.Х.⁵,
Загретдинов А.А.⁶, Комаров Р.В.⁷, Бахтиаров В.Ф.⁸*

^{1,2} Публичное акционерное общество «Татнефть» им. В. Д. Шашина

³ Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН

^{4,6,7} ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

⁵ Институт прикладных исследований Академии наук Республики Татарстан

⁸ ООО «НПК ГЕОПОЛИГОН КФУ»

В докладе представлено описание созданных на комплексном геодинамическом полигоне ПАО «Татнефть» в нефтедобывающих районах Татарстана сети сейсмостанций, протяженной сети высокоточных нивелирных ходов и развитой сети дифференциальных геодезических станций. По результатам 20-летних повторных нивелирных измерений выявлены проявления аномалий типа γ (локальных оседаний), которые характеризуют зоны современной геодинамической активности. По данным протяженных временных рядов изменений координат пунктов сети дифференциальных геодезических станций выявлены деформации земной поверхности в плане для двух близко расположенных пунктов. Проведено сравнение результатов определений высот одного совмещенного пункта, выполненных с помощью спутникового метода и нивелирования. Развернутая сеть ГНСС станций активно используют при выполнении геодезических и кадастровых работ, при поиске, разведке, разработке и обустройстве нефтяных месторождений, при мониторинге региональной геодинамической обстановки.

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВОЙ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОДЗЕМНОГО ГАЗОНЕФТЕПРОВОДА ДЛЯ КИНЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИЗМЕНЕНИЙ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ

Сильвестров С.А.¹, Комаров Р.В.², Шаймухаметов Р.Р.³

¹ООО «Астрапроект», г. Казань

^{2,3}ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Вводная часть

Нестабилизированное состояние пространственного положения магистрального газонефтепровода на слабонесущих, многолетнемерзлых и подвижных грунтах приводит к образованию гофр и опасности разрушения. Анализ положения трубопровода с целью предотвращения недопустимых деформаций производится на основе положений механики деформируемого твердого тела. В настоящее время находит развитие подход, основанный на построении кинетической модели изменений пространственного положения трубопровода, что относится к другому разделу механики (кинематики) – кинематике твердого тела [1, 2]. В настоящей работе исследованы особенности построения цифровой топографической модели подземного газонефтепровода для кинетической модели изменений пространственного положения, связанные с вышеуказанной проблемой.

Термины и определения

Кинетическая модель изменения пространственного положения трубопровода – под указанной формулировкой понимают формальную структуру, представленную в виде математических формул и диаграмм, раскрывающую перемещения трубопровода с течением времени вследствие процессов, обусловленных стремлением любых трубопроводов к переходу в состояние равновесия [3].

Сегмент - под указанной формулировкой понимают элемент трубопровода в виде трубы (или участок меньше длины трубы), трубной секции (участок, состоящий из сваренных встык нескольких труб) или детали трубопровода (отвод, тройник, переход, опоры и т.п.) [3].

Цифровая топографическая модель магистрального трубопровода (ЦТМТ) - массив точек, описывающих трассу магистрального трубопровода по известным геодезическим координатам и высотам, представленная в формате среди компьютерной программы [4].

Кинетическая модель изменения пространственного положения трубопровода

Общая последовательность построения кинетической модели изменений пространственного положения трубопровода такая: сбор данных, измерение координат сегментов, построение ЦТМТ, получение уравнения эволюции, составление прогноза.

Для построения кинетической модели принимается стержневая модель трубопровода в виде объемной магистрали с системой поперечных профилей по пикетажу трассы. Принимается, что система грунт-труба представлена самой себе и перемещения трубопровода, направленные на достижение состояния равновесия, идут постоянно.

Описание трассы трубопровода производится построением цифровой топографической модели, что позволяет обеспечить точность отображения геометрии трубопровода, достаточную для описания малых перемещений. В качестве исходных данных берутся результаты определения планово-высотного положения магистрального трубопровода и цифровые модели местности, проведенные ранее в разные периоды геодезическими методами,

методами внутритрубной инспекции, аэрофотосъемки. Длину трубопровода рассматривают как последовательное соединение сегментов количеством N (N – натуральное число), имеющих узлы s_n . Узлы s_n определяют координаты сегмента и расположены в середине его длины, имеют измеренные координаты s_n , где a - номер оси координат [3].

Производят измерения координат положения сегментов трубопровода геодезическими приборами, методами внутритрубной инспекции, аэрофотосъемки; по совокупности данных определяют текущее пространственное положение сегментов трубопровода.

Уравнение эволюции пространственного положения магистрального трубопровода выводится в следующей последовательности (см. Рис. 1): в каждый из измеренных ранее данных цифровой топографической модели геометрия трубопровода сглаживается кусочно-полиномиальной кривой – сплайном; далее по наборам сплайнов каждого сегмента выводятся уравнения интерполяционных полиномов, на основе которых формируются соотношения, позволяющие описать эволюцию пространственного положения трубопровода и вычислить прогнозное состояние с дальнейшей оптимизацией по алгоритму обобщенного фильтра Кальмана [3].

По прогнозным значениям координат сегментов разрабатывают прогнозный сплайн пространственного положения трубопровода для заданного интервала времени и вычисляют величину вероятности реализации прогноза. Определяют прогноз изменений пространственного положения трубопровода как разность прогнозного и последнего измеренного значений.

По результатам работ формируют отчет, содержащий изменения пространственного положения трубопровода в заданном интервале времени, вероятность реализации прогноза и показатель свободной энергии трубопровода на единицу длины. Следует отметить, что показатель свободной энергии может быть использован в дальнейших расчетах как с использованием теории сопротивления материалов, так и формализма математической физики.

Построение цифровой топографической модели магистрального трубопровода

ЦТМТ создается известными геодезическими способами [4]. За поверхность относимости системы координат принимается поверхность, редуцированная на референц-эллипсоид Красовского, и содержащая точку высотной отметки начального пункта трубопровода – насосной/компрессорной станции.

Так как для подземного трубопровода продольные ориентиры: сварные швы, элементы трубопровода, специальные отметки – обычно недоступны, возникает проблема измерения значений координат продольных перемещений. Задача измерения значений координат продольных перемещений решается введением мнимых осей трубопровода. За глобальную ось трассы принимается луч от начального пункта до конечного (следующая по направлению насосная/компрессорная станция, резервуарный парк), за ось трубопровода – осевая линия трубы. При необходимости, например, при наличии защемленных участков трассы (задвижки, анкерные крепления и т.п.) могут быть проведены территориальные, групповые и локальные оси трубопровода. Продольные перемещения оцениваются прямыми измерениями (по возможности) или посредством контроля экстремумов отклонения осевой линии трубы от глобальной (или другой, при наличии) оси трубопровода, т.е. участков с характерной кривизной.

Поиск и координирование оси подземного трубопровода

Поиск подземного стального трубопровода выполняют трассоисковым комплектом, включающим генератор и локатор работающих на одной частоте. Используется индукционной способ наведения тока на коммуникацию, являющуюся проводником. Подключение генератора выполняют прямым подключением (гальваническое) если есть выход коммуникации на поверхность, либо связь с трубой (КИК, задвижка и т.д.). В случае отсутствия возможности прямого подключения генератора к трубе, наведение тока осуществляют индукционным методом (по рамке), расположив генератор непосредственно над трубой на земле. Осуществляя поиск коммуникации с помощью генератора достигается наиболее точный результат определения оси трубы и глубины ее заложения до центра трубы. Точность определения оси трубопровода в среднем составляет 2-5 см.

Координирование оси трубопровода осуществляется, как правило, используя ГНСС (Глобальные Навигационные Спутниковые Системы) приемником относительным методом либо электронным тахеометром. В обоих случаях работы выполняются с точек с известными координатами и высотными отметками (реперами). Координаты и высотные отметки реперов, в свою очередь определяются относительного пунктов ГГС (государственная Геодезическая Сеть) и ГНС (Государственная Нивелирная Сеть). Точность определения координат ГНСС и тахеометром составляет 5-10 мм в плане и по высоте.

Ошибка определения плановых координат оси трубопровода состоит из нескольких составляющих:

- ошибка поиска оси трубы трассоискателем $\pm 2 - 5$ см;
- ошибка определения координат относительно репера $\pm 0.5 - 1$ см;
- ошибка определения координат репера относительно пунктов ГГС $\pm 1 - 5$ см;

Ошибка определения высотных отметок оси трубопровода состоит из нескольких составляющих:

- ошибка определения глубины залегания трубы трассоискателем $\pm 10-20$ см;
- ошибка определения отметки на земной поверхности относительно репера $\pm 0.5 - 1$ см;
- ошибка определения отметки репера относительно пунктов ГНС $\pm 1 - 2$ см.

Суммарная ошибка определения плановых координат оси трубопровода может варьировать в пределах 4 – 11 см, отметок – 12 – 23 см. Таким образом, погрешность определения координат оси трубопровода позволяет построить кинетическую модель прогнозирования изменений пространственного положения газонефтепроводов.

Следует отметить, что в зависимости от различных внешних условий и геодезические ошибки могут быть увеличены в 2-3 раза, поэтому в ходе работ необходимо оценивать ошибки измерения.

Выводы

Построение кинетической модели основано на условном разграничении длины трубопровода на сегменты и периодическое измерение их координат со специальной математической обработкой, позволяющей выявить эволюцию пространственного положения сегментов и газонефтепровода в целом. Такой подход позволяет обеспечить условия безопасной эксплуатации и кратко снизить расходы на ремонт газонефтепровода. Одновременно анализ с разграничением трубопровода на сегменты имеет особенность – необходимо с достаточной точностью определять не только поперечные координаты сегментов, но и продольные значения. В настоящей работе задача решается проведением

дополнительных геодезических измерений участков с характерной кривизной с последующей математической обработкой. Полученные результаты свидетельствуют, что точность определения координат оси трубопровода позволяет построить кинетическую модель изменений пространственного положения магистрального газонефтепровода.

Литература

1. Сильвестров С.А., Кантемиров И.Ф. Ремонт магистральных нефтегазопроводов методом математического моделирования пространственной кинетики в условиях холодного климата. Сборник трудов XI Евразийского симпозиума по проблемам прочности и ресурса в условиях климатически низких температур «EURASTRENCOLD-2023», посвященного 85-летию со дня рождения академика В.П. Ларионова. Редакционная коллегия: чл.-корр. РАН Лебедев М.П., Лукин Е.С. к.т.н. (отв. редактор), Протодьяконова Н.А. к.ф.-м.н., Иванов А.Р. к.т.н., Ильин Г.Ю. –Якутск, 2023. <https://cloud.mail.ru/stock/3THGcwL7Z6WExFKAUnH9o8Jy>.
2. Кантемиров И.Ф., Сильвестров С.А. Развитие кинетических методов стабилизации магистральных газонефтепроводов. XVIII Международной научно-практической конференции «ТРУБОПРОВОДНЫЙ ТРАНСПОРТ – 2023». г. Уфа, УГНТУ-2023
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=64316797&pff=1>, стр. 258-259.
3. Сильвестров С.А., Чистяков Д.В., Сильвестров А.С., Кантемиров И.Ф. Описание изобретения «Способ прогнозирования изменений пространственного положения магистрального трубопровода на основе кинетической модели». Уведомление о приеме и регистрации заявки от 09.07.2025г вх. № W25044715, рег.№ 2025118958. ФИПС, www.fips.ru/registers-web.
4. Авакян В.В. Прикладная геодезия: геодезическое обеспечение строительного производства. Учебное пособие для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Академический проект, 2017. – 588 с. (см. 303с.) (Gaudeamus: Библиотека геодезиста и картографа).

МОНИТОРИНГ СМЕЩЕНИЙ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ РАДАРНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

*Булатова Л.И., Назаров Р.Р.
ООО «Эридан»*

Техногенные объекты различного назначения подвержены многочисленным внешним нагрузкам, в том числе и вызванных смещением земной поверхности, которые могут в дальнейшем привести к нарушению целостности объекта и вывода его из эксплуатации.

Поэтому важно отслеживать тенденции в смещении инфраструктурного объекта и окружающего грунта, чтобы своевременно обнаруживать признаки опасности и предотвращать аварийные ситуации. Традиционно, наблюдения за подобными смещениями выполнялись трудоемкими и дорогостоящими геодезическими методами.

За последние несколько лет мониторинг деформаций с помощью радарной интерферометрии продвинулся от интерпретации нескольких пар радарных изображений до анализа многотемпоральных рядов радарных снимков. Конечной целью было уменьшение артефактов, вызванных аномалиями атмосферной задержки, ошибками орбиты и потерей когерентности измерений, с целью повышения точности измерений деформаций. Метод устойчивых отражателей (PSI) в радарной интерферометрии зарекомендовал себя как инструмент успешно применяемый для как мониторинга оползней с дециметровыми смещениями, так и оседаниями городских территорий со смещениями 2-3 мм (Ferretti, et al., 2001). Данный метод дистанционного зондирования характеризуется использованием, значительного по количеству, набора радарных изображений, полученных над одной и той же областью, для измерения и отслеживания небольших изменений на поверхности. Пиксели, имеющие сильное и постоянное отражение в течение длительного периода времени на радарном снимке, называются устойчивыми отражателями. Обычно точками устойчивого отражения могут являться объекты как искусственного так и естественного происхождения. Таким образом метод устойчивых отражателей идеально подходит для прогнозирования и предотвращения аварийных ситуаций объектов инфраструктуры, связанных со смещением земной поверхности.

В данной работе представлены результаты мониторинга инфраструктуры города Казань и автомобильной дороги М-12. Радарные снимки были получены спутником Sentinel-1A и Sentinel-1C (данные представлены в открытом доступе) и все последующие этапы обработки были выполнены с использованием открытых ПО (Snap, StamPS).

Для объектов городской застройки период мониторинга был определен с апреля 2023 по июль 2025 год. По результатам радарной интерферометрии у ряда объектов инфраструктуры были выявлены значительные деформационные явления, которые подобно описаны далее.

1. Территория городского канализационного коллектора (Кировский район г. Казани)



Рис. 1. Представлены устойчивые отражатели, выявленные для канализационного коллектора, и графики смещения для 1 точки с величиной смещения -11 мм и 2 точки: -7 мм.

Для данного объекта были выявлены области со значительными смещениями. На графиках изменения величины смещения устойчивых отражателей (рисунок 1) наблюдается отрицательный тренд. Даный факт, говорит о том, что на данном объекте имеют место процессы деформации. Также стоит отметить, что с 17 октября 2023 года смещения резко изменили свои значения с положительной области в отрицательную.

2. Кремлевская дамба (левый берег р. Казанка)

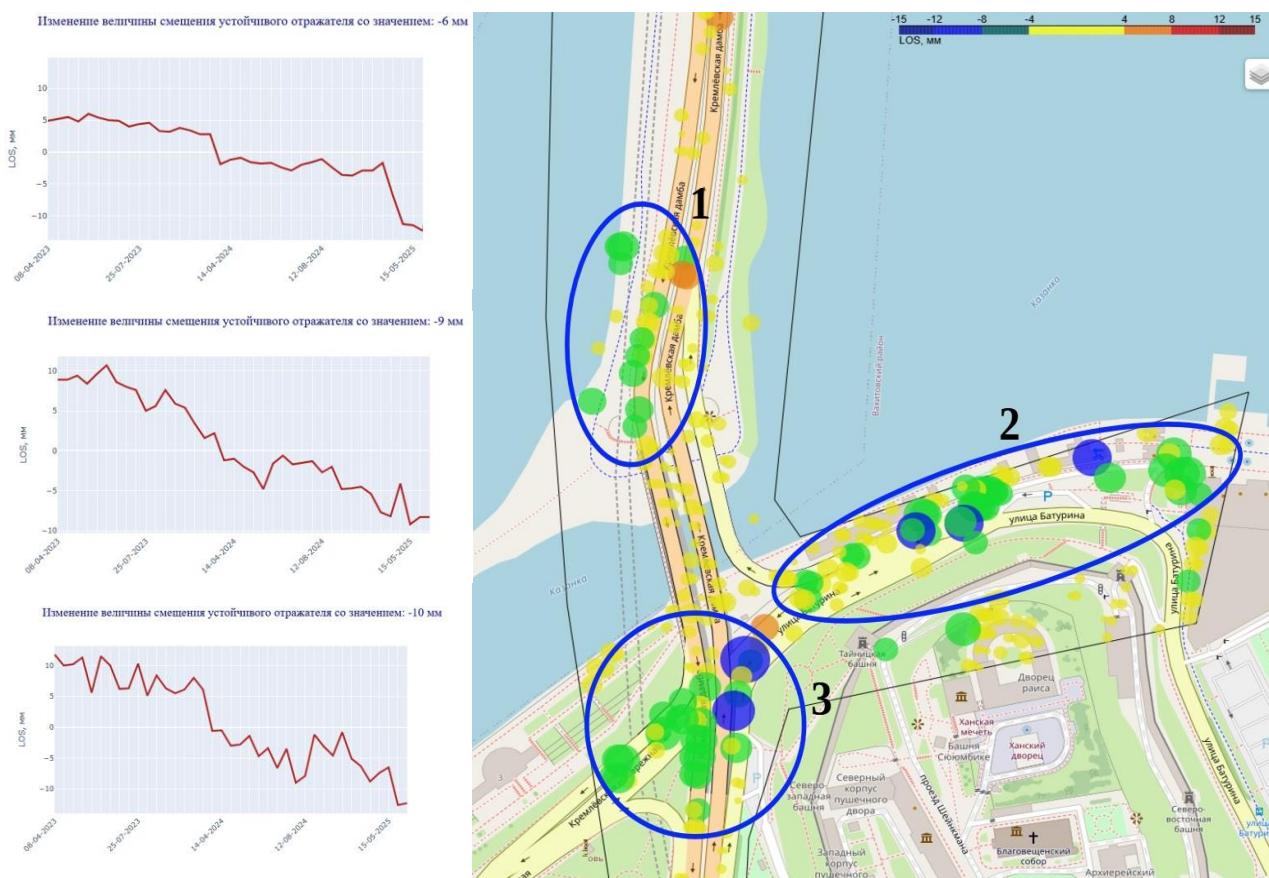


Рис. 2. Представлены устойчивые отражатели, выявленные для развязки кремлевской дамбы, и графики смещения для точек трех областей деформаций

Из графиков изменения величины смещения устойчивых отражателей (рисунок 2) видно, что наблюдается отрицательный тренд для областей деформаций на Кремлевской дамбе. Данный факт, говорит о наличии деформационных процессов. Среднее смещение для трех областей составляет -6 мм, -6 мм, -7 мм, соответственно за период наблюдения.

3. Территория музея заповедника «Казанский кремль».

Из полученных графиков изменения величины смещения устойчивых отражателей (рис.3) можно сделать вывод о том что для северной части крепостной стены Казанского



кремля наблюдаются смещения с отрицательным трендом. Так как данный комплекс находится под охраной ЮНЕСКО, наблюдения за ним будут продолжены.

Рис.3 Представлены устойчивые отражатели, выявленные для Казанского кремля, и графики смещения для точек устойчивых отражателей 1 с величиной смещения -11 мм и 2: -7 мм.

4. Медицинский центр «Millenium clinic» (Ново-Савиновский район)

Изменение величины смещения устойчивого отражателя со значением: -7 мм

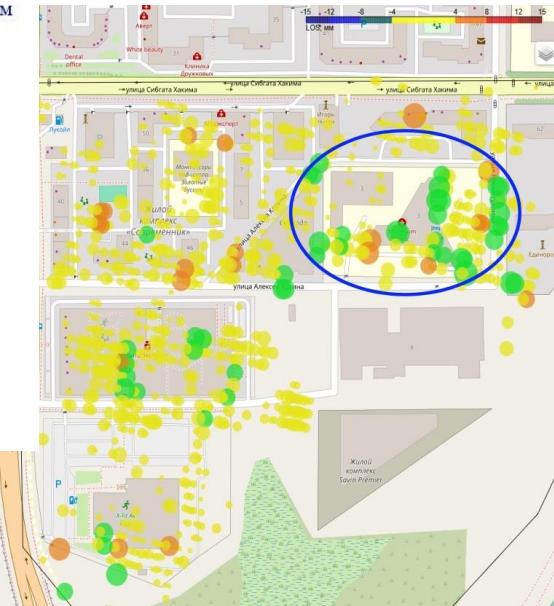
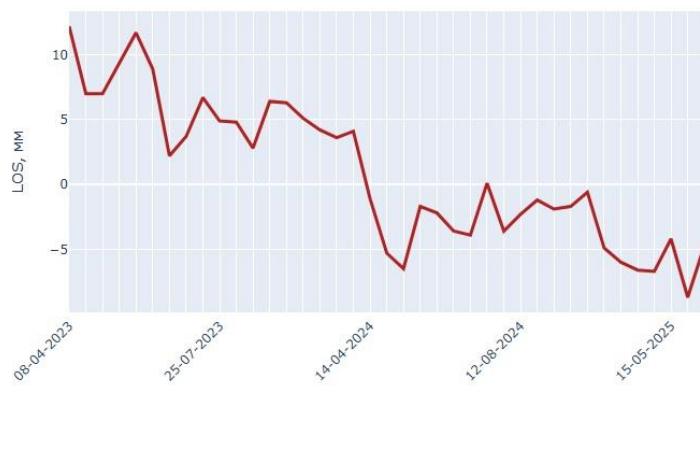


Рис.4 Представлены устойчивые отражатели, выявленные для здания медицинского центра, и график смещения точки устойчивых отражателей.

Данный объект представляет собой многоэтажное здание, сложной архитектуры, построенное на довольно сложных грунтах.

На рисунке 4 представлена область значимых деформационных явлений (выделена синим цветом) для данного объекта. Среднее значение величины смещения для выделенной области составило -6 мм за период наблюдения. График смещения за исследуемый период для устойчивого отражателя выявил отрицательный тренд.

5. Улица Петербургская (Вахитовский район)

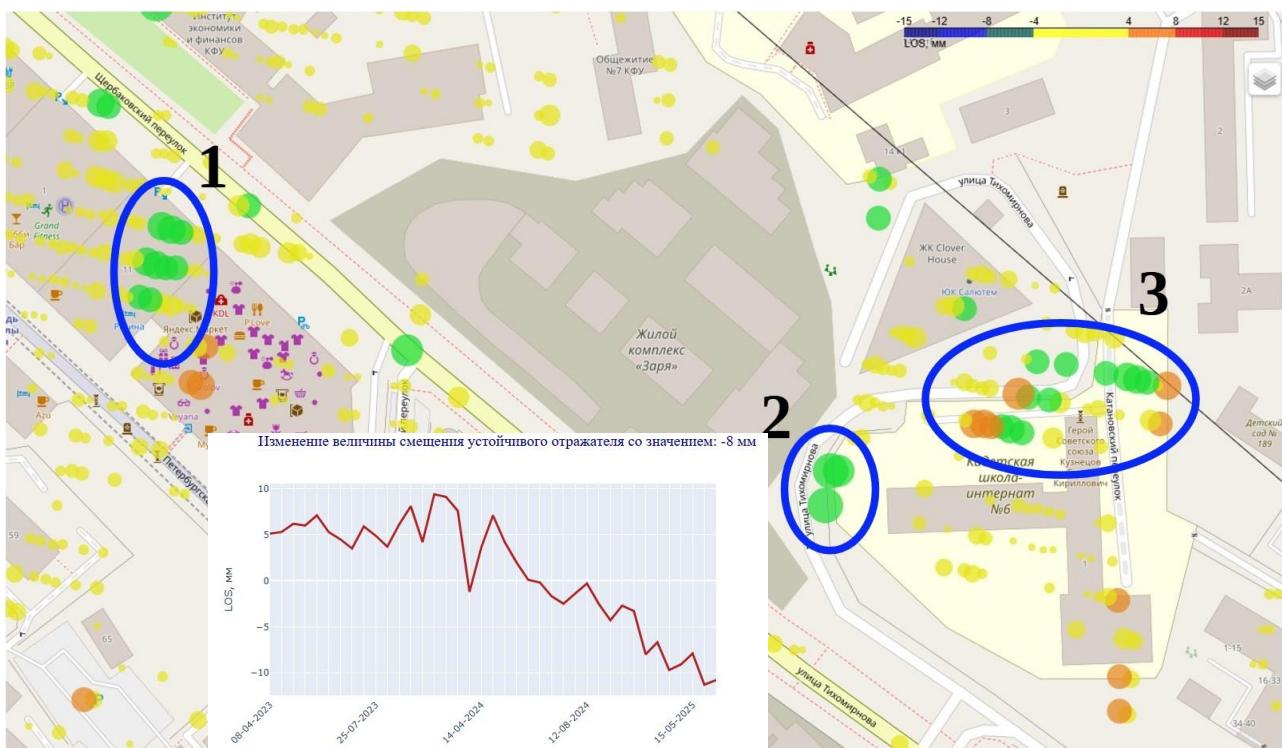


Рис. 5. Представлены устойчивые отражатели, выявленные для зданий по улице Петербургской и график смещения точки устойчивого отражателя из 2 области с наибольшим смещением для данного участка.

На улице Петербургская были выявлены три области отрицательных деформаций (рисунок 5). Первая область имеет среднее смещение – 5 мм, вторая область – 8 мм и третья область – 5 мм. Вторая область наиболее подвержена деформациям видимо по причине строительства ЖК «Заря». Из графика на рисунке 5 видно, что тренд смещения отрицательный и начиная с 8 мая 2024 года величина смещения стремительно уходит в отрицательную область.

Из представленных примеров можно сделать вывод о наглядности и возможностях мониторинга застроенных территорий методом радарной интерферометрии.

В качестве примера мониторинга протяженного инфраструктурного объекта был выполнен мониторинг деформационных явлений для 4 этапа автодороги М-12 «Восток» в Нижегородской области. При проектном обследовании данного участка дороги были выявлены значительные зоны карстовых явлений и было бы интересно оценить ситуацию на данный момент. Мониторинг участка был выполнен за период с апреля 2023 по июль 2025 года. Результаты представлены ниже.

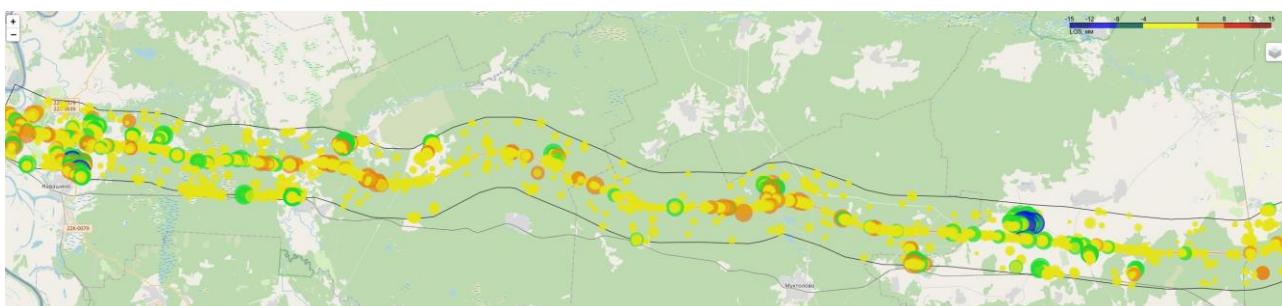


Рис.6 Представлены устойчивые отражатели полученные для 4 этапа автодороги М-12

На участок протяженностью 123 км было получено 3845 устойчивых отражателя (рисунок 6) и на каждый километр участка дороги получено в среднем более 30 точек устойчивых отражений. Такая плотность устойчивых отражателей позволяет детально исследовать объект. На рисунке 7 представлен участок дороги для иллюстрации плотности полученных устойчивых отражателей.



Рис. 7. Представлены устойчивые отражатели малой части автодороги М-12.

На исследуемом участке дороги не выявлены значимые деформационные явления. Величины полученных средних смещений составили около 0.3 мм, что свидетельствует о стабильности полотна дороги и качественном выполнении противокарстовых мероприятий, которые обеспечивают противодействие деформационным явлениям.

По представленным результатам мониторинга методом устойчивых отражателей можно сделать вывод, что данный метод дает возможность охватывать большие территории интереса и за короткий промежуток времени (от сбора данных до получения первых результатов обработки может пройти 4-5 дней) можно оценить состояние объектов инфраструктуры целого города площадью более 500 кв.км. или линейного объекта инфраструктуры протяженностью в сотни километров. Получаемые данные позволяют проследить динамику смещений за определенный период, выполнять сравнения данных за предыдущие годы и оперативно добавлять новые данные. В развитии данной темы предполагается создание сервиса мониторинга всей территории Республики Татарстан для выявления значимых смещений земной поверхности.

УПРАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИЕЙ ОБ ОБЪЕКТАХ ГАЗИФИКАЦИИ РЕГИОНА НА БАЗЕ ГИСОГД

*Вильданова Р.И., Тереньтева Ю.Е.
ООО «ГИСГИС»*

В условиях быстрого развития инфраструктуры газификации регионов управление большими объемами данных об объектах становится критически важным. Разрозненная информация, устаревшие методы учета и отсутствие единой системы могут приводить к ошибкам и задержкам.

Цифровая платформа Geometa предлагает решение этой проблемы, объединяя возможности геоинформационных систем с функциями пространственного анализа и электронного документооборота. Она формирует единую базу, включающую пространственные данные, документы и материалы, а также позволяет обрабатывать большие объемы информации, предоставляя удобные инструменты для анализа.

Система автоматически создает проекты документов на основе заданных параметров, что сокращает время подготовки и минимизирует ошибки.

Кроме того, платформа обеспечивает взаимодействие с ресурсоснабжающими организациями. В системе автоматизирован процесс согласования проектов подключения к инженерным коммуникациям. Проектные организации могут загружать свои проекты в систему, отправлять их на согласование, отслеживать статус и получать решения от соответствующих органов. Платформа поддерживает актуальную базу схем инженерных коммуникаций, что упрощает получение технических условий.

Также Geometa решает сопутствующие задачи региона. Одной из них является загрузка объектов газификации в базу ГИСОГД в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 10 сентября 2016 г. № 903 «О порядке разработки и реализации межрегиональных и региональных программ газификации жилищно-коммунального хозяйства, промышленных и иных организаций» и Постановлением Правительства РФ от 21 февраля 2019 года №179 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации». Эти схемы должны быть подготовлены в электронном виде и содержать как существующие, так и планируемые объекты газоснабжения.

Для реализации этой задачи была создана специализированная подсистема — «Программа газификации». Для каждого муниципального образования сформирован индивидуальный каталог, включающий две карты: существующую инфраструктуру газификации и планируемые объекты. Особое внимание уделялось стандартизации данных: информация от ресурсоснабжающих организаций приводилась к единому виду и территориально распределялась по муниципалитетам (рисунок 1).

- ∨ город Белгород
 - > Карта городского округа 2ГИС
 - > Карта городского округа
 - > Адресный план
 - > Сведения ЕГРН
 - > Межведомственные запросы
 - > Муниципальные услуги и функции
 - > Градостроительная документация
 - > ГИСОГД
 - > Социальная инфраструктура
 - > Транспортная инфраструктура
 - > Инженерная инфраструктура
 - > Объекты культурного наследия
 - > Топографические материалы
- ∨ Программа газификации Белгородской области
 - > Карта объектов газификации (существующие)
 - > Карта объектов газификации (планируемые)
 - > Зоны особого регулирования

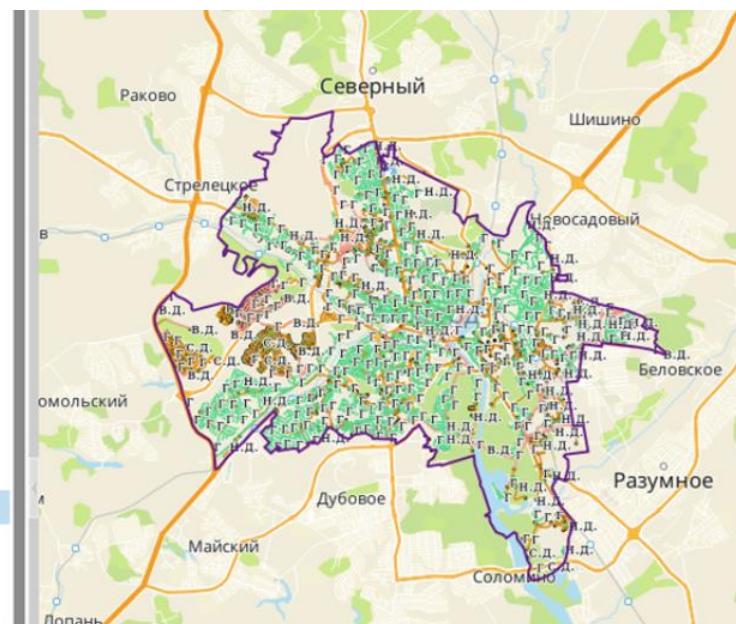


Рис. 1. Рабочая область подсистемы «Программа газификации»

Далее данные были организованы в тематические слои по типам объектов: станции подземного хранения газа, распределительные и магистральные газопроводы, газораспределительные станции, пункты редуцирования газа и другие элементы инфраструктуры (рисунок 2). Это обеспечило гибкость при работе с картой: пользователь может отображать только необходимые слои на текущем этапе работы.

- ∨ Программа газификации Белгородской области
 - ∨ Карта объектов газификации (существующие)
 - Автомобильные газовые наполнительные компрессорные станции (существующие)
 - Криогенные автозаправочные станции (существующие)
 - Газораспределительные станции (существующие)
 - Заводы по производству сжиженного природного газа (существующие)
 - Установки (пункты) регазификации сжиженного природного газа (существующие)
 - Распределительные газопроводы высокого, среднего и низкого давления (существующие)
 - Пункты редуцирования газа (существующие)
 - Станции подземного хранения газа (существующие)
 - Магистральные газопроводы (существующие)
 - Газонаполнительные станции и пункты (существующие)
 - ∨ Карта объектов газификации (планируемые)
 - Автомобильные газовые наполнительные компрессорные станции (планируемые)
 - Криогенные автозаправочные станции (планируемые)
 - Газораспределительные станции (планируемые)
 - Заводы по производству сжиженного природного газа (планируемые)
 - Газонаполнительные станции и пункты (планируемые)
 - Установки (пункты) регазификации сжиженного природного газа (планируемые)
 - Магистральные газопроводы (планируемые)
 - Распределительные газопроводы высокого, среднего и низкого давления (планируемые)
 - Пункты редуцирования газа (планируемые)
 - Станции подземного хранения газа (планируемые)

Рис. 2. Распределение слоев по тематическим слоям

Важно отметить, что разделение на слои — не обязательный, а optionalный вариант, позволяющий адаптировать отображение информации под конкретные задачи муниципалитета.

Также различная стилизация существующих и планируемых объектов помогает визуально воспринимать состояние газификации и оценивать перспективы развития (рисунок 3).

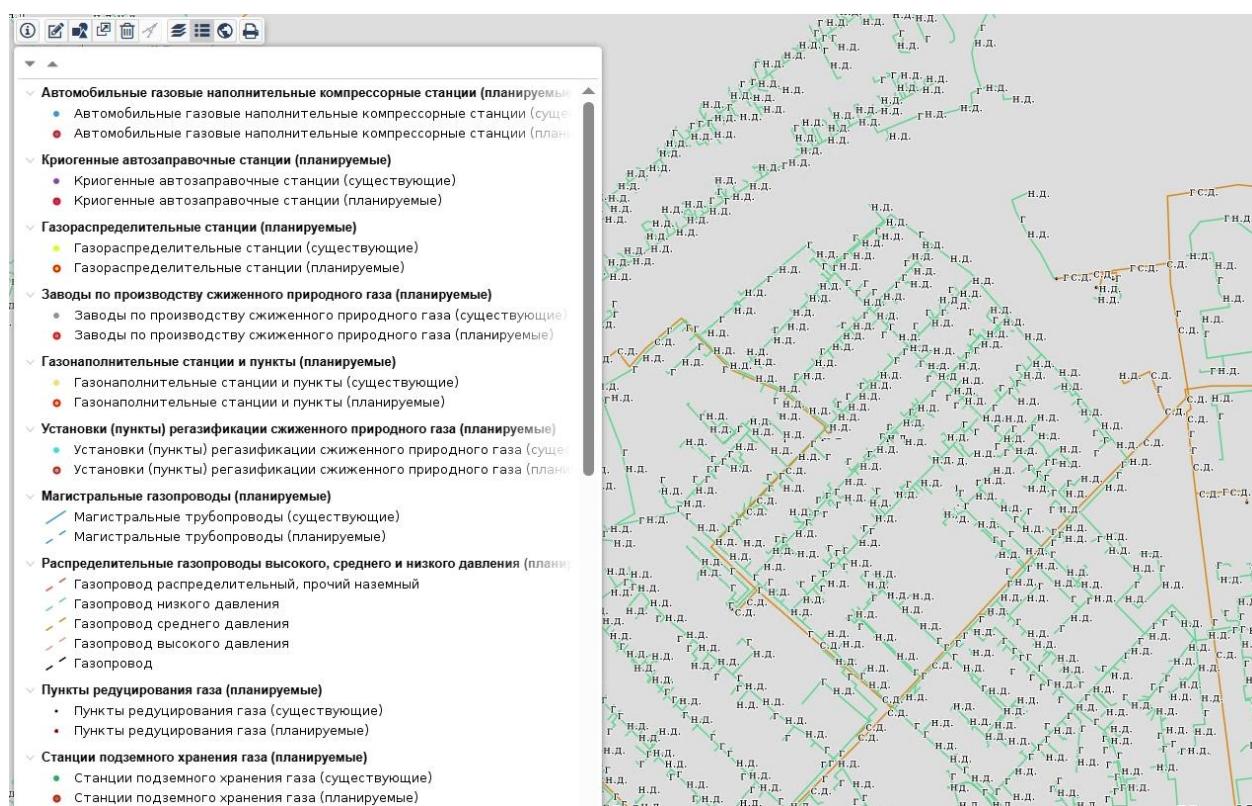


Рис. 3. Условные обозначения объектов газификации на карте

Доступ к системе будет открыт для сотрудников АО «Газпром», а обновление информации планируется осуществлять дважды в год или по мере утверждения корректировок региональной программы газификации.

Таким образом, внедренная система обеспечивает структурированность данных и наглядность информации, становясь эффективным инструментом поддержки принятия решений в области газификации региона.

АНАЛИЗ ОНЛАЙН-СЕРВИСОВ ОБРАБОТКИ АРХИВНЫХ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Борисов Л.Т., Загребдинов Р.В.

ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

На ранних этапах внедрения глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) для создания геодезических сетей, как правило, не ставилась задача определения высокоточных координат пунктов в глобальной геоцентрической системе координат. Преобразования выполнялись только в системах координат, основанных на СК-42, СК-63, СК-95. Например, в отчётах о создании опорной межевой сети 2-го класса (ОМС-2) в Республике Татарстан (2003-2006 гг.) отсутствует глобальная привязка пунктов, имеется связь только с местной системой координат. С другой стороны, в концепции реконструкции Московской городской геодезической сети (1995-1996 гг.) указано, что уравнивание и преобразование координат пунктов этой сети необходимо было сделать в пространственной системе координат. МГГС реконструировалась с целью создания и проведения высокоточного городского кадастра [3]. Сама межевая сеть Москвы имеет привязку к глобальной геоцентрической системе координат. Из-за малого количества программ обработки, отсутствия онлайн-сервисов, небольшого количества станций фундаментально-астрономо-геодезической (ФАГС) и международной глобальной сети (IGS) определение высокоточных геоцентрических координат было достаточно трудной задачей.

Ранее перед нами была поставлена задача определить геоцентрические координаты пунктов каркасных сетей при создании ОМС-2 РТ, апробировать методику обработки архивных данных и дать рекомендации и заключение. Данная работа была выполнена и описана в публикации [2], а также более подробно изложена в выпускной квалификационной работе [1]. Одним из важных этапов обработки измерений было определение геоцентрических координат временных базовых станций (ВБС) с помощью онлайн-сервисов обработки методом PPP. Уравнивание и привязка пунктов выполнялась в международной земной системе отсчёта ITRF2014, с приведением координат к стандартной эпохе на 1 января 2010 года. Определив высокоточные координаты ВБС на каждый из проектов, удалось выполнить привязку пунктов каркасных сетей в глобальной системе отсчёта с точностью взаимного положения 2-4 см при свободном уравнивании сетей.

В данной работе мы поставили перед собой задачу - проанализировать, чем отличаются друг от друга онлайн-службы для обработки архивных спутниковых измерений. Какие алгоритмы и продукты математических вычислений используются при решении задач данными сервисами.

Precise Point Positioning (PPP) является методом определения абсолютных координат местоположения пользователя. Используя один приёмник и точные апостериорные параметры орбит и часов спутников, удается достичь точности до нескольких сантиметров. Суть метода PPP заключается в том, что поправки вносятся не в фазовые измерения, а в параметры орбит и часов [4].

Таблица №1

Краткая сравнительная таблица сервисов обработки архивных спутниковых данных

	Название ПО			
	Bernese GNSS Software	CSRS-PPP	OPUS	AUSPOS
Разработчик	Астрономический институт Бернского университета (AIUB)	Канадская геодезическая служба (CGS)	Национальная геодезическая служба (NGS)	Geoscience Australia
Год начала функционирования	90-е гг. XX в.	2003 г.	2001 г.	2001 г.
Обработка режима «Статика»	Да	Да	Да	Да
Обработка режима «Кинематика»	Да	Да	Нет	Нет
Последняя версия	5.4	5	-	3.0
Минимальное время измерений	1 час	1 час	2 часа	1 час

В настоящее время различные сервисы обработки методом PPP в своих решениях используют реализацию Международного общеземного референцного каркаса (International Terrestrial Reference Frame - ITRF) 2020 года (далее ITRF2020), а также национальные системы координат. Обрабатывая архивные ГНСС измерения, мы обращались к существующим сервисам обработки данных в сети Интернет, краткая информация приведена в таблице №1.

Именно эти сервисы обработки были выбраны для архивных спутниковых измерений. В сети Интернет существуют и другие сервисы, например, Magic GNSS, Wizard Project, Trimble-RTX и др. К сожалению, последний не имеет функциональной возможности загрузки на сервер RINEX файлов старше 2011 года. Ряд сервисов имеет ограничения использования российскими пользователями.

Программное обеспечение The Bernese GNSS Software разработано Астрономическим институтом Бернского университета (AIUB) в Швейцарии. Данное программное обеспечение предназначено для обработки высокоточных спутниковых измерений большого количества базовых станций в постобработке. ПО от Бернского университета способно решать задачи абсолютного позиционирования на основе кодовых и фазовых измерений со спутников GPS и ГЛОНАСС. Решения PPP с фазовыми наблюдениями свободны от различий систем эталонов времени для каждой навигационной группировки, поскольку фазовые неоднозначности поглощают межсистемные различия. Для PPP с кодовыми данными необходимо дополнительно оценивать параметры межчастотных смещений сигнала приёмника.

Bernese GNSS имеет как научное, так и прикладное назначение. Его активно применяют для целей геодезии и геодинамики. К примеру, учёт влияния прецессии и определение параметров вращения Земли, для отслеживания движения литосферных плит и др. ПО используют в образовательных учреждениях, научных центрах обработки, таких как Европейский центр определения параметров орбит CODE (Center for Orbit Determination in Europe) для поддержки международных глобальных (IGS) и континентальных (EUREF/EPN) опорных геодезических сетей. Bernese GNSS использовалось при создании государственной геодезической системы координат 2011 года (ГСК-2011).

История Bernese GNSS началась ещё в 90-х годах XX века. С быстрым развитием в то время системы GPS ПО Bernese также активно совершенствовалось. В 2022 году была анонсирована новая версия программы 5.4, в которой стала доступной функция обработки данных наблюдений со спутников Galileo, тогда как до этого Bernese мог обрабатывать только измерения с GPS/ГЛОНАСС. Согласно официальному сайту данного ПО, стоимость исследовательской лицензии составляет 12 000 швейцарских франков. В эту стоимость входит очное обучение для двух человек в Бернском университете Швейцарии (за исключением переезда и проживания). Лицензия бессрочная и может быть установлена на неограниченное количество рабочих мест. Стоимость обновления до новой версии для данного типа лицензии составляет 2 000 швейцарских франков. Помимо высокой цены, данный продукт требует от потенциального пользователя знаний в области программирования, работы в операционных системах Windows/Linux [5].

Канадский сервис точного позиционирования (CSRS-PPP) разработан канадской геодезической службой (CGS). Это онлайн-приложение для обработки данных ГНСС. CSRS-PPP обрабатывает данные статической или кинематической съёмки в едином формате RINEX с одно- или двухчастотных приёмников. На выходе пользователь получает пространственные координаты своего местоположения в системе координат Северной Америки 1983 года, относящейся к территории Канады (NAD83(CSRS)) или в ITRF. 14 мая 2025 года канадский сервис перешёл с версии 4 на версию 5. В обновлённой программе теперь доступна функция обработки данных со спутников Galileo (с разрешением неоднозначности) для наблюдений E1/E5a, собранных не ранее 27 ноября 2022 года. Доступ к пользованию бесплатный.

Раздел с PPP решением подразумевает, что пользователь имеет уже готовый или заранее сформированный RINEX файл измерений. Для получения искомого решения необходимо загрузить файл на сайт, выбрать режим обработки (статический или кинематический), выбрать систему отсчёта (NAD83 или ITRF) и указать адрес электронной почты для обратной связи. По результатам обработки на вашу электронную почту приходит письмо с итоговым решением. В нём указываются предупреждения и ошибки, которые нашла программа обработки и прикрепляется архив, содержащий 8 файлов. Архив содержит в себе поправки к часам, модель тропосферной задержки, файл формата .CSV с решением на каждый интервал измерений, PDF файл с графическим решением, а также итоговый файл формата .SUM, в котором указаны используемые орбиты, поправки к часам и атмосфере и искомые координаты. На рисунке 1 представлен фрагмент ответа от сервиса CSRS-PPP.

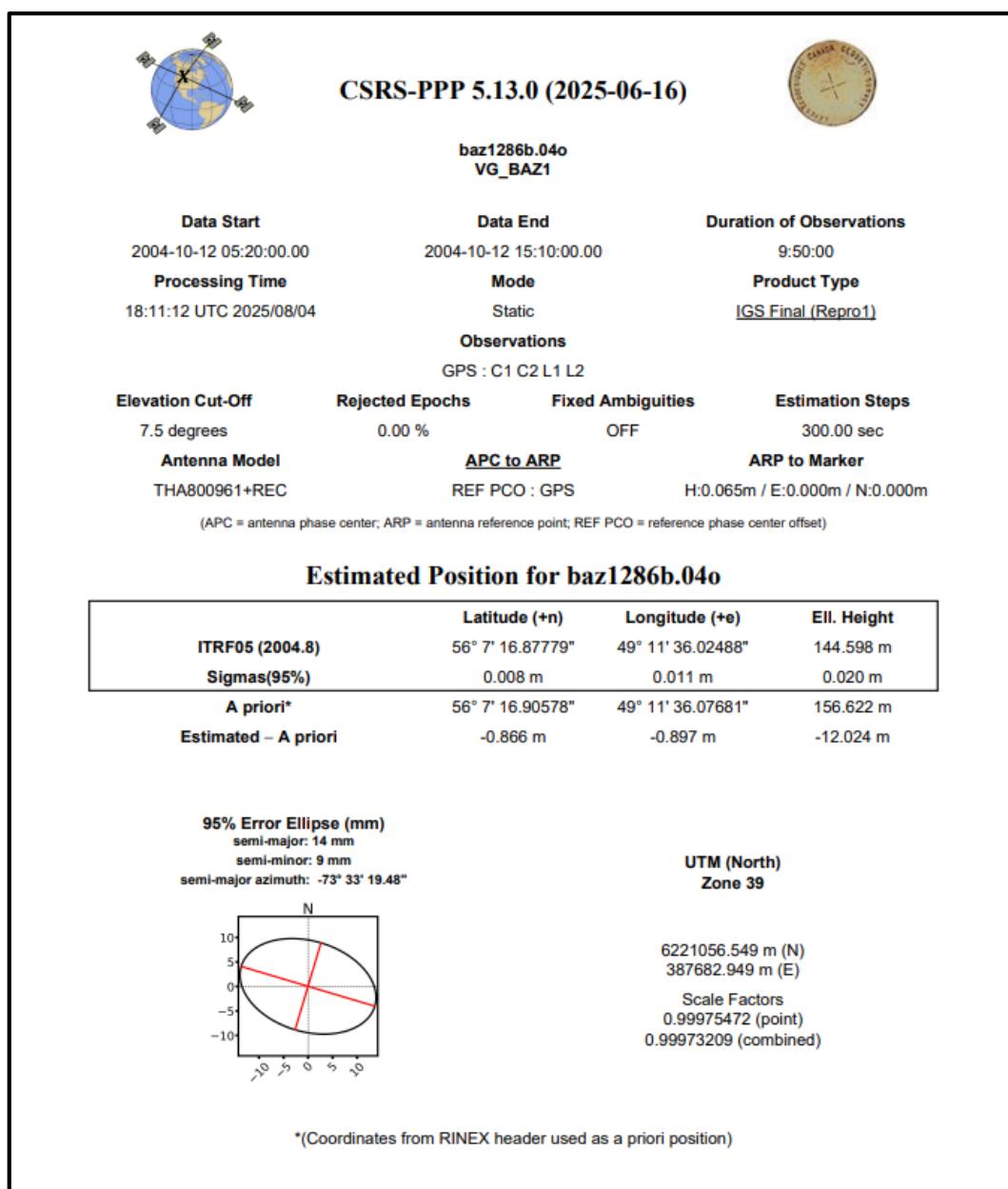


Рис. 1. Фрагмент из решения от онлайн-сервиса CSRS-PPP

Как можно заметить, сервис самостоятельно определяет тип антенны и метод её измерения. При обработке использовались финальные орбиты IGS. На выходе мы получаем геодезические координаты с их оценкой точности. В конце каждого обработанного PDF файла указано, что канадская служба не несёт никакой ответственности, которая может прямая или косвенно возникнуть в результате применения сервиса CSRS-PPP [7].

Пользовательский онлайн-сервис позиционирования (OPUS) предоставляет бесплатный доступ к высокоточным геоцентрическим координатам. Сервис имеет функции обработки данных с режимов «Статика» и «Быстрая статика». OPUS использует **сетевой метод** обработки, подразумевающий, что искомое решение находится относительно ближайших базовых станций по всему земному шару. Координаты, получаемые от службы, представляются в двух системах отсчёта. Это NAD83(2011) на эпоху 01.01.2010 и ITRF2020 на эпоху измерений [8].

Общедоступный онлайн-сервис обработки данных GPS AUSPOS предоставляется компанией Geoscience Australia на бесплатной основе. В своих решениях AUSPOS использует

данные станций сети IGS, а также станций, входящих в Азиатско-Тихоокеанскую систему отсчёта (APREF). Сервис принимает двухчастотные измерения в формате RINEX, полученные в режиме «Статика». По результатам обработки, пользователь получает письмо на свою электронную почту с решением, содержащим геоцентрические и геодезические координаты позиционирования на эпоху наблюдений и их оценку точности. Стоит отметить, что для решения задач AUSPOS применяет **сетевой метод** и не использует PPP алгоритмы. Об этом упоминается и на самом сайте. В обработке участвуют ближайшие станции, а вычисления производятся по методу вторых разностей. ПО, применяемое сервисом AUSPOS для обработки данных GPS, является Bernese GNSS Software 5.2. На сайте отмечается, что файлы, отправленные на сервер, будут храниться в течение 7-ми дней, после чего они удаляются. [6]

Резюмируя обзор всех доступных онлайн-сервисов для обработки архивных данных, следует дополнить несколько общих фактов:

- 1) При загрузке RINEX файла наблюдений на сайт, необходимо правильно выбрать модель антенны и указать истинную высоту её измерения. Как правило, необходимы значения высот, указанных до нижней части крепления антенны (Antenna Reference Point – ARP). Если сервер не сможет считать название модели, то при обработке не будет учитываться смещение фазового центра антенны;
- 2) При обработке файлов онлайн-службами время ожидания минимальное. Большинство ответов приходят в первые пять минут после запроса;
- 3) В настоящее время сервисы обработки стали переходить на новую модель референцного каркаса ITRF2020, в своих решениях они чаще всего используют продукты службы IGS (орбиты, калибровки антенн).

При построении каркасных сетей ОМС-2 РТ на каждый район насчитывалось в среднем 5-6 временных базовых станций с продолжительностью в 8-12 часов. Для апробации сервисов нами был выбран файл ВБС на проект «Высокая гора», который имеет наиболее длительное время измерений в данном районе. Спутниковые наблюдения проводились в октябре 2004 г. Экспериментальная часть исследования заключалась в сравнении результатов используемых сервисов. Так как решения от служб были предоставлены на эпоху наблюдений для ВБС, необходимо было привести координаты к единой эпохе. В данной работе ею выступила та же стандартная эпоха ITRF2014 (01.01.2010). Пересчёт происходил согласно группе формул (1), а скорости были взяты от базовой станции KZN2, имеющей длительную историю наблюдений и входящей в сеть IGS.

$$\begin{aligned} X_t &= X_{t\text{набл.}} + V_x * \Delta t \\ Y_t &= Y_{t\text{набл.}} + V_y * \Delta t \end{aligned} \quad (1)$$

$$Z_t = Z_{t\text{набл.}} + V_z * \Delta t$$

где X_t , Y_t , Z_t – координаты на пересчитанную эпоху,

$X_{t\text{набл.}}$, $Y_{t\text{набл.}}$, $Z_{t\text{набл.}}$ – координаты на эпоху наблюдений,

V_x , V_y , V_z – компоненты скорости движения пункта,

Δt – разность эпох 2010.0 и эпохи наблюдений.

После пересчёта геоцентрических координат был составлен текстовый файл, который импортировался в ПО Trimble Business Centre для дальнейшего сравнения. На рисунке 2 представлен результат импорта.

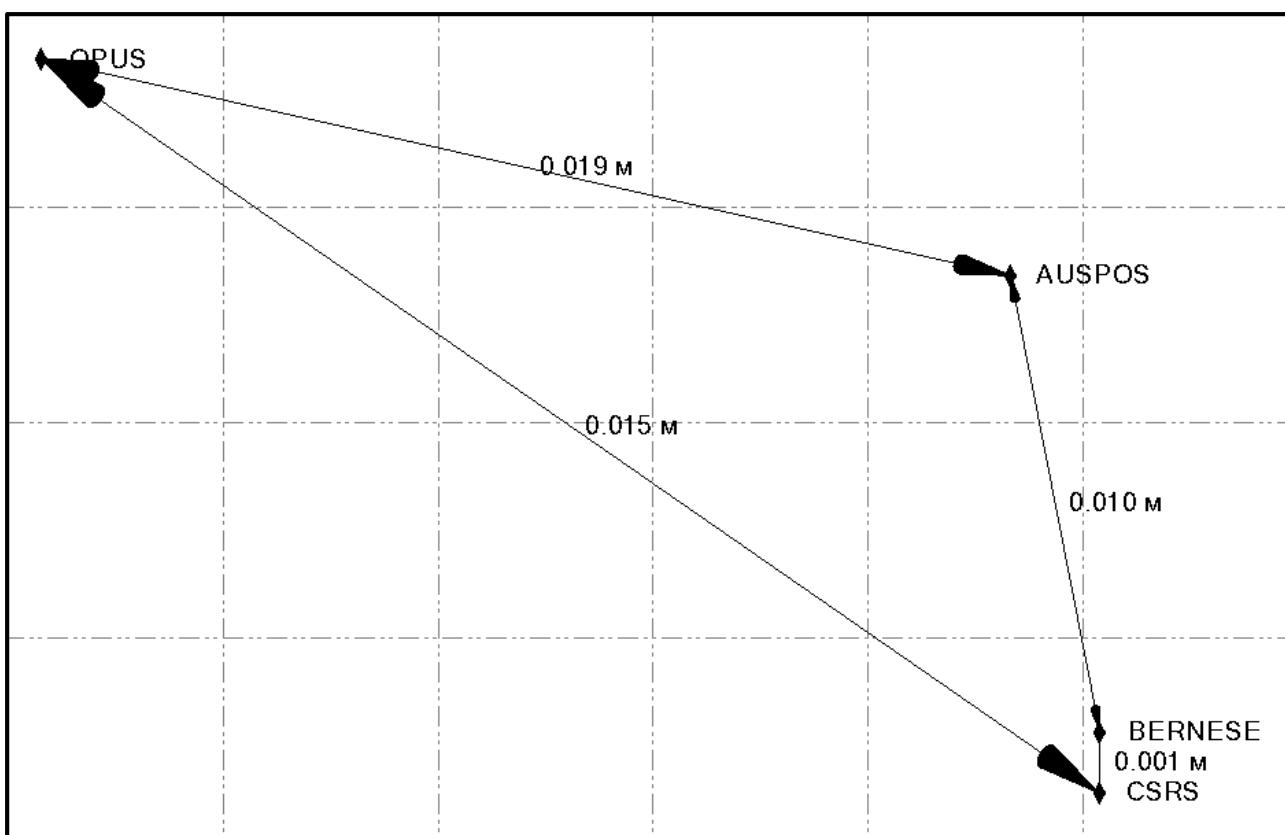


Рис. 2. Сравнение сервисов обработки на примере длительного файла ВБС проекта «Высокая гора»

Как можно заметить, решения Bernese и CSRS-PPP практически совпадают, а американский и австралийский сервисы отличаются от них более чем на 1 см. По нашим предположениям, это связано с тем, что AUSPOS и OPUS в своих вычислениях используют сетевой метод, а Bernese и CSRS-PPP применяют PPP алгоритмы. В решениях AUSPOS и OPUS было указано, что координаты посчитаны на эпоху наблюдений в системе отсчёта ITRF2020. В то же время, Bernese и CSRS-PPP применили реализацию ITRF05, то есть более близкую и реальную к тому времени измерениям. Во всех решениях использовались точные орбиты.

Перечисленные в данной статье онлайн-сервисы предоставляют свои услуги в бесплатном доступе. Это делает их уникальными и общедоступными продуктами для геодезистов. Однако их использование государственными ведомствами нашей страны не рекомендуется. Для обработки большого количества базовых станций понадобится более мощное и высокотехнологичное ПО, которым выступает Bernese GNSS. Среди отечественного программного обеспечения стоит выделить недавно выпущенное «InnoGNSS» (разработчик – Университет Иннополис), предназначенного для обработки высокоточных спутниковых измерений. В большом разнообразии онлайн-сервисов обработки спутниковых данных существует лишь малая часть, которая может работать с архивными измерениями. С одной стороны, они ограничены временным интервалом, с другой, закрытым доступом в связи с местным законодательством.

В настоящее время ПО рассмотренных служб всё больше совершенствуется: появляются новые функции, применяются более точные и улучшенные реализации ITRF,

вводятся новые поправки. Однако при решении задач на территории Российской Федерации предпочтительнее использовать лицензионные и отечественные программы обработки.

Литература

1. Борисов Л. Т. – Геоцентрическая привязка геодезических пунктов Республики Татарстан: выпускная квалификационная работа по спец. «Геодезия и дистанционное зондирование»: 21.03.03 / Борисов Леонид Тимурович; К(П)ФУ. – Казань, 2024. – 48 с.
2. Борисов Л.Т., Загретдинов Р.В. Использование архивных ГНСС измерений для решения проблем геодезического обеспечения земельного кадастра // Сборник докладов XIII Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы геодезии и геоинформационных систем» (26-27 августа 2024 г.). – Казань, 2024. – с. 90-94.
3. Генике А. А., Побединский Г. Г. Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии. Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Картгеоцентр, 2004. - 355 е.: ил.
4. ГНСС ЭКСПЕРТ (Информационный ресурс по технологиям высокоточного позиционирования с использованием Глобальных Спутниковых Навигационных Систем (ГНСС): официальный сайт. – 2025. – URL: <https://gnss-expert.ru/> (дата обращения 19.08.2025). Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.
5. (2015) Bernese GNSS Software Version 5.2. Ed. by R. Dutch, S. Lutz, P. Walser, P. Fridez Astronomical Institute, University of Bern
6. AUSPOS - Online GPS Processing Service: official page. – URL: www.ga.gov.au
7. Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning (CSRS-PPP): official page. – URL: webapp.csrs-scrs.nrcan-rncan.gc.ca
8. Online Positioning User Service (OPUS): official page. – URL: geodesy.noaa.gov/OPUS

**СОВРЕМЕННЫЙ ВЗГЛЯД НА ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ 1890, 1891,
1904, 1908 ГОДОВ ГОРОДА КАЗАНИ****Toхтаров Р.Р., Носкова А.П., Загребдинов Р.В.**

ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Нивелирное соединение – передача высот от пунктов с известными координатами на созданные пункты с помощью нивелирных ходов, выполненное Казанским университетом в 1890–1908 годах, внесло вклад не только в историю Кафедры астрономии и геодезии и города Казани, но и имеет практическое значение. Оно может использоваться с целью изучения вертикальных движений земной поверхности города Казани. Марки, заложенные в ходе данных работ, являются носителями высотной отметки уже более 115 лет.

В данной статье раскрывается историческая значимость нивелирного соединения, а также приводится сравнение результатов с современными измерениями.

Обсерватории Казанского федерального университета

Астрономические обсерватории Казанского университета представляют собой единый пространственно-временной архитектурный комплекс, специализирующийся на астрономических и геодезических наблюдениях, начиная с 1814 года по настоящее время. В состав комплекса входят здания Казанской городской и загородной обсерваторий с историческими сооружениями, музеиными экспозициями и культурно-презентационным комплексом планетария.

Казанская Городская астрономическая обсерватория

Фундамент Казанской городской астрономической обсерватории (КГАО) был заложен 5 октября 1833 г, в центре Казани. А построено было в 1833–1837 годах по проекту архитектора Коринфского. В стенах обсерватории учились и преподавали такие знаменитые ученые как Й.И. Литтров, стоявший у истоков основания кафедры, математик Н.И. Лобачевский и астроном И.М. Симонов, разработавшие и реализовавшие проект городской обсерватории, а также ученые М.А. Ковалевский, М.М. Гусев, Д.И. Дубяго, М.А. Грачёв, А.В. Краснов, Т.А. Банахевич, И.А. Дюков, В.А. Баранов, А.А. Яковкин и многие другие.

Загородная астрономическая обсерватория имени В.П. Энгельгардта

Комплекс загородной обсерватории Казанского университета им. В.П. Энгельгардта (АОЭ) был построен в 1898-1901 годах, в 24 км от Казани, вблизи станции «Лаврентьево» (ныне станция «Обсерватория»). Основателями данной обсерватории являются два знаменитых астронома – Д.И. Дубяго и В.П. Энгельгардт. Основными научными направлениями обсерватории являются: астрофизика, небесная механика, метеорная астрономия, астрометрия, приборостроение, геофизика Земли. На территории современной обсерватории находится пункт ФАГС и действующий метрологический базис Казанского федерального университета.

Геометрическое нивелирование 1890 – 1908 годов

Казанские обсерватории славятся не только астрономическими, но и геодезическими достижениями, начиная с экспедиции Ивана Михайловича Симонова на Новую Землю и заканчивая астрономо-геодезическими и гравиметрическими работами. Одними из важнейших геодезических работ являются нивелирное соединение КГАО с репером

водомерного поста в селе Верхний Услон, выполненное в 1890–1891 гг., а также КГАО и АОЭ, выполненное с 1904 по 1908 год.

В 1890 году по указу директора Казанской городской астрономической обсерватории Дмитрия Ивановича Дубяго было выполнено геометрическое нивелирование. По его результатам была получена абсолютная высотная отметка КГАО. В 1904 году, в связи с открытием АОЭ, было принято решение провести первое нивелирование между городской и загородной обсерваториями. Но, к сожалению, за 1904 год не удалось выполнить весь поставленный объем задач, в 1908 году было проведено второе нивелирование между КГАО и АОЭ.

Целью данных работ было получить точные абсолютные и относительные высоты обсерваторий и исправить данные о высотах Казани.

Ряд участников данного нивелирования (Д.И. Дубяго, А.А. Михайловский, М.Н. Ивановский), помимо астрономических и геодезических исследований занимались и гравиметрическими измерениями на кафедре астрономии и геодезии Казанского Университета.

Исходные пункты нивелирной сети

В 1857–1861 гг. военно-топографическим отделом Главного Штаба Российской империи была проведена Приволжская триангуляция, в результате которой была определена высотная отметка основания колокольни Кафедрального собора Казанской епархии Русской православной церкви (в наше время Благовещенский собор Казанского кремля) в крепости Казанского Кремля и для поверхности реки Казанки. Однако генерал А.А. Тилло утверждал, что данные отметки получены не точно, «за точность сажени ручаться нельзя»⁶. Также было выдвинуто предложение взять высоту цистерны барометра в кабинете физической географии (находившегося в главном здании Казанского Императорского Университета), определенную в 1870 году. Однако, возникло сомнение, что высота цистерны барометра вычислена относительно основания собора, описанного выше. Было принято решение использовать за исходный репер Министерства путей сообщения, находящийся в Ново-Татарской слободе, который, в свою очередь, опирался на репер водомерного поста в селе Верхний Услон. В итоге, было принято решение использовать репер Министерства путей сообщения, находящийся в Ново-Татарской слободе, а для контроля – высотный пункт, заложенный в часовне Адмиралтейской слободы, которые опирались на репер водомерного поста Верхнего Услона. Но тут возникли проблемы, «пункт инженеров в этой слободе оказался довольно неопределенным»⁶, и в 1891 году был проложен ход от высотного пункта, заложенного в часовне Адмиралтейской слободы, до репера водомерного поста.

Участники нивелирования 1890–1908 гг.

В геометрическом нивелировании 1890–1891 гг. принимали участие непосредственно ординаторный профессор Дубяго Дмитрий Иванович, астроном-наблюдатель (ассистент) Корнух-Троцкий Яков Петрович, а также студенты Грачёв Михаил Аврамиевич и Краснов Александр Васильевич. В нивелирном соединении Казанских обсерваторий в 1904 и 1908 годах Д.И. Дубяго участия не принимал, но оказывал полную поддержку. В 1904 году работа была произведена под руководством астронома наблюдателя М.А. Грачева, а помогали ему ассистенты А.А. Михайловский и М.Н. Ивановский и студент В.Н. Милованов. В 1908 году

⁶ Краснов, А.В. Нивелирное соединение Астрономической обсерватории Императорского Казанского университета с репером водомерного поста в селе Верхнем Услоне, на правом берегу Волги, против Казани / А.В. Краснов - Казань: Ученые записки Казанского университета, 1893. - №1. С. 231-244.

руководил ходом работ В.Н. Милованов, а студентами-участниками были А.Н. Нефедьев, Б.А. Хованский, А.А. Яковкин.

Дмитрий Иванович Дубяго окончил Санкт-Петербургский университет. Начал карьеру в Пулковской обсерватории, где последовательно занимал должности от стипендиата до адъюнкт-астронома. После получения степеней магистра и доктора преподавал астрономию и геодезию в родном вузе.

Позже возглавил кафедру в Казанском университете, став деканом факультета и ректором. Директорствовал в Казанской (КГАО) и основал Энгельгардтовскую (АОЭ) обсерватории. Инициатор нивелирования обсерваторий.

Яков Петрович Корнух-Троцкий, выпускник Казанского университета. Ещё студентом рассчитал орбиту планеты Диана, получив степень кандидата наук. Уделял много времени обработке результатов наблюдений и вычислениям, занимался астрономией и геодезией.

Михаил Аврамиевич Грачёв, выпускник Казанского университета. Работал ассистентом, затем астрономом-наблюдателем в АОЭ и приват-доцентом. Удостоен международной премии и золотой медали за исследование широты Казанской обсерватории. Стал магистром, позже –профессором университета и директором АОЭ.

Александр Васильевич Краснов окончил Казанский университет. Работал астрономом-наблюдателем и приват-доцентом. Магистр астрономии, специалист по гравиметрии.

Арсений Алексеевич Михайловский окончил Казанский университет, оставлен на кафедре астрономии, где занимался гравиметрией. Позже стал приват-доцентом, затем профессором Самарского университета (временно – декан педагогического факультета). Заведовал кафедрой астрономии Белорусского государственного университета.

Михаил Николаевич Ивановский окончил Казанский университет. Был профессорским стипендиатом. Участвовал в гравиметрических измерениях с А.А. Михайловским и Д.И. Дубяго.

Владимир Николаевич Милованов работал в обсерваториях Казани, Ташкента и Государственном астрофизическом институте (Москва). Составил каталог скоростей 1470 звёзд.

Александр Николаевич Нефедьев окончил университет. Позже преподавал в Пермском университете, став профессором. Завершил карьеру руководителем службы времени и директором широтной станции в Ташкенте.

Хованский Борис Александрович происходил из дворянского рода. Он ушёл из жизни в 1909 году, так и не окончив КУ.

Авенир Александрович Яковкин окончил Казанский университет. Прошёл путь от ассистента до руководителя АОЭ и заведующего кафедрой геодезии КГАО. Позже возглавлял кафедру астрономии в Свердловске, затем – Голосеевскую обсерваторию (ГАО УССР) и преподавал в Киевском университете.

В честь Дубяго Д.И., Краснова А.В., Яковкина А.А. названы кратеры на Луне.

О заложенных нивелирных марках

До начала проведения нивелирных работ были заложены марки наподобие марок военно-топографического отдела Главного Штаба.⁷ Марки выполнены из чугуна, представляют собой диск с нанесенным на него информацией о годе выполнения работ и

⁷ Богуславский, Н.А. Курс геодезии и приложение ее к техническим изысканиям путей сообщения [Электронный ресурс]: пособие для студентов, учеников техн. учеб. заведений и техников путей сообщения / Н. А. Богуславский – СПб: 1897. - 832 с.

принадлежности к КГАО или АОЭ. Для закрепления в стене марка снабжена приливом в виде четырёхгранной пирамиды, расположенным перпендикулярно обратной стороне диска (рисунок 1).



Рис. 1. Нивелирная марка 1890 г.

С передней стороны, в центре знака находится полусферический выступ, центр которого является носителем высотной отметки. Высота определяется путем проецирования визирной оси инструмента на стену здания и измерения превышения, от проекции центра визирной оси до центра полусферического уступа. На нивелирных марках, заложенных в 1890 году, имеется надпись: «НИВЕЛИРОВКА-1890-К.А.О.». Всего было заложено 5 таких марок. В фондах кафедры астрономии и космической геодезии Казанского Федерального Университета сохранилась одна незаложенная марка.

На марках нивелирования 1904 и 1908 гг. была надпись: «НИВЕЛИРОВКА-1904-Э.О» («Э.О.» означает Энгельгардтовская обсерватория), однако на некоторых марках отсутствует надпись: «НИВЕЛИРОВКА». В 1904 году было заложено 7 марок.

Таблица 1

Место закладки марок и их сохранность на 2025 год

Пункт	Год закладки	Описание	Современное местоположение	Сохранность
O	1890	В здании городской обсерватории, со стороны фасада здания	г. Казань, ул. Кремлевская 18к3. Фасад здания кафедры астрономии и космической геодезии	+
D	1890	В здании Городской Думы, справа от входа с улицы Воскресенской	г. Казань, ул. Кремлевская 1. Фасад здания исполкома города Казани	+
P	1890	В стене дома господина Рама, находящегося на углу Триумфальной (ныне Ташаяк) и Успенской (ныне Московской) улицы	-	-

Продолжение таблицы 1

C	1890	В стене колокольни Кафедрального собора в Казанском кремле со стороны южного фасада	-	-
A	1890	В части круглого столба часовни, находящейся в Адмиралтейской слободе	-	-
1	1904	На южном крыльце главного здания АОЭ	пос. Октябрьский, ул. АОЭ, д. 7, корп. 2. Фасад здания музея обсерватории	+
2	1904	На южном фасаде жилого дома обсерватории	пос. Октябрьский, ул. АОЭ, д. 7. Фасад административного здания обсерватории.	+
3	1904	В каменном фундаменте станции “Обсерватория” с восточной стороны	-	-
4	1904	На северной стороне западного основания каменного железнодорожного моста, к востоку от платформы «Займище»	-	-
5	1904	На северной стороне западного основания каменного железнодорожного моста, к востоку от платформы «Новое Аракчино»	-	-
6	1904	На северной стороне восточного берегового основания железнодорожного моста через реку Казанку, у платформы «Пороховая»	-	-
7	1904	На южном фасаде Казанского вокзала	г. Казань, Привокзальная площадь, 1А. На южном фасаде Казанского вокзала, со стороны железной дороги.	+

Описание геодезических инструментов

Важнейшую роль при проведении геометрического нивелирования играют инструменты. В январе 1887 года кафедре астрономии и геодезии Казанского Императорского Университета был передан из имущества Геологического кабинета большой нивелирный инструмент технологии Штампфера производства компании Kern Aarau (Stampfers Nivellir Kern) и штангенциркуль, который шел с ним в комплекте. Стоимость прибора на тот момент составляла 250 рублей. На рисунке 2 приведен нивелир, схожий по конструкции с нивелиром Штампфера. Основные характеристики нивелира приведены в Таблице 2.



Рис. 2. Нивелир, схожий по конструкции с нивелиром Штампфера (источник фото: музей Kern Aarau; г. Аарau, Швейцария)

Таблица 2
Характеристики нивелира Штампфера

Название	Stampfers Nivellir Kern	Seibt F.W. Breithaupt & Sohn
Производитель	Kern Aarau г.Аарау, Швейцария	F.W. Breithaupt & Sohn г.Кассель, Германия
Тип нивелира	Оптический с перекладной трубой	Оптический с перекладной трубой
Увеличение трубы	16x	30x/40x
Тип уровня	Цилиндрический (на подставке)	2 круглых уровня, один цилиндрический
Цена деления уровня	18.8"	5"
Способ взятия отчета	стандартный	способ профессора Зейбта

К нивелиру Штампфера имелась лишь одна рейка производства компании Kern Aarau, вторая рейка принадлежала профессору Барону Розену. На время работ 1890 года она была отдана во временное пользование КГАО, а после смерти профессора, 17 августа 1904 года, была подарена его сыном Казанской обсерватории (рисунок 3).

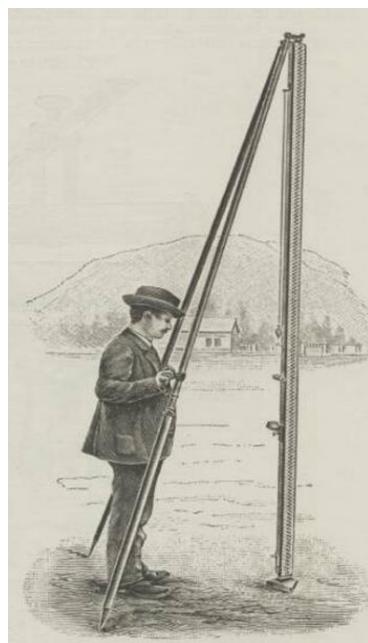


Рис. 3. Рейка марки Kern Aarau (источник фото: каталог Kern 1913 года).

Рейки были составными, состояли из 8 звеньев по 0.5 метра с цветными делениями в сантиметрах. Для приведения в вертикальное положение использовался отвес. Такие же рейки использовались военно-топографическим отделом и министерством путей сообщения в крупных нивелировках.

К нивелированию 1904 года рейки сильно расшатались, поэтому было принято решение склеить первые 5 звеньев в первую секцию, а 6 и 7 части во вторую. Таким образом, у них оставалась еще одно звено рейки, так как у рейки с номером 2 оно было утеряно. Пятки реек также подверглись изменениям, вместо углубления для башмака в виде полушара, было сделано коническое углубление, чтобы не мешал забивающийся в них песок. Также в дар от Барона Розена были приняты малые башмаки, у которых в 1904 году форма головки была также изменена на коническую.

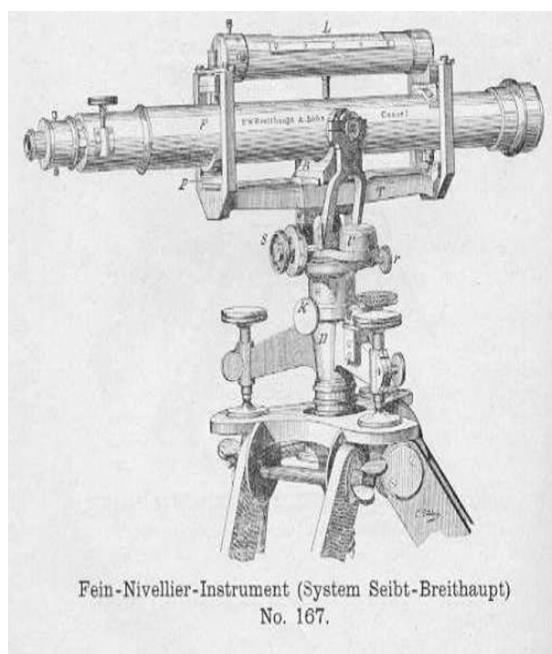


Рис.4. Нивелир Seibt Breithaupt u.Sohn (источник фото: каталог Breithaupt u.Sohn 1905 г.)

Для работы 1908 года был использован нивелир особой конструкции профессора Зейбта производства компании F.W. Breithaupt & Sohn (F.W. Breithaupt & Sohn №3646) (рисунок 4). Он был передан во временное пользование КГАО Казанским Округом Путей Сообщения. Основная особенность данного инструмента заключается в способе работы с ним, который разработал профессор Зейбт. Этот способ не предусматривает точного приведения прибора в горизонтальное положение, взамен предлагают учитывать отклонение, беря дополнительные отсчеты по уровню. Точность данного метода составляет 0,8 мм/км.⁸

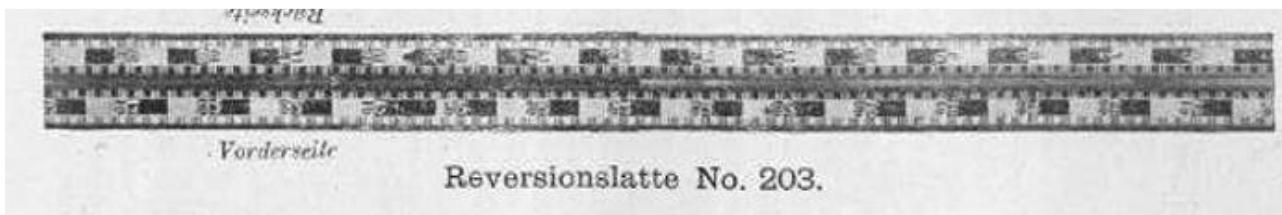


Рис. 5. Рейка F.W. Breithaupt & Sohn (источник фото: каталог F.W. Breithaupt & Sohn 1905 г.)

Рейки F.W. Breithaupt & Sohn (рисунок 5) имели длину 3 метра и деления с обеих сторон, размером 4 на 4 миллиметра, так что противоположные черные и белые поля чередовались, были пронумерованы по двойным дециметрам (2 дм принимались за единицу). Через каждый метр от пятки рейки имели круглые уровни. В связи с тем, что вместе с рейками не были переданы к ним специальные башмаки, то использовать башмаки от прошлого нивелирования.

Ход нивелирных работ

При проведении работ был использован способ нивелирования из середины, отсчеты одновременно брали 2 наблюдателя. Расстояния в основном измерялись шагами (один шаг был принят равным 0,8 м) или счетом рельс, только в 1908 году в обратных ходах стали использовать стальную ленту длиною в 10 сажень.

Перед проведением работ были произведены поверки нивелиров и оценка длины деления реек. Особое внимание уделили нивелиру Breithaupt & Sohn, для него ежедневно определяли тангенс угла i (угол i – проекция на отвесную плоскость угла между осью уровня и визирной осью трубы), а также была тщательно определена цена деления уровня на экзаменаторах фирмы Hildenbrand и Port. Это было важно из-за влияния отсчетов по уровню на точность получения превышение при работе по способу Зейбта.

Первый этап нивелирования был проведен в 1890 году с 20 по 27 сентября, а второй с 30 по 31 августа и 8 октября 1891 года (рисунок 6). Участники работ отмечали плохую погоду 20 и 21 сентября: был сильный ветер, поднимавший пыль. Линия возле репера Верхнего Услона велась по заливным лугам и песчаным отмелям. Всего было пройдено 16,9 км двойного хода и 7 км прямого по линии АТ для контроля.

⁸ Максимов, С.П. Опыт точной нивелировки по способу проф. Зейбта /С. П. Максимов. - Казань: 1901. - 39 с.

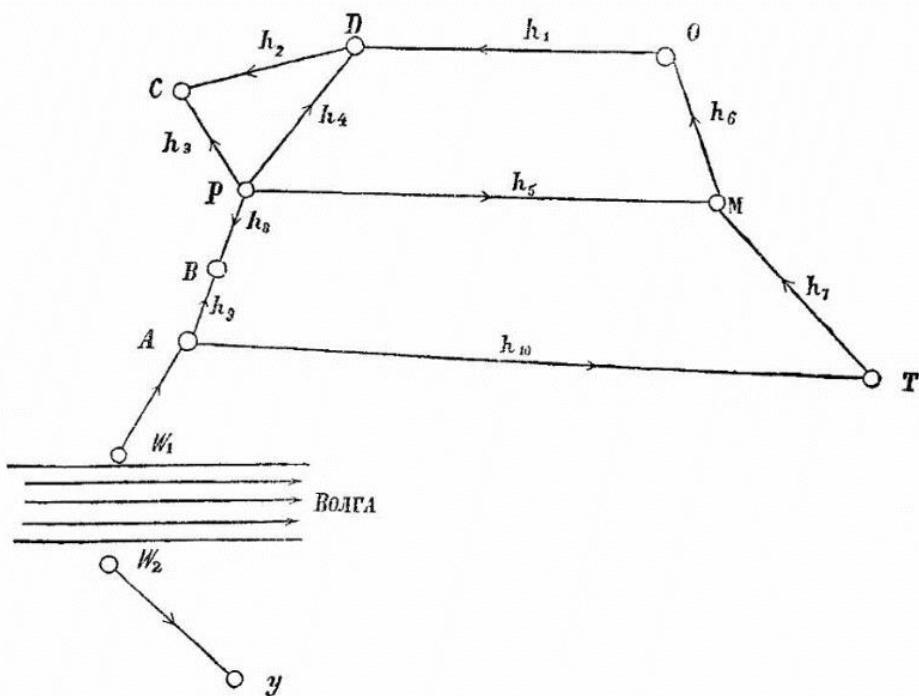


Рис. 6. Схема нивелирования 1890–1891 года.

На схеме приведены следующие обозначения:

O – марка городской обсерватории;

D – марка городской думы;

C – марка кафедрального собора;

P – дом Рама;

B – полицейская будка по середине дамбы;

A – марка часовни в Адмиралтейской слободе;

T – репер инженеров в Ново-Татарской слободе;

M – точка стояния на полу у Лавки купца Мусина на Сенной улице;

*W*₁ – свайка на правом берегу Волги;

*W*₂ – свайка на левом берегу Волги;

Y – репер водомерного поста Верхнего Услона.

В 1904 году была поставлена цель провести нивелирное соединение городской и загородной обсерватории. Планировалось пройти 22,2 км, но удалось только проложить 2,4 км. На это повлияло несколько факторов: одна рейка от инструмента Керна не принадлежала городской обсерватории и была передана лишь в сентябре, а в сентябре начались дожди. Но были заложены 7 марок. Линии 1-2,2-3,7-8 были пройдены 7, 8, 11, 24 сентября 1904 года.

Однако в 1908 году было принято решение пройти линии нивелирования 1904 года заново и использовать её как вспомогательную (рисунок 7). Выполнение основных работ заняло 17 рабочих дней, с середины июня по середину июля. Из них 12 дней с неблагоприятной погодой. Как было отмечено в журналах нивелирования, у участников были некоторые затруднения: сильные порывы ветра, дождь, тряска земли, вызванной проезжающим составом, сильная жара, дым, поломка башмака. Из журнала №3 читаем выписку: «Сильный ветер. Каждый штатив отнимает по 20-30 минут времени».

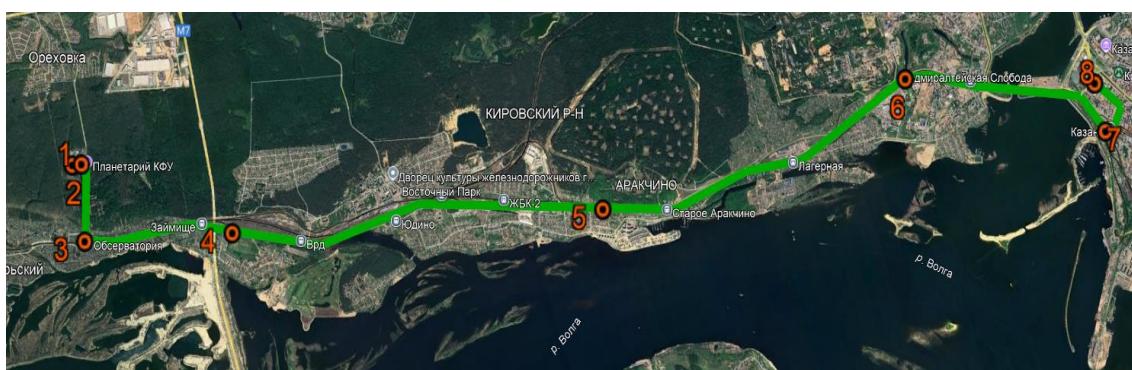


Рис. 7. Схема нивелирования 1908 года

Во время перерывов башмаки закапывались в землю в присутствии наблюдателя. При завершении работ старались закончить на репере или, если такого не получалось, делали насечки на зданиях, соответствующие сетке нитей прибора.

Итоги нивелирования 1890–1908 гг.

В ходе нивелировок были получены высоты заложенных марок, однако точность определения абсолютных высот зависела от репера водомерного поста Верхнего Услона. Об абсолютной отметке водомерного поста ходили споры и предложения о поправках в его высоту. Несмотря на это, нивелировка была очень результативна. Её результаты были разосланы в множество учреждений. В адрес Казанской городской астрономической обсерватории были получены благодарности от главы г.Казани Сергея Викторовича Дьяченко (рисунок 8), от строительного отделения правления Казанского округа с просьбой выслать 20 экземпляров статьи Милованова⁹.

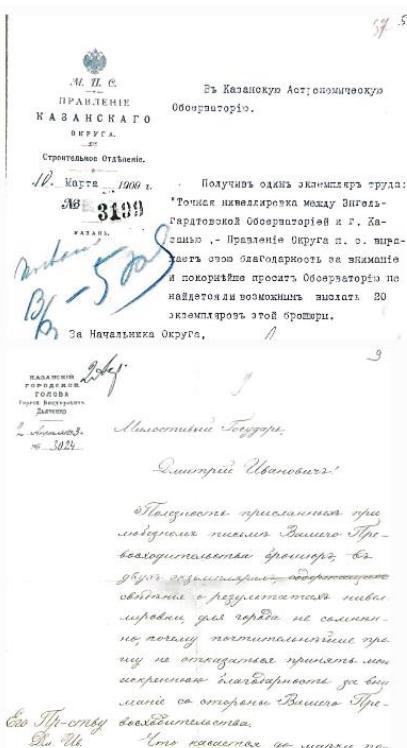


Рис. 8. Благодарности за нивелирование 1890 и 1908 гг

⁹ Милованов, В.Н. Точная нивелировка между Энгельгардтовской обсерваторией и г. Казанью для связи с Казанской астрономической обсерваторией/ В.Н. Милованов. - Казань: 1909. - 43 с.

По результатам нивелирования 1890 года были получены высоты марок, при принятой высоте исходного репера водомерного поста Верхнего Услона, равной 50,044 м, а высота свайки на правом берегу $W_1 = 37,240$ м (таблица 3). В ходе нивелировок 1904 и 1908 годов были определены высоты марок, приведенные в таблице 4, при принятой высоте свайки $W_1 = 43,000$ м.

Таблица 3

Высоты марок по результатам нивелирования 1890 – 1891 гг.

Пункт	Отметка, м
Обсерватория	73,555
Городская Дума	76,957
Колокольня Собора	77,933
Дом г. Рама	52,163
Адмиралтейская слобода	50,845

Таблица 4

Высоты, полученные по результатам нивелирования 1904 – 1908 гг.

Марка	Отметка, м
1	97,577
2	96,263
3	62,949
4	61,472
5	58,652
6	62,965
7	59,493

Помимо высот марок были получены и другие результаты: высота штриха на стене крыльца кабинета физической географии 72,50 м; высота стояния рейки на полу лавки Мусина на Сенном базаре 53,68 м; высота чугунного порога калитки, ведущей в ограду Казаковской мечети 53,18 м; высота первой ступени крыльца Мариинской богадельни, расположенной на Московской улице 52,18 м; было подтверждено предположение генерала Тилло об ошибочности определения высоты основания Собора.

Современная сохранность пунктов

На данный момент большая часть заложенных пунктов утеряна (табл.1). Из 5 заложенных в 1890 году уцелели 2 марки, а из 8 заложенных в 1904 году – 3.

Оценка точности измерений

На 1890 – 1908 гг. разделяли высокоточное и точное нивелирование. Для данных работ применялась инструкция «постановление комиссии европейского градусного измерения для точного нивелирования». В которой было установлено «в неудобных местах допущена ср.ошибка на 1 км ± 5 мм»⁴. Уравнивание производилось коррелатным методом.

Оценим точность измерений с современной точки зрения. В статье Краснова (1893 года) указано, что средняя ошибка нивелирования всей линии 8,6 мм. К сожалению, пересчитать и оценить результаты работы 1890 года невозможно, так как в статье отсутствуют

необходимые для этого данные. Однако, в статье Милованова (1909 года) есть измеренные превышения, которые позволяют оценить точность нивелирования 1904 – 1908 годов.

Таблица 5

Оценка точности измерений 1904 – 1908 гг.

Секция	Превышение прямо, м	Превышение обратно, м	Полученные nevязки, мм	Расстояние, км	Допустимые nevязки, мм
1-2	1,3136	-1,3141	-0,5	0,2	2,2
2-3	33,3145	-33,3147	-0,2	1,39	5,9
3-4	1,4738	-1,4790	-5,2	2,74	8,3
4-5	2,8192	-2,8208	-1,6	6,95	13,2
5-6	-4,3182	4,3079	-10,3	6,24	12,5
6-7	3,472	-3,4722	-0,2	3,91	9,9
7-8	1,5698	-1,5704	-0,6	0,81	4,5

В Таблице 5 приведены результаты нивелирования 1904 и 1908 годов, превышения ходов прямо и обратно были взяты из таблицы на странице 24⁴. Превышения были получены следующим образом: «Соединяя результаты отдельных нивелировок и тех же участков в одно целое и придавая им различные веса, соответственно их качествам»⁴.

Суммарная полученная невязка составляет 18,6 мм, при современном допуске для II класса нивелирования в $5\sqrt{22,24} = 23,6$ мм. Случайна ошибка $\eta = \pm 1,03$ мм. Следовательно, относительные высоты, полученные в ходе нивелирования 1904 и 1908 гг., имеют точность II класса(принятой согласно ГКИНП (ГНТА) – 03-010-03 «Инструкция по нивелированию I,II,III,IV классов»), с некоторыми допущениями: несоблюдение четности и одинакового количества станций в ходах прямо и обратно; измерение расстояний шагами.

Однако, вопрос об абсолютной отметке марок остается открытым. Как писал Милованов: «вопрос об истинной высоте нуля Верхне-Услонского водомерного поста остается в настоящее время открытым», «Мы полагаем, что, принимая во внимание расхождение поправок Волжской описной партии, данных на странице 27, не погрешим заметно, допустив в окончательных вышеприведенных абсолютных высотах марок №1 и №9 среднюю ошибку не превосходящей ± 1 м»⁴.

Поправки за высоту репера Верхнего Услона в разных источниках разнятся от +2,00 до +3,60 саженей¹⁰. Стоит отметить что: «Эти указанные отметки даны не к уровню Балтийского моря, а к условному нулевому горизонту нивелировки Волжской Описной Партии, принятым за его средний уровень Балтийского моря на основании отметки 41,892 с. Рельса на мосту через р.Уткошь у д.Копаево – ветки к товарной пристани Рыб.-Болог. ж.д. По нивелировкам В-Т. Отдела Главного Штаба нулевой горизонт В.О.П. лежит на 2-3 саж. Выше среднего многолетнего уровня Балтийского моря, почти совпадающего с нулем Кронштадтского футштока.»¹¹. К сожалению, репер так и не получил точную отметку относительно Кронштадтского футштока.

В работе Краснова имелось ошибочное утверждение, что уровень воды одинаковый с обеих сторон реки Волги. В 1926 году сотрудник Казанского землеустроительного техникума

¹⁰ Барков, Р. Р. Ранние высотные геодезические знаки Казани / Р. Р. Барков // X Международная научно-практическая конференция «Актуальные вопросы геодезии и геоинформационных систем». - Казань: 2021.

¹¹ Из письма правления Казанского округа от 26 ноября 1908 года.

А.А. Трушов провел повторное соединение марки КАО Адмиралтейской слободы (A) с репером Водомерного поста. В результате, измерения показали необходимость внести поправку -6,5мм в абсолютные высоты.

О дальнейшей роли нивелировок 1890, 1904, 1908 гг.

Геометрическое нивелирование, проведенное Казанским университетом, не теряет своей актуальности и по сей день.

До высот от Кронштадтского футштока в Казани активно использовались результаты, полученные в статьях Краснова и Милованова. Полученные отметки использовал Константиновский межевой институт при проведении топографической съемки г. Казани в 1910 – 1914 гг., в 1920-е годы их использовал Казанский землеустроительный техникум при проведении собственных нивелировок⁵.

В 1930 году Главным геодезическим управлением была проведена линия нивелирования I разряда (по современным меркам I класса) Арзамас - Вятские Поляны, которая включила 3 марки 1904 года (№5, №6, №7). Отметки были включены в «Каталог высот марок и реперов высокоточного и точного нивелирования, выполненных Главным геодезическим управлением и Управлением военных топографов в Европейской части СССР» с 1875 года по 1932 год. В 1946 году были переуравнены и включены в «Каталог высот марок и реперов нивелирования I и II классов (разрядов)», 1950г.

В советское время марки КАО и ЭО использовали для определения скоростей вертикальных движений земной коры г. Казани. К этому периоду относятся несколько работ: Нелидов Н.Н., Губайдуллин А.М. «Современные вертикальные движения земной поверхности на территории г. Казани», 1963г.; М.С. Кавеев, Б.В. Васильев «Провальные явления на территории г. Казани», 1958 г.

В 2000 и 2001 году по заказу татарстанского геологоразведочного управления ПАО «Татнефть» было выполнено 2 цикла повторного нивелирования II класса на Казанском геодинамическом полигоне, в состав которого вошла марка городской думы (D) и марка вокзала (№7).

Современное значение

В наши дни старинные нивелирные марки имеют важное значение в изучении вертикальных движений земной коры, использование их в геодинамических полигонах позволяет оценивать скорость вертикальных смещений за большой период времени. Например, в геодезическом мониторинге Кавказа активно используются марки, заложенные более 125 лет назад¹².

Сравним полученные превышения в 1890–1908 гг. с превышениями, полученными из разных нивелировок.

Таблица 6

Сравнение измеренных превышений из разных нивелировок

Линия	Разность измеренных превышений за разный период, м				
	1930	2000	2001	2022	2025
1-2	-	-	-	-0,004	-
5-6	-0,005	-	-	-	-
6-7	0,009	-	-	-	-
7-8	-			-	-
O-D	-	0,143	0,130	-	-0,004

¹² Ямбаев, Х. К. Геодезический мониторинг движения земной коры (по материалам Кавказского региона) / Х. К. Ямбаев, В. Р. Ященко - Москва: МИИГАиК, 2007. — 208 с.

Разность превышений считалась по формуле $\rho = h_x - h_{1908}$, где h_x – превышение, измеренное за указанный год, а h_{1908} – превышение, полученное из нивелирования Краснова и Милованова.

Согласно Таблице 6, между маркой Казанского вокзала и маркой городской думы есть значительная разность превышений, чем она может быть вызвана – не известно. Разность превышений между этими марками, измеренная в 2000 и 2001 годах, составляет 13 мм.

По результатам измерений 2000 и 2001 годов, марка Казанского вокзала (№7) имеет наиболее стабильное положение (разность между циклами наблюдений +2мм, среднее поднятие составляет +1мм). Примем высоту марки №7 за исходную и приведем высоты, полученные в разные годы, к одной системе высот (Балтийская система высот 1977 года – БСВ-77).

Таблица 7

Сравнение превышений, полученных из разных нивелировок

Марка	H ₁₉₃₀ -H ₁₉₀₈	H ₂₀₀₀ - H ₁₉₀₈	H ₂₀₀₁ -H ₁₉₀₈	H ₂₀₂₂ -H ₁₉₀₈	H ₂₀₂₅ -H ₁₉₀₈
O	-	-	-	-	0,084
D	-	0,143	0,130	-	0,088
1	-	-	-	-0,014	-
2	-	-	-	-0,010	-
5	0,004	-	-	-	-
6	0,009	-	-	-	-

В Таблице 7, высоты марок, полученные в 2022 и 2025 гг. определены в БСВ-77, с привязкой на другие пункты и не имеют привязки к марке вокзала.

Измерения 2022 года были выполнены АО «Средневолжское АГП», с целью определения высоты пункта ФАГС.

В апреле 2025 года было принято решение провести собственные измерения. Ход был привязан к пунктам полигонометрии, но их высоты, указанные в каталоге, определены III классом нивелирования, также согласно повторным наблюдениям 2000 и 2001 гг., осадка за 2 цикла составила -6мм.

Из Таблицы 7 заметим, что на большинстве марок имеется поднятие относительно измерений 1908 года. До 1930 года имеются незначительные поднятия со средней скоростью 0,2-0,4 мм/год, предположительно вызванные малым пучением мостов¹³ и маловероятно имеют геодинамический характер.

Наиболее частыми циклами охвачена марка городской думы, по которой можно заметить значительное изменение высоты за период в 92 года. В наши дни величина поднятия уменьшается из-за карстовых явлений в центре Казани¹⁴. Большая величина поднятия вызвана образованием в 1955–1957 гг. Куйбышевского водохранилища. Средняя скорость поднятия до 2000 года – 1,6 мм/год, современная скорость опускания составляет -1,4 мм/год.

Осадку марок №1 и №2 (заложенных в главном и административном здании ЭО) можно объяснить усадкой здания, так как марки были заложены в один год с открытием ЭО. Средняя скорость составляет – -0.1 мм/год.

¹³ Третьякова, О.В. Повреждения мостов от морозного пучения грунта и методы их предотвращения/ Третьякова О.В. // ТРАНСПОРТ. ТРАНСПОРТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ. ЭКОЛОГИЯ. — 2020. — № 2. С. 70-78.

¹⁴ Мирзоев К. М., Степанов В. П., Гатиятуллин Н. С., Тарасов Е. А., Гатиятуллин Р. Н., Кашуркин П. И., Кожевников В. А. Глубинный карст и современные движения земной поверхности в Татарстане // Георесурсы. 2006. №1 С. 18

Заключение

В процессе работы было выявлено влияние образования Куйбышевского водохранилища и карстовых явлений на марки первого точного нивелирования г. Казани. Результаты, полученные в данной работе, довольно сильно усреднены, из-за с малого количества повторных циклов нивелирования.

Для получения более точных вертикальных скоростей требуется увеличение числа циклов, путем проведения повторного нивелирования и поиска архивных результатов нивелирования.

Планируется изучение следующих вопросов: привязка хода выполненного в апреле 2025 года, к фундаментальному реперу Казанского кремля; изучение различий системы высот от Кронштадтского футштока (1932 года), Балтийской системы высот 1946 и 1977 гг.; изучение истории и современной работы водомерного поста в селе Верхний Услон; изучение влияния образования Куйбышевского водохранилища на высотную основу; изучение теории применения квантового нивелира и сети «Квантовый футшток».

Важность проделанных работ в 1890, 1891, 1904, 1908 гг. не вызывает сомнения. Они внесли огромный вклад не только в науку, но и в развитие города Казани. Актуальность результатов этих работ не теряется со временем.

Благодаря сохранившимся маркам, в настоящее время мы можем оценить вертикальные движения земной коры г. Казани за период свыше 90 лет.

Благодарности: Выражаем благодарность за консультации, предоставленные материалы и рекомендации М.Г. Соколовой, Р.Р. Баркову, В.М. Безменову, К.И. Сафину. За предоставленные журналы инструментов музею Kern Aargau (в частности Альдо Ларделли) и библиотеке обсерватории Палермо. За помошь в проведении измерений М.А. Уленгову, Д.М. Хабибуллину, И.И. Нигматуллину, И.Н. Петрову, А.В. Случаевой.

Литература

1. Краснов, А.В. Нивелирное соединение Астрономической обсерватории Императорского Казанского университета с репером водомерного поста в селе Верхнем Услоне, на правом берегу Волги, против Казани / А.В. Краснов - Казань: Ученые записки Казанского университета, 1893. - №1. С. 231-244.
2. Богуславский, Н.А. Курс геодезии и приложение ее к техническим изысканиям путей сообщения [Электронный ресурс]: пособие для студентов, учеников техн. учеб. заведений и техников путей сообщения / Н. А. Богуславский – СПб: 1897. - 832 с.
3. Максимов, С.П. Опыт точной нивелировки по способу проф. Зейбта /С. П. Максимов. - Казань: 1901. - 39 с.
4. Милованов, В.Н. Точная нивелировка между Энгельгардтовской обсерваторией и г. Казанью для связи с Казанской астрономической обсерваторией/ В.Н. Милованов. - Казань: 1909. - 43 с.
5. Барков, Р. Р. Ранние высотные геодезические знаки Казани / Р. Р. Барков // X Международная научно-практическая конференция «Актуальные вопросы геодезии и геоинформационных систем». - Казань: 2021.
6. Ямбаев, Х. К. Геодезический мониторинг движения земной коры (по материалам Кавказского региона) / Х. К. Ямбаев, В. Р. Ященко - Москва: МИИГАиК, 2007. — 208 с.
7. Третьякова, О.В. Повреждения мостов от морозного пучения грунта и методы их предотвращения/Третьякова О.В./ТРАНСПОРТ. ТРАНСПОРТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ. ЭКОЛОГИЯ. — 2020. — № 2. С. 70-78.
8. Мирзоев К. М., Степанов В. П., Гатиятуллин Н. С., Тарасов Е. А., Гатиятуллин Р. Н., Кашуркин П. И., Кожевников В. А. Глубинный карст и современные движения земной поверхности в Татарстане // Георесурсы. 2006. №1 С. 18

9. Нелидов, Н.Н., Губайдуллин А.М. Современные вертикальные движения земной поверхности на территории г. Казани / Н. Н. Нелидов, А. М. Губайдуллин // Современные движения земной коры. Сб. ст. №1. Москва: Изд-во АН СССР, 1963. С.141-143

10. Кавеев, М.С., Васильев Б.В. Провальные явления на территории г. Казани / М. С. Кавеев, Б. В. Васильев // Известия Всесоюзного географического общества – 1958. – Том №90.

11. Ризванов, Н. Г., Белькович, О. И., Дубяго, И. А., Беляева, Е. Е., Вараксина, Н. Ю. История астрономии в Казани / Н. Г. Ризванов, О. И. Белькович, И. А. Дубяго, Е. Е. Беляева, Н. Ю. Вараксина — 1. — Казань: Казанский государственный университет, 2009 — 368 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИНТЕГРАЦИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СФЕРУ ГЕОДЕЗИИ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Шашубай Н.Ш.

Карагандинский технический университет имени Абилкаса Сагынова

Применение нейросетевых и интеллектуальных программных комплексов в современных геодезических исследованиях. Геодезическая деятельность охватывает широкий спектр задач, связанных с измерениями и установлением координат различных точек земной поверхности. Применение методов ИИ позволяет значительно ускорить процессы сбора и обработки информации, а также повысить надежность и точность результатов геодезических измерений.

Основная цель использования ИИ заключается в создании программных инструментов, способных к анализу поступающих данных и последующей интерпретации полученных результатов. В рамках данной статьи рассматривается возможность применения искусственного интеллекта для расширения возможностей геоинформационных систем и повышения эффективности геодезических работ.

Искусственный интеллект представляет собой инструмент, позволяющий организовать более интуитивное взаимодействие пользователей с программными решениями и оказывать поддержку при принятии решений в рамках конкретных профессиональных задач.

Современные нейросетевые архитектуры находят широкое применение и в автоматизации процессов распознавания объектов на спутниковых и аэрофотоснимках. Благодаря такому подходу специалисты могут быстро и качественно идентифицировать элементы городской и природной инфраструктуры, что особенно важно для актуализации картографических данных и проведения мониторинга измерений на местности.

Кроме того, нейросетевые и машинные методы позволяют обрабатывать огромные массивы пространственных данных без значительных временных и трудовых затрат. Такой подход существенно упрощает аналитическую работу в сферах, где требуется высокая степень детализации информации и точность измерений.

Одним из примеров использования ИИ в геодезии является автоматическое распознавание объектов на спутниковых снимках. С помощью таких программ можно быстро и точно определить местоположение зданий, дорог, рек и других объектов на больших территориях. Это позволяет геодезистам сократить время проведения работ и повысить точность результатов.

Также искусственный интеллект может быть использован для определения оптимальных маршрутов при проведении геодезических работ. Алгоритмы могут учитывать, различные факторы, такие как расстояние, сложность местности, наличие препятствий и т.д., и определять наиболее эффективный маршрут для проведения работ.

В мировой практике наблюдается устойчивая тенденция к активному внедрению ИИ в геоинформационные системы. Программные комплексы нового поколения позволяют автоматизировать рутинные задачи, такие как классификация земельных участков, оценка природных ресурсов, прогнозирование экологических изменений или моделирование последствий различных природных явлений.

Отдельного внимания заслуживает возможность использования интеллектуальных алгоритмов для оптимизации логистики и планирования инфраструктурных проектов.

Например, способен расчитывать наиболее эффективные схемы движения транспорта, планировать расположение новых объектов, а также выявлять потенциальные риски и ограничения на этапе проектирования.

Интеллектуальные технологии способствуют более глубокому пониманию пространственных процессов, выявлению скрытых взаимосвязей и трендов. Благодаря этому принимаемые управленческие решения становятся более обоснованными и эффективными, а риск ошибок и неучтенных факторов заметно снижается.

Сегодня развитие ИИ в геоинформационной отрасли напрямую связано с ростом объемов геоданных, совершенствованием методов их обработки и увеличением вычислительных мощностей. Широкое распространение облачных сервисов и доступность больших данных создают условия для реализации сложных аналитических моделей, которые раньше были недостижимы.

Особое место занимает развитие геопространственного машинного обучения и глубоких нейросетей. Эти методы позволяют строить модели прогнозирования на основе реальных данных, выявлять закономерности и предсказывать динамику тех или иных природных или антропогенных процессов.

Профессиональное сообщество все активнее разрабатывает интеграционные решения, позволяющие совмещать возможности ГИС с преимуществами ИИ. Такие гибридные системы включают не только алгоритмы обработки данных, но и визуализацию результатов, а также механизмы поддержки принятия решений.

Одним из приоритетных направлений становится создание удобных программных интерфейсов, благодаря которым специалисты без глубоких знаний в области программирования могут использовать потенциал ИИ в своей повседневной деятельности.

На сегодняшний день активно используются как коммерческие, так и открытые платформы, поддерживающие функции машинного обучения и нейронных сетей. Среди них можно выделить известные программные комплексы и библиотеки, которые обеспечивают гибкость и масштабируемость при реализации аналитических задач.

Примеры успешного применения ИИ включают автоматическую классификацию спутниковых снимков, определение типов земного покрова, прогнозирование природных катастроф и моделирование последствий климатических изменений.

Благодаря интеграции ИИ в ГИС появляется возможность эффективно решать задачи анализа больших пространственных данных, выявлять скрытые закономерности и формировать долгосрочные прогнозы. Это позволяет государственным и частным организациям принимать более взвешенные решения в области градостроительства, сельского хозяйства, природопользования и экологии.

Немаловажным аспектом остается вопрос подготовки специалистов, способных эффективно использовать инструменты ИИ в ГИС. Необходимы программы профессионального обучения, развитие образовательных курсов и внедрение практических кейсов в учебный процесс.

В перспективе можно ожидать дальнейшего развития технологий GeoAI, объединяющих геоинформационные системы и искусственный интеллект в единый аналитический инструмент. Такие решения открывают новые горизонты для исследования пространственных данных, управления территорией и планирования устойчивого развития.

Использование ИИ в различных отраслях приводит к значительным улучшениям в эффективности и точности решения задач. Одной из областей, где ИИ имеет огромный потенциал, является геоинформационные системы. Известны основные составные части технологии искусственного интеллекта в ГИС (рисунок 1).

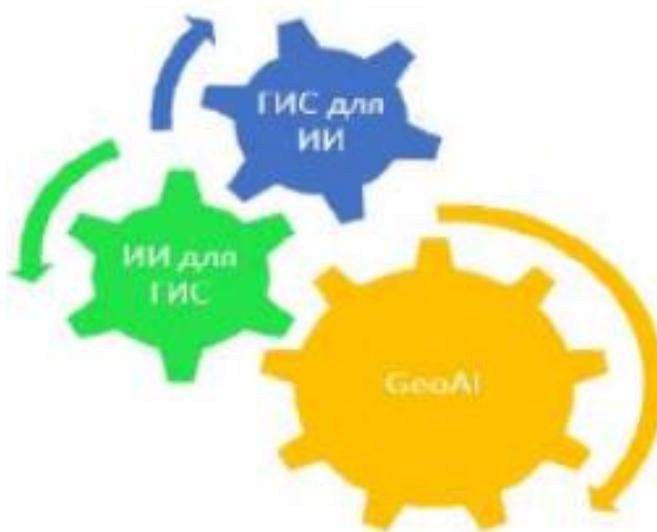


Рис. 1. Основные составные части ГИС

Эти технологии позволяет решать задачи в области ГИС, применение ИИ расширяют их возможности при обработке и анализе пространственных данных. На сегодняшний день большую популярность имеют следующие виды и методы искусственного интеллекта (Таблица 1).

Таблица 1

Виды и методы искусственного интеллекта

Сильный ИИ	Слабый ИИ
Способность ощущать	Не имеет разума
Способность выносить суждение	Ориентирован на решение прикладных задач
Самоанализ	Усиливает возможности человека в решении узких задач
Самосознание	Не функционирует без человеческого контроля

В настоящее время интенсивно развивается слабый ИИ, который также охватывает задачи для оптимизации пространственных данных. Для решения или внедрения искусственного интеллекта для решения и оптимизации задачи конкретной области, широко применяются следующие методы искусственного интеллекта (рисунок 2). Этапы искусственного интеллекта для оптимизации пространственных данных могут быть следующими (Рисунок 3). Как показано на Рисунке 4 первым этапом применения ИИ в ГИС является «Определение целей исследования». На данном этапе необходимо определение конкретных актуальных задач или проблемы, которые необходимо решить с помощью ИИ.



Рис. 2. Методы искусственного интеллекта

На этапе «Сбор данных» необходимо определить, какие данные понадобятся для реализации задач, связанных с использованием ИИ в ГИС.

На этапе «Предварительная обработка данных» необходимо провести предварительную обработку данных, таких как фильтрация шума, нормализация размерности, чтобы подготовить данные для последующего использования в моделях ИИ.

На этапе «Обучение и тестирование моделей» необходимо использовать доступные данные для обучения выбранной модели. Разделить данные на тренировочную и тестовую выборки для оценки производительности модели.

На этапе «Интеграция моделей ГИС» необходимо разработать и реализовать механизмы интеграции обученных моделей ИИ в существующую ГИС. Это может включать создание интерфейсов или плагинов, которые позволяют пользователям использовать модели и получать результаты анализа.



Рис. 3. Этапы ИИ в ГИС

На этапе «Оценка и оптимизация» проводится оценка производительности и результаты использования ИИ в ГИС. Для этого можно использовать метрики и критерии, чтобы оценить точность, эффективность и практическую ценность применения ИИ в системе.

Этап «Мониторинг и обновление» позволяет отслеживать производительность и результаты внедрения ИИ в ГИС.

Этап «Обучение и развитие» требует продолжения развития изучения и применения новых методов и техники ИИ в ГИС, в зависимости от последних тенденций и лучших практик в данной области.

Заключительным этапом ИИ является «Документация и обратная связь», т.е. создание документации, которая описывает процессы и методы, используемые для применения ИИ в ГИС (рисунок 4).

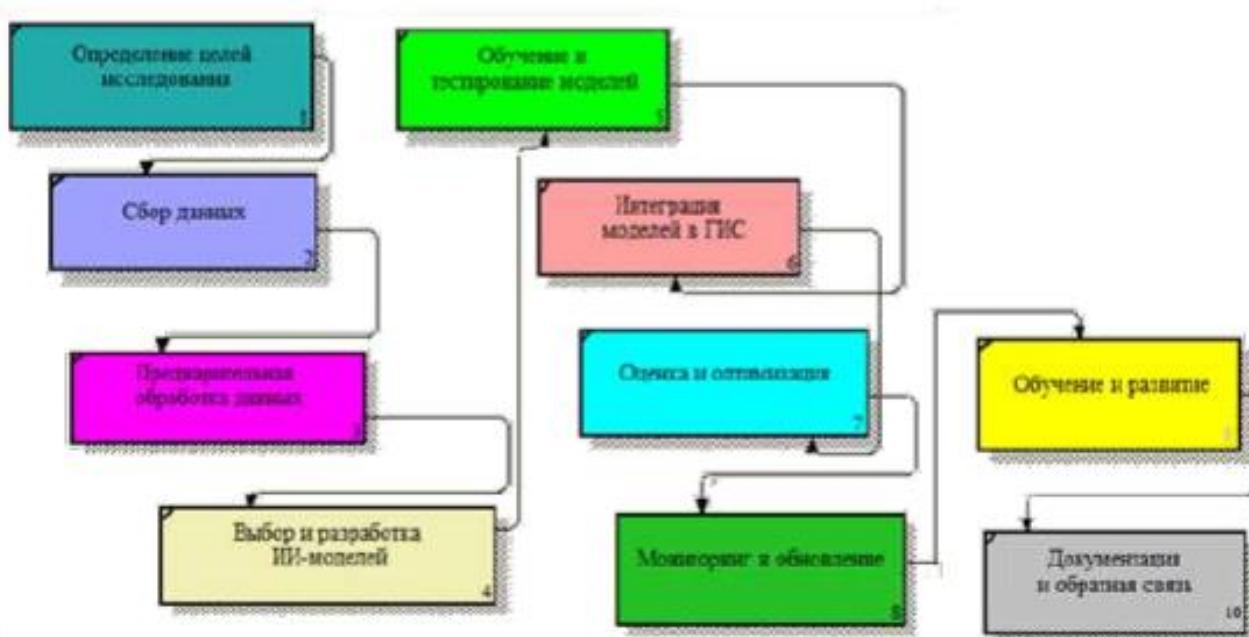


Рис. 4. Способы обработки геоданных с помощью ИИ

В целом, применение ИИ в обработке и анализе больших объемов географических данных позволяет автоматизировать процессы, повысить точность анализа и принятия решений, а также обнаруживать скрытые паттерны и взаимосвязи между данными.

На сегодняшний день внедрение ИИ в любую отрасль, в том числе и ГИС, требует необходимых знаний машинного обучения, больших данных и инструментальных средсв. Машинное обучение – это ядро искусственного интеллекта, а глубокое обучение – популярное направление исследований в его ядре, т.е. для исследования задачи с применением ИИ в ГИС требуется изучение технологии геопространственного машинного обучения и геопространственное глубокое обучение. Некоторые виды популярных программных средств, библиотеки машинного обучения, интегрированных систем в ГИС, а также языки программирования, которые используются для обработки геоданных представлены в Таблице:

Таблица 2

Программное обеспечение ИИ в ГИС

Наименование ПО	Назначение
ArcGIS	Предназначены для анализа пространственных данных и включает в себя некоторые алгоритмы ИИ, такие как классификация изображений и анализ геопространственных паттернов.
QGIS	Бесплатная и открытая ГИС – платформа, которая также поддерживает алгоритмы ИИ. С помощью плагинов, таких как Orfeo Toolbox или SAGA, можно использовать методы машинного обучения и анализа пространственных данных.
ENVI	Программное обеспечение для обработки и анализа геопространственных данных, включая спектральный анализ изображений. Оно предоставляет функции машинного обучения и глубокого обучения для классификации и анализа изображений.
TensorFlow	Популярная библиотека машинного обучения с открытым исходным кодом, которая может быть использована для разработки и обучения моделей ИИ в ГИС. Она позволяет реализовать различные алгоритмы машинного обучения, включая нейронные сети.
PyTorch	Еще одна популярная библиотека машинного обучения с открытым исходным кодом, которая также может быть использована для разработки моделей и развертывания моделей глубокого обучения.
GRASS GIS	Бесплатная и открытая ГИС – платформа, которая включает в себя некоторые алгоритмы ИИ для анализа пространственных данных, такие как классификация изображений и пространственная интерполяция. Это только несколько примеров программного обеспечения и алгоритмов ИИ, применяемых в ГИС.
SuperMap GIS	Это полный пакет программного обеспечения для платформы ГИС, включая настольные ГИС, сервисные ГИС, компонентные ГИС и мобильные ГИС – платформы, а также инструменты для производства, обработки и управления пространственными данными.
Язык Python	Популярный язык, используются в скриптах QGIS, ArcGIS, GRASS и многих других проектах, в том числе с открытым исходным кодом. Имеет множество библиотек для работы с геоданными, и это один из главных языков, используемых в GIS ГИС.
Язык R Среда разработки RStudio	Свободная среда разработки программного обеспечения с открытым исходным кодом для языка программирования R, который используется для визуализации и ГИС.

Перспективы развития глубокого обучения связаны с доступностью данных, благодаря Интернету, в которых чем больше данных, тем точнее они отражают действительность, мощными вычислительными системами благодаря облачным вычислениям и графическим процессорам (GPU) и усовершенствованиями алгоритмов, решенные из наиболее сложных аспектов обучения глубоких нейронных сетей.

Методика моделирования с помощью нейронных сетей является эффективным инструментом ГИС, которая направлена для повышения качества и скорости обработки информации, расширения их прикладных, исследовательских, учебных и других задачах. ИИ в ГИС предлагает множество возможностей и перспективных направлений такие как, автоматизация и оптимизация процессов, прогнозирование и предсказание, геопространственный анализ с большими данными, создание более реалистичных и интерактивных виртуальных окружений, автоматическое распознавание объектов в реальном времени на основе входных данных из окружающей среды, управление рисками и экологическими проблемами, а также может помочь в разработке интеллектуальных систем, которые преоставляют геопространственные данные, анализ и рекомендации для принятия решений в различных областях, таких как градостроительство, транспорт, сельское хозяйство, экологии, муниципальном управлении, транспорте, экономике, обороне и многих других областях.

Проводя итоги, следует также отметить, что применение ИИ в ГИС – это многофакторный и многошаговый процесс, который требует проведения глубоких исследований, с привлечением различных методов и источников.

Таким образом, применение ИИ в геоинформационных системах и геодезии демонстрирует значительный потенциал для решения актуальных задач современного общества. Это направление продолжает развиваться и формирует основу для создания более интеллектуальных, автоматизированных гибких платформ пространственного анализа.

АНАЛИЗ ОСЕДАНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ НА ОСНОВЕ GNSS-ДАННЫХ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РАЙОНАХ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Тухтамешов Ф.Г.^{1,2}, Фазилова Д.Ш.¹, Магдиев Х.Н.³

¹Астрономический институт АН Республики Узбекистан

²Национальный университет имени Мирзо Улугбека

³Агентство по кадастру при Министерстве экономики и финансов Республики Узбекистан

Глобальная навигационная спутниковая система (GNSS) сегодня считается одним из наиболее результативных средств для исследования современных геодинамических процессов, обеспечивая высокоточную фиксацию пространственных перемещений земной поверхности. За последние десятилетия возможности применения GNSS-технологий значительно расширились: они активно используются для мониторинга тектонических движений, оценки стабильности территорий и анализа влияния как природных, так и антропогенных факторов на деформацию земной коры [1–2]. Современные спутниковые методы позволяют регистрировать как горизонтальные, так и вертикальные перемещения литосферных блоков, а также изучать их связь с геологическими структурами, тектоническими разломами и сейсмической активностью в пределах исследуемых регионов [3]. Одним из приоритетных направлений GNSS-мониторинга является наблюдение за территориями с интенсивным техногенным воздействием, где деятельность горнодобывающих и инфраструктурных объектов способна изменять напряженно-деформированное состояние земной коры. В зонах активной добычи полезных ископаемых оседание или поднятие земной поверхности может быть связано как с естественными геодинамическими процессами, так и с техногенными причинами — добычей углеводородов, подземным выщелачиванием, строительством и эксплуатацией крупных промышленных объектов [4–6]. В этой связи особую актуальность приобретает выявление закономерностей вертикальных смещений и их возможной связи с локальной сейсмической активностью, что позволяет оценивать потенциальные риски и разрабатывать меры по их снижению.

Шуртанское месторождение, расположенное на юге Узбекистана в пределах Амударьянского нефтегазоносного бассейна, характеризуется сложным геологическим строением, включающим складчатые и разломные структуры, оказывающие влияние на сейсмическую активность региона (рисунок 1). Несмотря на наличие отдельных исследований геодинамических процессов в последние годы, систематические наблюдения с применением GNSS-технологий в данной области до настоящего времени не проводились. Целью настоящей работы является использование спутниковых методов для анализа геодинамической устойчивости территории. Применение GNSS-наблюдений в сочетании с геоинформационными технологиями, включая методы пространственной интерполяции, позволит уточнить пространственно-временные закономерности смещений земной поверхности, выявить тенденции в её деформации и получить основу для более детального изучения геодинамических процессов в будущем.

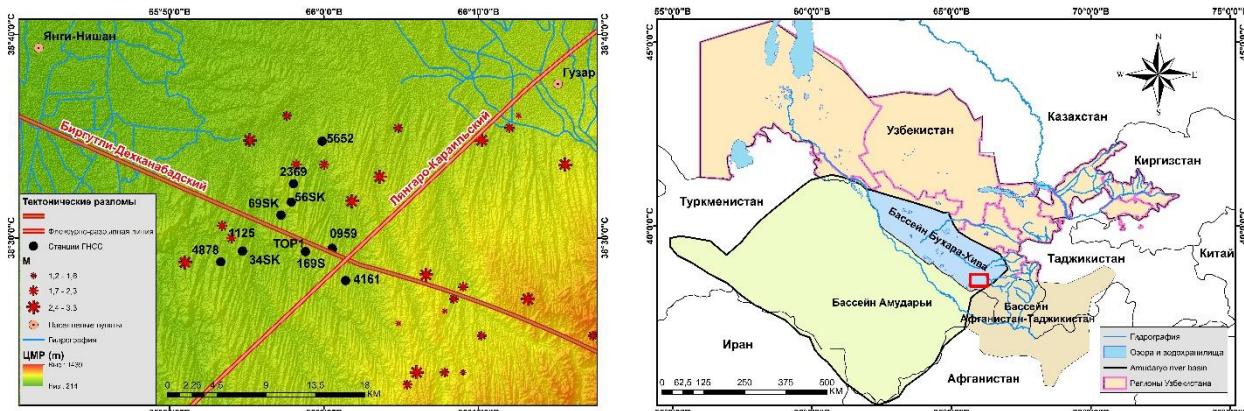


Рис. 1. Район исследований и расположение пунктов GNSS-наблюдений на Шуртанском месторождении

В работе использованы данные о сейсмической активности, предоставленные Республиканским центром сейсмопрогностического мониторинга [7]. Анализ показал, что землетрясения в районе Шуртанского месторождения распределены неравномерно по глубинам. Основная часть сейсмических событий сосредоточена в центральной и восточной частях региона, где преобладают мелкие землетрясения на глубине до 20 км. Среднеглубинные события (20–30 км) встречаются реже, а глубокие землетрясения (более 30 км) фиксируются преимущественно на юге территории.

Для анализа вертикальных движений в период с 2022 по 2024 год было проведено шесть циклов GNSS-измерений на 9 пунктах, оснащенных приемниками SOUTH G1PLUS. Измерения проводились в статическом режиме, продолжительностью от 12 часов до 2–3 суток, с отсечкой 10° и частотой регистрации данных 30 секунд. Обработка полученных GNSS-данных осуществлялась с использованием специализированного программного комплекса GAMIT/GLOBK, в соответствии с рекомендациями Международной службы вращения Земли [8-9]. На первом этапе были рассчитаны координаты станций, определены зенитная задержка атмосферы, орбиты спутников и ориентация Земли, при этом использовались орбитальные данные IGS и модели атмосферы GPT2, Saastamoinen, а также модели приливов FES2004 [10]. На следующем этапе данные были усреднены, а на третьем этапе координаты и скорости станций были рассчитаны с применением фильтра Калмана в программе GLOBK, с привязкой к международной опорной системе отсчета ITRF2014 [11].

Для построения интерполяционной карты вертикальных смещений GNSS-пунктов был применён метод кубической интерполяции (Spline) в среде ArcGIS [12]. Данный метод относится к числу наиболее точных способов интерполяции и обеспечивает сглаженное восстановление значений между известными точками. Его принцип основан на использовании полиномов третьей степени для аппроксимации данных в промежутках между точками измерений. По сравнению с линейной и билинейной интерполяцией, метод Spline отличается большей точностью, особенно при обработке геофизических данных. На основе измеренных значений вертикальных скоростей (Vh) в исследуемых пунктах была построена тепловая карта, отражающая пространственные закономерности оседания и поднятия земной поверхности, что имеет важное значение для анализа возможных связей между тектоническими процессами и сейсмичностью региона (рисунок 2).

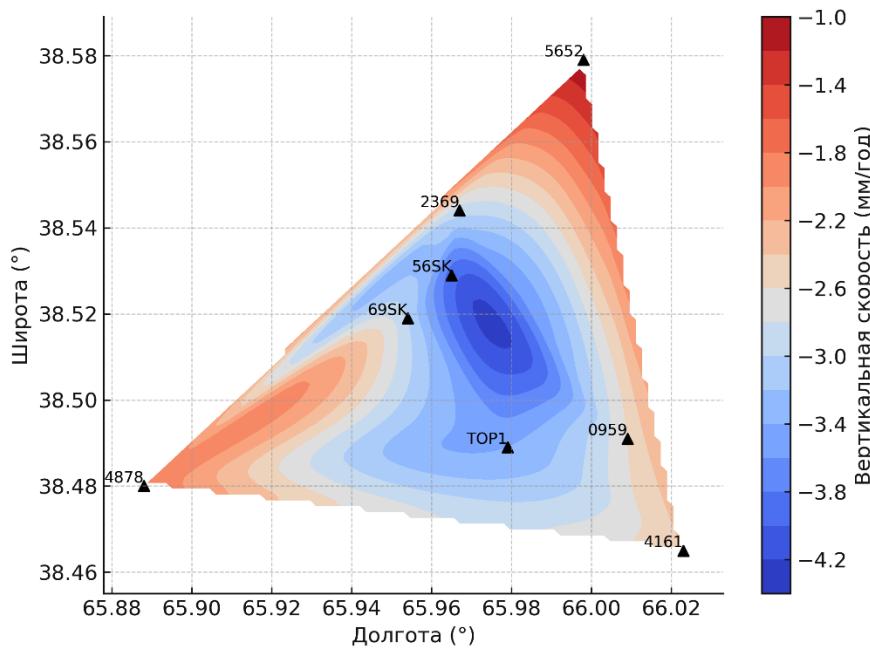


Рис.2. Тепловая карта вертикальных скоростей смещений GNSS-пунктов (метод кубической интерполяции Spline)

Анализ тепловой карты вертикальных скоростей смещений GNSS-пунктов показал наличие выраженной зоны максимальных отрицательных скоростей (до $-4,2$ мм/год) в центральной части полигона, приуроченной к узлу пересечения Биргутли-Дехканабадского и Лянгаро-Караильского тектонических разломов. Сопоставление с данными о сейсмической активности (рисунок 1) выявило пространственную корреляцию этой зоны с областями повышенной плотности эпицентров слабых и умеренных землетрясений ($M = 1,2\text{--}3,3$), что может указывать на проявления наведённой сейсмичности. Такой характер распределения деформаций свидетельствует о том, что техногенные процессы — прежде всего добыча углеводородов, перераспределение пластовых флюидов и изменение порового давления — способны оказывать значимое влияние на напряжённо-деформированное состояние земной коры в сочетании с природными геодинамическими факторами. Локализация интенсивных оседаний вблизи активных тектонических структур повышает вероятность их дальнейшего развития, что создаёт потенциальные риски для инфраструктуры месторождения и требует постоянного мониторинга. Периферийные участки территории, напротив, демонстрируют относительно низкие скорости оседания ($-1,0\ldots-1,5$ мм/год) и могут рассматриваться как зоны с более устойчивой геодинамической обстановкой. Полученные результаты подтверждают необходимость комплексного использования GNSS-наблюдений и геоинформационного анализа для выявления и оценки зон геодинамического риска в районах с высокой техногенной нагрузкой.

Таким образом, выявленные пространственные закономерности вертикальных смещений в сочетании с данными по сейсмичности позволяют предположить, что локальные участки интенсивного оседания могут представлять зоны потенциального геодинамического риска, где наложение природных и техногенных факторов способствует развитию деформационных процессов.

Благодарности: Исследование выполнено в рамках базового финансирования лаборатории Космических исследований Астрономического института Академии наук РУЗ.

Литература

1. Blewitt G., Kreemer C., Hammond W.C., Gazeaux J. MIDAS robust trend estimator for accurate GPS station velocities without step detection // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. – 2016. – Т. 121, № 3. – С. 2054–2068. – DOI: 10.1002/2015JB012552.
2. Kreemer C., Blewitt G., Klein E.C. A geodetic plate motion and Global Strain Rate Model // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. – 2014. – Т. 15, № 10. – С. 3849–3889. – DOI: 10.1002/2014GC005407.
3. Reilinger R. и др. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions// Journal of Geophysical Research: Solid Earth. – 2006. – Т. 111, № B5. – DOI: 10.1029/2005JB004051.
4. Zhang S., Zhang J. Ground Subsidence Monitoring in a Mining Area Based on Mountainous Time Function and EnKF Methods Using GPS Data // Remote Sensing. – 2022. – Т. 14. – Ст. 6359. – DOI: 10.3390/rs14246359.
5. Загретдинов Р.В., Загретдинов А.А., Сахаутдинов Р.В., Гилаев Д.М., Кузьмин Ю.О., Рахматуллин М.Х. Комплекс геодинамических исследований на супергигантском Ромашкинском нефтяном месторождении // Фундаментальное и прикладное координатно-временное и навигационное обеспечение: материалы Одннадцатой Всероссийской конференции (КВНО-2025), 21–25 апреля 2025 г. – Санкт-Петербург, 2025.
6. Fazilova D., Makhmudov M., Magdiev K.H. Analysis of Crustal Movements in the Angren-Almalyk Mining Industrial Area Using GNSS Data // International Journal of Geoinformatics. – 2023. – Т. 19, № 11. – С. 12–19. – DOI: 10.52939/ijg.v19i11.2915.
7. Республиканский центр сейсмопрогностического мониторинга (RCSPM) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.smrm.uz/?lang=ru> (дата обращения: 07.01.2023).
8. Herring T.A., King R.W., Floyd M.A., McClusky S.C. GAMIT reference manual. GPS Analysis at MIT, Release 10.7. – Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology, 2018.
9. Herring T.A., Floyd M.A., King R.W., McClusky S.C. GLOBK reference manual, Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program, Release 10.6. – Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology, 2015.
10. Petit G., Luzum B. IERS Conventions 2010 (IERS Technical Note 36). – Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, 2010. – 179 c.
11. Altamimi Z., Rebischung P., Métivier L., Collilieux X. ITRF2014: A new release of the International Terrestrial Reference Frame modeling nonlinear station motions ITRF2014 // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. – 2016. – Т. 121. – С. 6109–6131. – DOI: 10.1002/2016JB013098.
12. Esri Inc. Обзор набора инструментов Spatial Analyst – Сплайн [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/spline.htm> (дата обращения: 24.12.2010).

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ СДВИГА ЗЕМНОЙ КОРЫ В ТАШКЕНТСКОМ РЕГИОНЕ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ПОСТОЯННЫХ ГНСС-СТАНЦИЙ

Фазилова Д.Ш.¹, Эргешов И.М.², Магдиев Х.Н.^{1,2}, Халимов Б.Т.¹

¹Астрономический институт АН Республики Узбекистан

²Агентство по кадастру при Министерстве экономики и финансов Республики Узбекистан

Изучение современных деформационных процессов земной коры является важной задачей геонаук, так как позволяет выявлять активные тектонические зоны, оценивать геодинамическую нестабильность и прогнозировать геоэкологические риски. Это особенно актуально для сейсмоактивных территорий с высокой плотностью населения, сложной тектонической структурой и значительным техногенным воздействием [1]. В последние десятилетия ключевым инструментом мониторинга тектонических деформаций стали методы спутниковой геодезии, прежде всего на основе данных глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС). Постоянные наблюдения позволяют оценивать скорости смещений, тензоры деформации, ориентировку главных осей растяжения и сжатия, а также локализовать активные разломы [2-4].

Ташкентский регион входит в пределы Западного Тянь-Шаня — одного из крупнейших внутренних орогенных поясов Центральной Азии. Он охватывает юго-западную часть Тянь-Шаньской складчатой области и отличается высокой тектонической и сейсмической активностью. На западе регион соприкасается с Сырдарьинским прогибом, а на юге — с Ферганской впадиной, в пределах которой расположены крупные нефтегазоносные бассейны с месторождениями газа, газового конденсата и нефти (Рис.1). Регион входит в состав Ташкентской сейсмической зоны, где средний период повторяемости сильных землетрясений составляет около 12–15 лет [5]. По результатам геофизических и геодинамических исследований, установлено, что регион находится в зоне максимальной отрицательной дилатации (сжатия), при этом именно в восточной части фиксируются локальные смещения и зоны активного сдвига [6]. По данным ГНСС-наблюдений за 2018–2023 гг., горизонтальные смещения составляют 1,5–20,3 мм/год, а вертикальные достигают ±17 мм/год. В районе Ангрена–Алмалыка фиксируются значительные просадки, обусловленные горнодобывающей деятельностью [7]. Использование алгоритма интерполяции векторных данных позволило построить карты деформационных параметров, выявить зоны правосторонних и левосторонних смещений, вращательные движения в районе сочленения крупных разломов, а также локальные деформации, вызванные тектоническими и техногенными факторами [8]. При этом, несмотря на значительный геологический и экономический потенциал, тектоническое строение территории до сих пор изучено лишь частично. Новые данные постоянных ГНСС-станций за 2018–2024 гг. позволяют уточнить пространственное распределение скоростей. Анализ направлений сдвига даёт возможность локализовать участки активных деформаций, определить ориентировку и тип разрывных движений, а также выделить потенциально напряжённые зоны. Цель работы — построение и интерпретация карты направлений сдвиговых деформаций земной коры Ташкентского региона на основе данных постоянных ГНСС-станций за 2018–2024 гг.

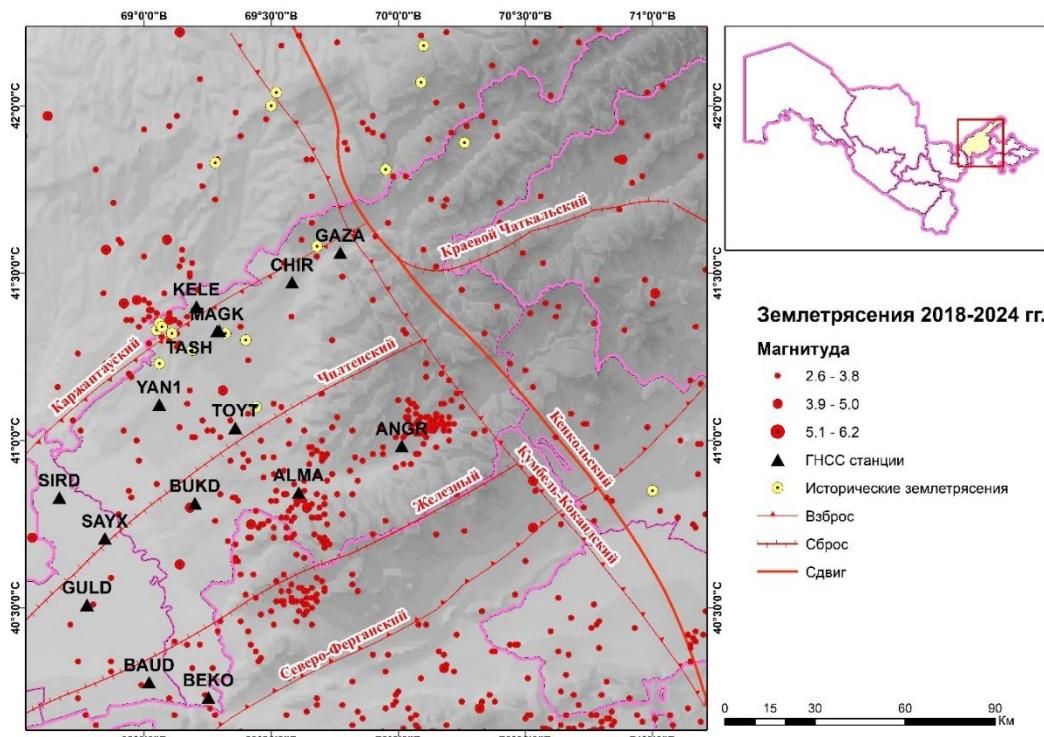


Рис. 1. Карта исследуемой области: сейсмические события 2018–2024 гг., тектонические разломы и сеть ГНСС-пунктов

Для настоящего исследования использовались данные сети из 15 постояннодействующих ГНСС-станций, расположенных на территории восточной части Ташкентского региона. В исследование были включены как пункты, предоставленные международными структурами (например, станции TASH и MTAL, входящие в проекты IGS и CAWa), так и национальные станции, функционирующие в рамках государственной геодезической сети. Наблюдения охватывают период с января 2018 года по декабрь 2024 года. Все пункты оснащены приёмниками Leica/Trimble и кольцевыми антеннами типа Choke Ring. Сбор данных осуществлялся с частотой 30 секунд. Обработка фазовых наблюдений производилась в программной среде GAMIT/GLOBK версии 10.71 по стандартной трёхэтапной схеме [9,10]. Вычисление координат и скоростей пунктов выполнялось в три этапа согласно [11] с использованием моделей и стандартов международной службы вращения Земли IERS2010 [12]. На первом этапе рассчитывались суточные координаты станций, атмосферные задержки, параметры спутниковых орбит и ориентации Земли. На втором этапе объединялись решения для каждой сессии, а на заключительном этапе при помощи фильтра Калмана оценивались финальные координаты и скорости. Все скорости были выражены в евразийской системе отсчёта путём вычитания вращения плиты Евразия [13]. Ошибка повторяемости горизонтальных координат составила 1.0–3.0 мм и 3.1–5.4 мм для высоты. Средняя ошибка горизонтальной скорости составляет около 0.2~0.7 мм/г.

В работе для расчёта поля скоростей деформаций и его компонент применён усовершенствованный метод наименьших квадратов коллокации [14], основанный на интерполяции скоростей постоянных ГНСС-станций с использованием геометрической инверсии и оптимизированной функции пространственного сглаживания. Основные этапы включают аппроксимацию горизонтальных скоростей, решение системы уравнений для вычисления векторов скоростей, вращения и компонент тензора, а также сглаживание

(например, с гауссовой функцией веса) для формирования интерполированного поля. Особое внимание удалено построению карт направлений осей сдвига, ориентированных под углом 45° к главным осям деформации, что позволяет выделить зоны правостороннего и левостороннего сдвига и оценить области повышенной активности [15].

На рис. 2 представлено распределение направлений и величин осей сдвига для западной части Ташкентского региона за 2018–2024 гг. (с учётом пунктов ГНСС). Оси построены с шагом $\sim 10\text{--}15$ км, что позволило выявить локальные вариации поля. Максимальные значения достигают 6–8 нсд/г (локально до 10 нсд/г) и приурочены к крупным разломам — Каржантаускому, Кумбельскому, Северо-Ферганскому — а также к промышленной зоне Ангрен–Алмалык. Средние значения составляют 2–3 нсд/г, при этом в сейсмоактивных районах величины превышают 4–5 нсд/г. Преобладающая ориентация осей сдвига — субмеридиональная и северо-восточная. Наибольшая выраженность наблюдается в центральной и юго-восточной частях региона, вблизи Ангрена, Алмалыка и вдоль активных разломов (Чилтенский, Кумбель-Кокандский, Северо-Ферганский). Вдоль крупных разломов оси часто согласованы с их простиранием или перпендикулярны, что отражает направленность возможных разрывов. В районах пересечения разломов (например, у Алмалыка) фиксируются резкие смены ориентации, указывающие на перераспределение напряжений и влияние техногенных факторов. Кластеры землетрясений ($M_{2,6\text{--}6,2}$) приурочены к зонам повышенных смещений и согласованной ориентации осей с активными разломами. Наибольший риск деформаций отмечается вдоль субмеридиональных разломов центральной и юго-восточной частей, где доминирует правосторонний (декстральный) режим на западе и более сложная обстановка на востоке. Зоны пересечения разломов и границы тектонических блоков являются наиболее уязвимыми к опасным геодинамическим процессам.

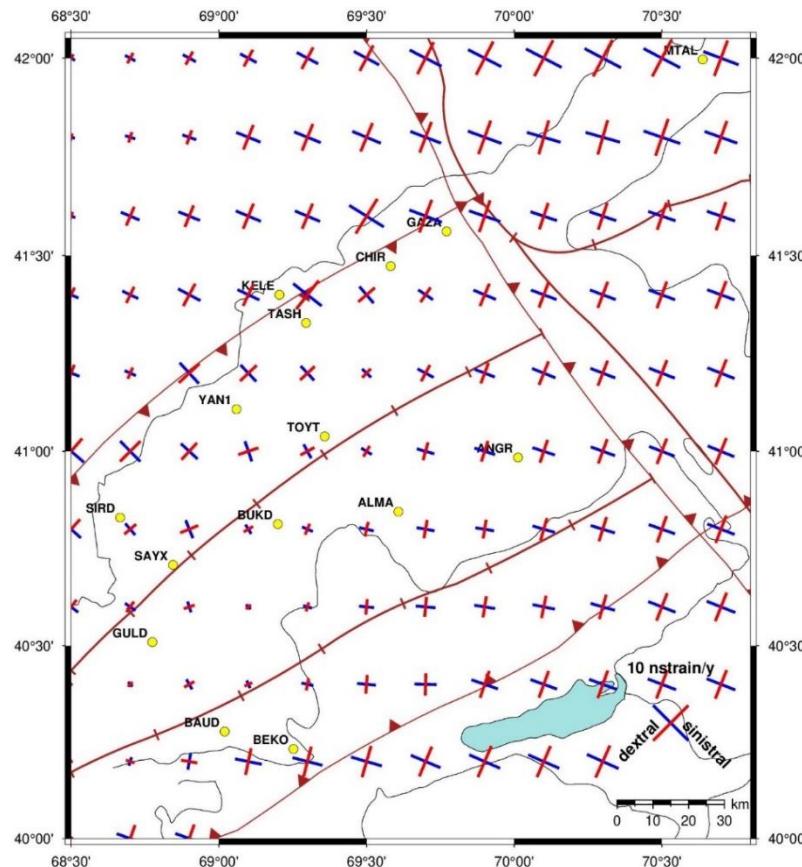


Рис. 2. Оси дектрального и синистрального смещения по данным ГНСС

Проведённый анализ показал, что зоны максимальной сдвиговой деформации в западной части Ташкентского региона приурочены к участкам пересечения крупных разломов и районам с высокой техногенной нагрузкой. Оси сдвига в целом согласуются с простиранием разломных структур, а их локальные изменения и сгущения совпадают с концентрацией эпицентров землетрясений, что указывает на повышенную геодинамическую активность этих участков. Результаты подтверждают высокую информативность комплексного применения данных постоянных ГНСС-наблюдений для уточнения модели напряжённого состояния земной коры, что имеет практическое значение для геодинамического районирования, оценки георисков и разработки мер по снижению опасности природных и техногенных процессов.

Благодарности: Исследование выполнено в рамках фундаментального проекта № FL-8824063217 при финансовой поддержке Агентства инновационного развития при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан.

Литература

1. Кузьмин Ю.О. Парадоксы сопоставительного анализа измерений методами наземной и спутниковой геодезии в современной геодинамике. Физика Земли, 2017. № 6. С. 24–39. DOI:<https://doi.org/10.7868/S0002333717060023>.
2. Hao M., Li Y., Zhuang W. Crustal movement and strain distribution in East Asia revealed by GPS observations. Sci. Rep., 2019. V. 9. P. 16797. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53306-y>.
3. Hussain E., E. Gunawan, N.R. Hanifa, Q. Zahro. The seismic hazard from the Lembang Fault, Indonesia, derived from InSAR and GNSS data. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 2023. V. 23. No.10. P. 3185-3197. DOI: <https://doi:10.5194/nhess-23-3185-2023>.
4. Thammaboribol P., Tripathi N. K., Lipiloet S. Pre-Seismic Signature Detection using Diurnal GPS-TEC and Kriging Interpolation Maps (ASK-VTEC Technique): 11 May 2011, M9. 0 Tohoku Earthquake Case Study. International Journal of Geoinformatics, 2024. V.20. No.11. P. 148-161. DOI: <https://doi.org/10.52939/ijg.v20i11.3715>.
5. Мавлянова, Н. Г., Ибрагимов, Р. С., Ибрагимова, Т. Л., Рахматуллаев, Х. Х. Особенности сейсмогравитационных процессов в зонах активного проявления землетрясений Центральной Азии (на примере территории Узбекистана). Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология, 2021. № 2. С.27-40. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869780921020053>.
6. Rebetsky, Y. L., Ibragimova, T. L., Ibragimov, R. S. and Mirzaev, M. A. Stress State of Uzbekistan's Seismoactive Areas. Seismic Instruments, 2020. Vol. 56. No. 6. P. 679–700 DOI: 10.3103/S0747923920060079.
7. Fazilova D., Makhmudov M., Khalimov B. The analysis of crustal deformation patterns in the Tashkent region, Uzbekistan, derived from GNSS data over the period 2018-2023. Geodesy and Geodynamics, 2025. V.16. Issue 2. P. 137-146. DOI: 10.1016/j.geog.2024.07.001
8. Махмудов М.Д., Фазилова Д.Ш. Построение регулярного поля скоростей Ташкентского региона на основе интерполяции данных ГНСС пунктов. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Материалы междунар. конф., 2023. Т. 29. Ч. 1. С. 535–545. DOI: 10.35595/2414-9179-2023-1-29-535-545.
9. Herring T.A., King R.W., Floyd M.A., McClusky S.C. GAMIT reference manual. GPS Analysis at MIT, Release 10.7. – Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology, 2018.
10. Herring T.A., Floyd M.A., King R.W., McClusky S.C. GLOBK reference manual, Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program, Release 10.6. – Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology, 2015.
11. Dong D., Herring T. A., King R. W. Estimating regional deformation from a combination of space and terrestrial geodetic data. J. Geod, 1998. V. 72. P. 200–214. DOI: 10.1007/s001900050161.
12. Petit G., Luzum B. IERS Conventions 2010 (IERS Technical Note 36). – Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, 2010. – 179 с.
13. Altamimi Z., Rebischung P., Métivier L., Collilieux X. ITRF2014: A new release of the International Terrestrial Reference Frame modeling nonlinear station motions. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 2016. V. 121. No. 8. P. 6109–31. DOI: <https://doi.org/10.1002/2016jb013098>

14. Shen Z.K., Wang M., Zeng Y., Wang F., Optimal interpolation of spatially discretized geodetic data. Bull. Seismol. Soc. Am., 2015. V. 105. No. 4. P. 2117–2127. DOI: <https://doi.org/10.1785/0120140247>.
15. Zhao Q., Ding K., Lan G., Wu Y., Liu Y., Peng S., Li T. Spatiotemporal Characteristics of Horizontal Crustal Deformation in the Sichuan–Yunnan Region Using GPS Data. Remote Sens., 2023. V. 15. P. 4724. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15194724>.