

На правах рукописи

Обиденко Владимир Иванович

Теоретические и методологические основы создания единого
высокоточного координатного пространства субъекта Российской Федерации

1.6.22. Геодезия

Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора
технических наук

Новосибирск – 2026

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» (СГУГиТ).

Научный консультант – доктор технических наук, старший научный сотрудник Непоклонов Виктор Борисович.

Официальные оппоненты:

Долгополов Даниил Валентинович, доктор технических наук, Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта», главный научный сотрудник центра мониторинга и геоинформационных систем объектов трубопроводного транспорта;

Мустафин Мурат Газизович, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», заведующий кафедрой инженерной геодезии;

Соловицкий Александр Николаевич, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кемеровский государственный университет», профессор кафедры геологии и географии.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (г. Санкт-Петербург).

Защита состоится 8 декабря 2026 г. в 13-00 на заседании диссертационного совета 24.2.402.01 при ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» по адресу: 630108, Новосибирск, ул. Плеханова, д. 10, ауд. 402.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий»: <https://sgugit.ru/science-and-innovations/dissertation-councils/dissertations/obidenko-vladimir-ivanovich/>

Автореферат разослан 8 октября 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Аврунев Евгений Ильич

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 02.09.2026.

Формат 60 × 84 1/16. Печ. л. 2,0. Тираж 100 экз. Заказ 151.

Отпечатано в издательско-полиграфическом центре СГУГиТ

630108, Новосибирск, Плеханова, 8

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Российской Федерации, как государству с самой большой в мире территорией, предназначено иметь собственную государственную (национальную) систему координат (ГСК), которая посредством государственной геодезической сети (ГГС) распространяется на всю страну с требуемой точностью. Государственной (по ГОСТ Р 70846.2–2023) является система координат, установленная для применения на всей территории Российской Федерации в соответствии с законодательством о геодезии, картографии и пространственных данных. Главной целью построения ГГС является достижение необходимой плотности ее опорных пунктов для создания съемочного обоснования и любых видов пространственных данных (ПД), при этом влияние ошибок координат пунктов ГГС на точность последующих геодезических построений и ПД не должно выходить за рамки установленных допусков.

В то же время из-за стремительного развития в последние десятилетия геодезических технологий и геодезических средств измерений и, прежде всего, спутниковых методов космической геодезии и глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), точность современных геодезических измерений стала существенно превышать точность координат опорных пунктов ГГС. Поэтому влияние ошибок координат пунктов ГГС на точность создаваемых от них современными методами геодезических сетей и ПД стало причиной возникновения недопустимых деформаций этих геодезических построений и пространственной несогласованности таких данных. В нашей стране проблема несоответствия точности координат пунктов ГГС и точности современных геодезических измерений стала одной из главных причин модернизации ГГС и эволюционного совершенствования ГСК: от ГСК 1942 года (СК-42, установлена 07.04.1946 г.), точность которой сейчас признана недостаточной (среднеквадратические ошибки (СКО) координат достигают 3,5–4 м), до точной ГСК 1995 года (СК-95, установлена 01.07.2000 г., погрешности достигают несколько дециметров), и высокоточной ГСК-2011 года (установлена 24.11.2016 г., погрешности оцениваются в единицах сантиметров).

Критерий точности является одним из наиболее важных, но не единственным фактором, который отличает государственные системы координат. Если на примере государственных систем координат Российской Федерации рассмотреть характеризующие их параметры, то можно классифицировать ГСК на следующие три вида, таблица 1.

Таблица 1 – Классификация ГСК по видам на примере ГСК Российской Федерации

Параметр ГСК	Примеры ГСК		
	СК-42	СК-95	ГСК-2011, ПЗ-90.11
	Значения параметра		
Абсолютная точность	Техническая	Точная	Высокоточная
Однородность	Неоднородная	Однородная	Однородная
Положение начала ГСК относительно центра масс Земли	Внецентренная/Референцная	Внецентренная/Референцная	В центре масс Земли/Общеземная
Эллипсоид	Ell-KRS	Ell-KRS	Ell-2011/Ell-ПЗ-90.11
Вид ГСК	Технической точности, неоднородная, референцная	Точная, однородная, референцная	Высокоточная, однородная, общеземная
Обозначение вида ГСК	ГСК вид 1 (ГСКВ1)	ГСК вид 2 (ГСКВ2)	ГСК вид 3 (ГСКВ3)

Деление ГСК по критерию точности (технический/точный/высокоточный) определено в ГОСТ Р 55024-2012. Сети геодезические. Классификация. Общие технические требования. Принятое деление геодезических сетей по их точности применимо и к ГСК, которые посредством ГГС реализуются на местности. Для современных ГСК, позиционная точность которых позволяет обнаруживать геодинимические эффекты, существенным фактором также является эпоха ГСК.

Термин «деформированность», введенный отечественными учеными в отношении ГГС, закрепляющих ГСК на местности, как синоним ее неоднородности в точности, применим также и к ГСК. Разработчиками ГСК (ППК «Роскадастр») было показано, что деформированность СК-42 обусловлена геометрией

полигонального построения ГГС и последовательным нанизыванием полигональных систем из 87 полигонов друг на друга. Внутренние деформации СК-42 столь велики, что использование единых параметров преобразования для перехода к более точным СК в целом по стране обеспечивает преобразование с СКП порядка 3,5 м. Максимальные погрешности могут для отдельных территорий достигать 10–15 м. Кроме того, СК-42 вследствие ее фрагментарного уравнивания характеризуется крайней неоднородностью локальных и региональных деформаций. Это дает основания классифицировать СК-42 как «неоднородную» ГСК. В то же время, по оценке ППК «Роскадастр», СК-95 и ГСК-2011 имеют локальные деформации в несколько дециметров, поэтому они могут быть отнесены к «однородным» ГСК.

Деление ГСК на виды по положению их начала относительно центра масс Земли не требует комментариев. Градация по используемым эллипсоидам важна в том аспекте, используют ли смежные ГСК разные или одинаковый эллипсоид. Если в смежных ГСК используется один эллипсоид, то в этом случае сохраняются параметры пересчета координат между их видами, что позволяет сохранить для использования часть ПД, созданных в предыдущей версии ГСК. При замене эллипсоида в смежных ГСК пересчет ПД в новую ГСК, в общем случае, становится неизбежным.

Таким образом, по параметрам ГСК, являющимися важными с точки зрения методологического понимания различий между государственными системами координат, можно классифицировать их в три вида: ГСК вида 1 (ГСКВ1) на эллипсоиде Ell-KRS, относящиеся к технической точности, неоднородным, референсным; ГСК вида 2 (ГСКВ2) на эллипсоиде Ell-KRS, относящиеся к точным, однородным, референсным; ГСК вида 3 (ГСКВ3) на эллипсоидах Ell-2011/Ell-ПЗ-90.11 – высокоточные, однородные, общеземные, см. таблицу 1.

Следует отметить, что местные системы координат (МСК), создаваемые от указанных в таблице 1 видов ГСК, также относятся к этим видам СК с их соответствующими характеристиками.

По мере роста точности геодезических измерений и вычисляемых по ним координат пунктов ГГС, совершенствование ГСК осуществлялось последовательно от ГСКВ1 технической точности, до точной ГСКВ2 и высокоточной

ГСКВ3. При смене ГСК важно иметь в виду то обстоятельство, как с методологической точки зрения корректно осуществлять преобразование востребованных ПД между версиями ГСК. Поэтому в цепочке эволюции видов ГСК (ГСКВ1 → ГСКВ2 → ГСКВ3) нужно учитывать различия между смежными видами ГСК, определяющие соответствующие способы преобразования ПД между ними.

Вместе с тем, в соответствии с действующим законодательством, ПД в РФ создаются не только в государственных, но и в местных системах координат. Основной целью применения МСК является минимизация разницы между метрическими параметрами, измеренными на местности и на топографическом плане. При этом очевидно, что использование МСК (количество которых в стране насчитывает более 30 000) не прекратится и по мере совершенствования ГСК. Более того, в настоящее время МСК устанавливаются не только на локальных участках местности, в интересах отдельных потребителей, но и на больших площадях вплоть до территорий субъектов РФ для обеспечения многих сфер народнохозяйственной деятельности. Так, например, МСК, установленные в субъектах РФ для ведения Единого государственного реестра недвижимости (ЕГРН), применяются в градостроительстве, и в других сферах деятельности.

В РФ при создании МСК обязательным условием является использование действующей, т. е. актуальной ГСК (ГСК-А) в качестве базовой ГСК, от которой осуществляется определение параметров перехода к МСК. Но вышеуказанная эволюция ГСК в РФ не сопровождается адаптацией существующих МСК к вновь устанавливаемым ГСК. И МСК, созданные от отмененных ГСК (ГСК-О), – МСК_ГСК-О продолжают использоваться для создания ПД без определения обязательных параметров перехода к ГСК-А и без обеспечения равной точности в МСК и ГСК-А. Поэтому в таких МСК_ГСК-О, не адаптированных к действующей ГСК-А, ПД создаются с более низкой позиционной точностью по сравнению с точностью ГСК-А и пространственно не согласованными между собой. Это приводит к созданию в таких МСК ПД более низкой позиционной точности по сравнению с точностью действующей ГСК и пространственно не согласованных между собой.

Причиной несогласованности ПД также является применение в субъекте РФ избыточно большого количества МСК, в которых координатное описание ПД

в одной МСК не согласовано с метрическим описанием объектов в других МСК, особенно на границе этих МСК.

Несогласованность метрического описания ПД обусловлена также тем, что после перехода от технической точности (неоднородной) СК-42 к более точной и однородной ГСК (СК-95 или ГСК-2011) возникает проблема корректного преобразования ранее созданных ПД. Так, например, объекты недвижимости, учет которых в ЕГРН выполнен в МСК_95, МСК_2011, образованных от действующей ГСК (СК-95, ГСК-2011), получают пространственное описание с точностью СК-95/ГСК-2011. Но объекты, учтенные в составе ЕГРН в МСК, основанных на отмененной СК-42, должны быть преобразованы в ЕГРН в МСК_95 или МСК_2011. Однако, если границы объектов недвижимости пересчитать из МСК_42 в МСК_95/МСК_2011 без повышения их точности до точности СК-95/ГСК-2011, то они будут получены в МСК_95/МСК_2011 с искажениями, характерными для СК-42. Поэтому в ЕГРН будут учтены как объекты, определенные с высокой точностью от новой ГСК (СК-95/ГСК-2011), так и объекты, координатное описание которых выполнено от СК-42 с присущими ей погрешностями.

Таким образом, единое координатное пространство (КП) страны, формируемое актуальной ГСК-А, своевременно не воспроизводится на уровне субъекта РФ (СРФ) в виде его единого КП, задаваемого МСК-NN_ГСК-А региона (где NN – его код в общероссийском классификаторе), основанной на ГСК-А и соответствующей ей по точности. Это создает проблемную ситуацию в координатном пространстве субъекта РФ, обуславливающую создание ПД позиционно неточными и пространственно несогласованными, а именно:

- ПД создаются в МСК_ГСК-О, образованных от отмененных ГСК-О, с точностью ниже точности действующей ГСК-А;
- количество таких МСК_ГСК-О избыточно ($\approx 30\,000$);
- отсутствие методологии качественного (с повышением их точности до точности ГСК-А) преобразования ПД из МСК_ГСК-О в их актуализированные версии МСК_ГСК-А.

Для разрешения проблемы требуется все ПД в КП СРФ создавать в МСК_ГСК-А, образованных от действующей ГСК-А, точность которых равна

точности ГСК-А, а также обеспечивать качественное преобразование ПД во вновь создаваемые МСК_ГСК-А, что реализуется путем создания единого высокоточного координатного пространства субъекта РФ, в котором ПД создаются в МСК_ГСК-А с точностью действующей ГСК-А.

Проблема несогласованности создаваемых в стране ПД признается на самом высоком государственном уровне. Так, в Государственной программе РФ «Национальная система пространственных данных», утвержденной Постановлением Правительства РФ от 01.12.2021 № 2148, определены следующие проблемы в обеспечении качества создаваемой геопространственной информации: значительное количество реестровых ошибок; разобщенность ведомственных и региональных ресурсов, содержащих пространственные данные; недостаточное обеспечение достоверности, сопоставимости, согласованности и возможности интеграции сведений об объектах недвижимости и пространственных данных. Вышеуказанные проблемы несогласованности ПД в Государственной программе признаются причиной низкой эффективности использования объектов недвижимости, земельных ресурсов, неэффективного использования бюджетных средств, барьером для осуществления инвестиционной деятельности, препятствием в достижении национальных целей развития.

Таким образом, создание в МСК ПД низкой позиционной точности вызвано отсутствием в субъектах РФ единого высокоточного координатного пространства (ЕВКП), основанного на его региональной МСК-NN, обеспечивающего создание геопространственной информации с позиционной точностью действующей ГСК. Поэтому разработка теоретического и методологического обоснования, а также технологии создания ЕВКП субъекта РФ, обеспечивающих создание в нем ПД с позиционной точностью действующей ГСК, удовлетворяющей современным требованиям всех отраслей экономики страны, является актуальной.

При этом под *методологией* понимается совокупность методологических принципов и решений, разработанных для создания ЕВКП субъекта РФ, а под *технологией* – система технологических решений, позволяющих реализовать разработанную методологию для создания такого ЕВКП региона на практике.

Основная идея решения вышеуказанной проблемы заключается в том, чтобы производство пространственных данных с точностью актуальной ГСК на всей территории субъекта РФ обеспечивалось созданием его единого высокоточного координатного пространства посредством установления разработанной пространственной гибридной местной системы координат.

Степень разработанности темы. Разработка актуальных государственных систем координат РФ ГСК-2011 и ПЗ-90.11 была осуществлена путем анализа и адаптации передового международного опыта создания общеземных геоцентрических систем координат ITRF, WGS-84, основанных на международной земной опорной системе координат ITRS (International Terrestrial Reference System). Принципы ориентации такой системы координат в теле Земли были определены Международной службой вращения Земли MCB3 (IERS – International Earth Rotation and Reference Systems Service) и Международной ассоциацией геодезии МАГ (IAG – International Association of Geodesy). Геоцентрическая СК и параметры общеземного эллипсоида определяются Международной службой глобальных навигационных спутниковых систем (International GNSS Service – IGS), представляющей собой объединение более 200 национальных ведомств, занимающихся сбором данных GPS и ГЛОНАСС с постоянно действующих станций, расположенных по всему миру. При разработке геоцентрических СК РФ были использованы данные с расположенных на территории всего земного шара пунктов IGS, наблюдающих, в том числе, спутники ГНСС ГЛОНАСС, поскольку глобальный подход к сбору данных и их обработке является ключевым элементом построения высокоточных геоцентрических систем координат.

Установление высокоточной геоцентрической системы координат ГСК-2011, в которой, согласно постановлению Правительства РФ от 24.11.2016 № 1240, выполняются геодезические и картографические работы, заложило фундамент создания ПД, необходимых для социально-экономического развития страны, в требуемой мере позиционно точными и пространственно согласованными при их создании как в ГСК-2011, так и в создаваемых на ее базе МСК.

Значительный вклад в разработку теории и практики создания координатной основы страны, развития ГСК и МСК, построения ГГС и геодезических сетей специального назначения внесли Бовшин Н. А., Бойков В. В., Бровар Б. В.,

Брынь М. Я., Галазин В. Ф., Герасимов А. П., Глушков В. В., Горобец В. П., Гусев И. В., Демьянов Г. В., Долгополов Д. В., Ефимов Г. Н., Зубинский В. И., Кафтан В. И., Косенко В. Е., Красовский Ф. Н., Мазурова Е. М., Максимов В. Г., Майоров А. Н., Молоденский М. С., Мустафин М. Г., Назаров В. Г., Насретдинов К. К., Непоклонов В. Б., Нейман Ю. М., Пасынок С. Л., Пеллинен Л. П., Побединский Г. Г., Плешаков Д. И., Попадьев В. В., Проворов К. Л., Соловицкий А. Н., Столяров И. А., Сурнин Ю. В. Усилиями вышеуказанных исследователей решены фундаментальные вопросы геодезического обеспечения Российской Федерации.

Следует отметить особый вклад специалистов Министерства обороны РФ (Герасимов А. П., Назаров В. Г., Непоклонов В. Б.) в разработку теории и практики установления МСК в СССР и РФ. Именно ими впервые предложена инновационная идея перехода от множества МСК на отдельные локальные участки местности к единой МСК территории, которая под их же руководством реализована в виде системы координат 1963 года (СК-63) и МСК субъектов РФ (МСК-NN). Данное исследование продолжает и развивает работы указанных ученых в новых условиях – при появлении новых ГСК и формировании современной нормативной базы по установлению МСК в РФ. Как и исследования предшественников, настоящая работа нацелена на обеспечение преемственности и сохранение ранее созданных фондов пространственных данных при переходе к новым ГСК и МСК, а также на достижение равной точности ПД, создаваемых в МСК и в действующей ГСК.

Вместе с тем, эволюционное совершенствование ГСК не сопровождалось разработкой методологии и технологии адаптации применяемых в регионах МСК ко вновь устанавливаемым ГСК. Такая адаптация состоит в уточнении порядка и параметров перехода от действующей МСК к новой ГСК, а также в разработке способов качественного преобразования ПД, ранее созданных в действующей МСК, в ее версию, актуализированную на базе вновь установленной ГСК, обеспечивающих соответствие позиционной точности ПД и новой ГСК.

На начало исследований (2012 г.), в условиях отсутствия методологии и технологии, обеспечивающих качественное преобразование ПД из МСК-NN_42

в МСК-NN_95, пересчет ПД выполнялся методами, не обеспечивавшими требуемой потребителям позиционной точности. При переходе СК-95 → ГСК-2011 адаптация МСК субъектов РФ к ГСК-2011 путем их уточнения относительно ГСК-2011 была выполнена ППК «Роскадастр» в 2016–2022 гг. Однако это уточнение, выполненное по цифровым моделям деформаций координат СК-42/СК-95 относительно ГСК-2011, не повысило точность координат пунктов ГГС в уточненных МСК до точности ГСК-2011 и не позволило установить параметры перехода от них к ГСК-2011, как того требует законодательство РФ.

Вышеизложенное позволяет оценить степень разработанности темы как не обеспечивающую создание единого высокоточного координатного пространства субъекта РФ, в котором пространственные данные создаются в МСК с точностью действующей ГСК, что подтверждает актуальность выбранной темы и определяет содержание диссертационного исследования.

Целесообразность выполнения исследований обусловлена необходимостью разработки теоретического и методологического обоснования для создания в каждом субъекте РФ единого высокоточного координатного пространства, образованного на базе региональной МСК-NN_ГСК-А, обеспечивающего создание ПД с точностью действующей государственной системы координат – ГСК-А.

Цели и задачи исследования. Целью диссертационного исследования является теоретическое и методологическое обоснование, а также разработка технологии создания единого высокоточного координатного пространства субъекта Российской Федерации, обеспечивающего создание пространственных данных с точностью государственной системы координат, установленной в соответствии с действующим законодательством.

Основные задачи диссертационного исследования:

- выявить (путем исследования потребности в пространственных данных в РФ) востребованную максимальную точность координатного описания ПД для обоснования требуемой точности создаваемого ЕВКП субъекта РФ;
- выполнить теоретическое и методологическое обоснование для решения проблемы отсутствия единого высокоточного координатного пространства региона в целях обеспечения принципиальной возможности его создания;

- проанализировать состояние и выявить существующие недостатки координатного пространства субъекта РФ, устранение которых обеспечит создание ЕВКП региона;

- выполнить концептуальное и методологическое обоснование принципиально нового свойства пространственных МСК – таргетирования, обеспечивающего совпадение плоских прямоугольных координат в таргетированной МСК и в другой системе координат, выбранной в МСК в качестве целевой СК – ЦСК;

- теоретически и методологически обосновать решение дилеммы перехода к новой ГСК вида 3 (ГСКВ3) от единой МСК-NN_ГСКВ2 субъекта РФ путем установления ее обновленной версии на базе ГСКВ3 – МСК-NN_ГСКВ3, обеспечивающей равную точность в ГСКВ3 и в МСК-NN_ГСКВ3 и совпадение плоских прямоугольных координат в МСК-NN_ГСКВ3 и в отменяемой МСК-NN_ГСКВ2, несмотря на использование разных эллипсоидов в ГСКВ2 и ГСКВ3;

- выполнить теоретическое и методологическое обоснование для разработки технологии создания единого высокоточного координатного пространства субъекта РФ, обеспечивающей его построение путем поэтапной адаптации единой МСК-NN региона ко вновь устанавливаемым ГСК;

- практически реализовать теоретические и методологические решения, а также разработанную технологию создания единого высокоточного координатного пространства субъекта РФ (на примере региона РФ).

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются: создание и развитие геодезической координатно-временной основы различного назначения с использованием геодезических методов измерений; развитие теорий построения и реализации координатных систем отсчета; методы, технические средства и технологии геодезического обеспечения строительно-монтажных, кадастровых, землеустроительных, проектно-изыскательских, маркшейдерских работ; создание геодезических сетей сгущения для площадных и линейных инженерных сооружений, в том числе специальных геодезических сетей; создание крупномасштабных цифровых инженерно-топографических планов промплощадок наземными и воздушными методами.

Предметом исследования являются теоретические и методологические основы создания единого высокоточного координатного пространства субъекта Российской Федерации.

Научная новизна диссертационного исследования:

- проведен анализ состояния координатного пространства субъекта РФ, впервые выявивший его системные проблемы, устранение которых обеспечивает создание единого высокоточного координатного пространства региона;
- сформулированы научные принципы для реализации разработанных новых методологических решений по созданию единого высокоточного координатного пространства региона, обеспечивающие построение ЕВКП и его актуализацию в процессе эволюции ГСК с учетом видов ГСК и типов переходов между ними;
- теоретически обоснован разработанный в классе пространственных МСК подкласс таргетированных МСК_ИСК(ЦСК), где ИСК – исходная, а ЦСК – целевая системы координат, обеспечивающих принципиально новое свойство МСК: совпадение плоских прямоугольных координат в таргетированной МСК и в ЦСК;
- теоретически обоснован разработанный новый «гибридный» вид МСК – МСК_ГСКВ3(ЦСК), принципиально отличающийся от всех МСК тем, что плоские прямоугольные координаты в ней и в целевой системе координат совпадают, несмотря на использование в них разных эллипсоидов. Такие МСК обеспечивают сохранение ПД, созданных в отменяемой МСК без необходимости их пересчета во вновь устанавливаемую «гибридную» МСК_ГСКВ3(ЦСК);
- теоретически и методологически обоснована разработка технологии создания единого высокоточного координатного пространства субъекта РФ, обеспечивающей:
 - равную позиционную точность ГСКВ2 как ПД, создаваемых в МСК-NN_ГСКВ2, так и ПД, преобразуемых в нее из МСК_ГСКВ1 (на «Переходе типа I» от технической точности и неоднородной ГСК вида 1 (ГСКВ1) к точной и однородной ГСК вида 2 (ГСКВ2), основанных на едином эллипсоиде);
 - равную позиционную точность ГСКВ3 и ПД, создаваемых в МСК-NN_ГСКВ3, а также сохранение ПД, созданных в отменяемой МСК-NN_ГСКВ2,

без их пересчета в МСК-NN_ГСКВ3 (на «Переходе типа II» между точной, однородной и референцной ГСК вида 2 (ГСКВ2) и высокоточной, однородной, общеземной ГСК вида 3 (ГСКВ3), основанных на разных эллипсоидах).

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы заключается в том, что:

- разработанный в классе пространственных МСК подкласс таргетированных МСК_ИСК(ЦСК), где ИСК – исходная, а ЦСК – целевая системы координат, обеспечивает принципиально новое свойство таких МСК – совпадение плоских прямоугольных координат в таргетированной МСК и в ЦСК;

- впервые разработанный новый «гибридный» вид МСК, обозначаемой как МСК_ИСК(ЦСК), где ИСК – исходная, а ЦСК – целевая система координат, обеспечивающей совпадение плоских прямоугольных координат в «гибридной» МСК и в ЦСК (несмотря на использование в них разных эллипсоидов), развивает теорию построения и реализации координатных систем отсчета. Разработанный вид МСК обеспечивает решение дилеммы адаптации действующих МСК ко вновь устанавливаемой ГСК: обеспечение равной точности в ГСК и в «гибридной» МСК; совпадение плоских прямоугольных координат в «гибридной» МСК и в отменяемой МСК;

- разработанное теоретическое и методологическое обоснование технологии создания единого высокоточного координатного пространства субъекта РФ позволяет построить ЕВКП региона путем адаптации МСК к эволюционирующим видам ГСК: ГСКВ1 → ГСКВ2 → ГСКВ3.

Практическая значимость работы заключается в том, что разработанные теоретические и методологические основы создания единого высокоточного координатного пространства субъекта РФ реализованы в виде технологии, позволяющей ее использование на этапах эволюции ГСК: СК-42 → СК-95 → ГСК-2011. Разработка востребована на практике: в Новосибирской области она внедрена в части «Перехода типа I» от СК-42 к СК-95, где создано единое точное координатное пространство региона, базирующееся на СК-95; в части «Перехода типа II» она реализована (на примере Новосибирской области) и готова к внедрению; в части «гибридной» МСК – внедрена на практике: четыре таких МСК разработаны автором и введены в действие в трех регионах РФ на площади 352 000 км².

Востребованность разработанных теоретических и методологических основ создания единого высокоточного координатного пространства субъекта РФ обоснована необходимостью их применения для построения ЕВКП в регионах, где ПД создаются в МСК, не соответствующих по точности актуальной ГСК.

Методология и методы исследования. Теоретические и практические исследования выполнялись на базе научных основ и математического аппарата высшей геодезии, сфероидической геодезии, сферической тригонометрии, математической статистики и теории математической обработки геодезических измерений, а также последних достижений в области географических информационных систем и структуры пространственных данных.

Положения, выносимые на защиту:

- эмпирически (по оценкам экспертного сообщества) установленная востребованная максимальная точность координатного описания пространственных данных в РФ обеспечивает требуемую потребителям точность создаваемого ЕВКП субъекта РФ (пункт 3 паспорта научной специальности 1.6.22);

- сформулированные научные принципы, реализующие разработанные принципиально новые методологические решения по созданию единого высокоточного координатного пространства субъекта РФ, обеспечивают построение ЕВКП региона путем поэтапной адаптации МСК к эволюционирующим видам ГСК (пункт 3 паспорта научной специальности 1.6.22);

- теоретически обоснованный и впервые разработанный в классе пространственных МСК подкласс таргетированных МСК_ИСК(ЦСК), где ИСК – исходная, а ЦСК – целевая системы координат, обеспечивает наличие в них принципиально нового свойства – совпадение плоских прямоугольных координат в таргетированной МСК и в ЦСК (пункт 3 паспорта научной специальности 1.6.22);

- теоретически обоснованный и разработанный «гибридный» вид МСК – МСК_ГСКВ3(ЦСК) обеспечивает совпадение плоских прямоугольных координат в «гибридной» МСК и в целевой системе координат, несмотря на использование в них разных эллипсоидов. Такие МСК применяются для адаптации к новой ГСК вида 3 (ГСКВ3) единой МСК-NN_ГСКВ2 субъекта РФ путем установления «гибридной» МСК_ГСКВ3(МСК-NN_ГСКВ2). Это обеспечивает решение дилеммы

перехода к новой ГСКВ3: равную точность в ГСКВ3 и в «гибридной» МСК; совпадение плоских прямоугольных координат в гибридной МСК_ГСКВ3(МСК-NN_ГСКВ2) и в отменяемой МСК-NN_ГСКВ2, несмотря на использование в них разных эллипсоидов (пункт 14 паспорта научной специальности 1.6.22);

– выполненное теоретическое и методологическое обоснование разработанной технологии создания единого высокоточного координатного пространства субъекта РФ, обеспечивает:

– соответствие точности ГСКВ2 как ПД, вновь создаваемых в МСК-NN_ГСКВ2, так и ПД, преобразуемых в нее из МСК_ГСКВ1 (на «Переходе типа I» от технической точности и неоднородной ГСК вида 1 (ГСКВ1) к точной и однородной ГСК вида 2 (ГСКВ2), основанных на едином эллипсоиде);

– равную точность ГСКВ3 и ПД, создаваемых в образованной от нее МСК-NN_ГСКВ3, а также сохранение для использования ПД в отменяемой МСК-NN_ГСКВ2 без необходимости их пересчета в новую МСК-NN_ГСКВ3 (на «Переходе типа II» от точной, однородной и референцной ГСК вида 2 (ГСКВ2) к высокоточной, однородной и общеземной ГСК вида 3 (ГСКВ3), основанных на разных эллипсоидах) (пункт 11 паспорта научной специальности 1.6.22).

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертация соответствует областями исследования: 3 – Создание и развитие геодезической координатно-временной основы различного назначения с использованием геодезических, астрономических, гравиметрических и других (космических, наземных, подземных и подводных) методов измерений; оценка их стабильности и характера изменений, вопросы проектирования и оптимизации. Разработка и развитие теорий построения и реализации координатных, высотных и гравиметрических систем отсчета; 11 – Методы, технические средства и технологии геодезического обеспечения строительно-монтажных, кадастровых, землеустроительных, проектно-изыскательских, маркшейдерских, геолого-разведочных и лесоустроительных работ; освоения шельфа; монтажа, юстировки и эксплуатации технологического оборудования и других прикладных задач; 14 – Создание геодезических сетей сгущения для площадных и линейных инженерных сооружений, в том числе специальных геоде-

зических сетей. Создание крупномасштабных цифровых инженерно-топографических планов промплощадок наземными и воздушными методами, включая лазерное сканирование паспорта научной специальности 1.6.22. Геодезия, разработанного экспертным советом ВАК Минобрнауки России.

Степень достоверности и апробация результатов исследований.

Достоверность результатов исследований в достаточной мере обеспечена:

- корректностью поставленных задач, предлагаемых методов их решения и проверенными многолетней практикой методами и алгоритмами математической обработки результатов геодезических измерений;
- использованием для обработки данных надежного программного обеспечения от ведущих мировых производителей, а также его апробированных функциональных дополнений, разработанных в процессе исследований;
- успешным внедрением разработанной методологии и технологии в Новосибирской области, а также в интересах крупных недропользователей;
- применением для экспериментов реальных ПД: выгрузка из АИС ГКН по Черепановскому району Новосибирской области; координаты свыше 9 000 пунктов ГГС в СК-42/СК-95/ГСК-2011/МСК; параметры перехода от МСК к ГСК.

Апробация результатов исследований. Основные положения диссертационной работы и результаты исследований докладывались, обсуждались и нашли положительный отклик на следующих научных конференциях: на IX Международном научном конгрессе «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013», 24–26 апреля 2013 г., Новосибирск; на X Международном научном конгрессе «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014», 16–18 апреля 2014 г., Новосибирск; на XI Международном научном конгрессе «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015», 13–25 апреля 2015 г., Новосибирск; на XIV Международном научном конгрессе «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2018», 25–27 апреля 2018 г., Новосибирск; на XVI Международном научном конгрессе «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2020», 22–24 апреля 2020 г., Новосибирск; на XIX Международном научном конгрессе «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2023», 17–19 мая 2023 г., Новосибирск; на Межрегиональном форуме 2024 «Национальная система пространственных данных. Полный и точный реестр», 25–26 января 2024 г., Махачкала; на XX Международном научном конгрессе «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2024»,

15–17 мая 2024 г., Новосибирск; на Международной конференции «Геострой», Новосибирск, 20–21 ноября 2024 г.; на Международной выставке-форуме оборудования и технологий для горнодобывающей промышленности и переработки полезных ископаемых, 18–20 марта 2026 г., Новосибирск.

Результаты исследований внедрены:

– в Росреестре, где в Новосибирской области на базе МСК НСО, образованной от СК-95, создано ЕТКП, а все объекты недвижимости, учтенные в АИС ГКН, в 2013 г. пересчитаны из 224 МСК, основанных на СК-42, в МСК НСО. Благодаря этому ЕГРН в области ведется в МСК НСО, что повысило точность координатного описания объектов недвижимости до нормативно установленной, а иные ПД создаются в требуемой мере точными и согласованными;

– в ГБУ «Фонд пространственных данных Новосибирской области», где в 2019–2023 гг. границы между Новосибирской областью и Алтайским краем, Омской и Томской областями пересчитаны из МСК смежных регионов, основанных на СК-42, в МСК НСО и в ГСК-2011, что позволило поставить эти границы на кадастровый учет; в 2019 г. из множества МСК НП в единую МСК НСО преобразованы координаты 16 747 пунктов сетей сгущения, а также из более чем 700 МСК НП в МСК НСО пересчитано свыше 10 000 топографических планов;

– в СГУГиТ, где в 2023–2025 гг. исполнены заказы по разработке и введению в действие на площади 352 000 км² четырех «гибридных» МСК, чем на этой территории создано ЕВКП, соответствующее по точности ГСК-2011;

– в филиале ППК «Роскадастр» «ПО Инжгеодезия», где ПО *CooTransf* используется с 2013 г. для преобразования ПД между различными СК.

Публикации по теме диссертации. Основные теоретические положения и результаты исследований представлены в 32 публикациях, из которых 20 статей – в изданиях, входящих в перечень российских рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени доктора наук, 2 – свидетельства о гос-

ударственной регистрации программы для ЭВМ, 3 статьи – в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования Scopus и Web of Science.

Структура диссертации. Общий объем диссертации составляет 317 страниц машинописного текста. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы, включающего 198 наименований, содержит 31 таблицу, 60 рисунков, 7 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели и задачи, объект и предмет исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, приведены сведения о методологии и методах исследования, об апробации и внедрении результатов работы на практике, ее структура, а также научные положения, выносимые на защиту.

Первый раздел «Анализ состояния координатного пространства субъекта Российской Федерации» содержит: исследование потребности РФ в ПД; анализ состояния координатного пространства субъекта РФ; варианты адаптации координатного пространства субъекта РФ к вновь устанавливаемым ГСК.

В работе проведено исследование потребности федеральных органов исполнительной власти (ФОИВ) РФ в ПД, в том числе, в аспекте точности их координатного описания (КО). Исследование проведено анкетированием ФОИВ от имени Межведомственной рабочей группы по совершенствованию топогеодезического и навигационного обеспечения системы управления обороной Государственной Думы Федерального Собрания РФ. В результате установлено (рисунок. 1), что КО ПД с точностью 1–5 м наиболее востребовано: от 68,8 % (населенные пункты) до 25,0 % (зарубежная территория) от участвовавших в опросе. В КО ПД с точностью 0,01 м заинтересовано 20 % ФОИВ. Выявленная по итогам исследования востребованная максимальная точность координатного описания в РФ ПД (1 см) обосновывает требуемую позиционную точность создаваемого единого высокоточного координатного пространства субъекта РФ – 1 см.

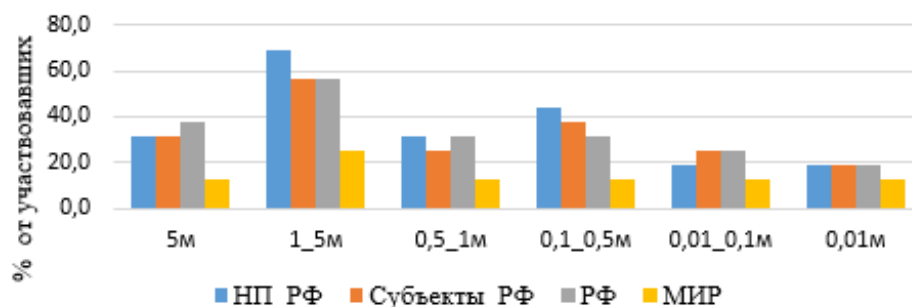


Рисунок 1 – Востребованная точность координатного описания ПД в РФ

Дано определение координатного пространства субъекта РФ (СРФ). КП СРФ – это совокупность расположенных на территории региона элементов геодезической и геопространственной инфраструктуры, включая образованные от соответствующих ГСК действующие МСК и созданные в них ПД, рисунок 2.

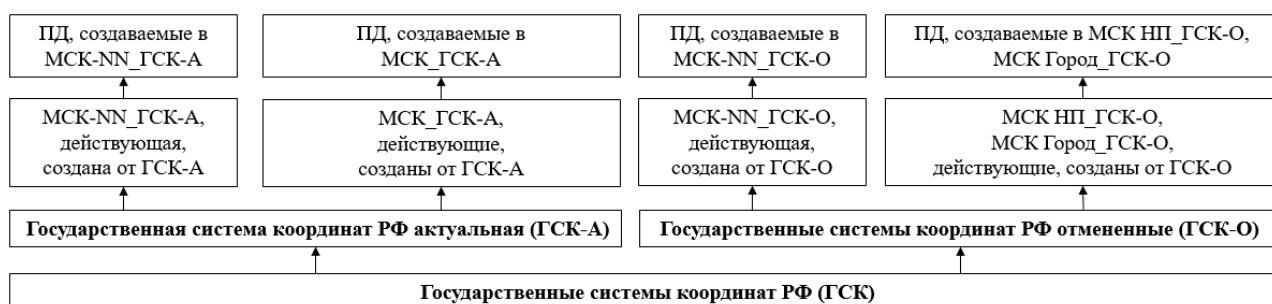


Рисунок 2 – Структура координатного пространства субъекта РФ

Точность КП СРФ – это точность единой МСК-NN региона, других МСК и создаваемых в них пространственных данных. Единое КП СРФ – это КП региона, в котором применяется только единая МСК-NN, образованная от актуальной ГСК, а также МСК крупных городов (МСК Город), имеющие точность МСК-NN или выше и строгие параметры перехода к ней.

Анализ состояния координатного пространства субъекта РФ на момент начала исследований (2012 г.) показал, что для создания ПД в РФ применялось свыше 30 000 МСК поселений, названных в работе «Местные системы координат населенных пунктов» – МСК НП. Множество МСК НП, используемых в РФ для создания ПД, оценивается в работе как негативный фактор, поскольку такие МСК, используемые для уменьшения искажений картографической проекции,

дробят единое координатное пространство территории на отдельные фрагменты, что создает существенные проблемы в использовании созданных в них ПД. Так, современные тенденции создания «цифровых двойников» поселений, обширных территорий предполагают воссоздание в указанных компьютерных моделях естественных свойств объектов в части непрерывности их пространственного простираения и согласованности взаимного пространственного положения. В то же время МСК НП являются препятствием для создания качественных общегосударственных геоинформационных ресурсов, таких, как ЕГРН. Невозможность пространственно согласовать объекты ЕГРН, учитываемые в тысячах таких МСК НП, приводила к пересечениям границ объектов недвижимости, которые, вне единого координатного пространства, при учете в ЕГРН не выявлялись и накапливались как потенциальные кадастровые ошибки.

В этой связи приказом Роснедвижимости от 18.06.2007 г. № П/0137 в субъектах РФ был введен новый тип МСК – единые МСК-NN регионов, которые согласно приказу Минстроя от 25.02.2019 г. № 127/пр. стали применяться и в строительстве. Таким образом, МСК-NN стали базой для формирования единого координатного пространства субъектов РФ, в которых ПД начали создаваться доступными для совместного использования на всей территории региона, в том числе для создания качественных единых общегосударственных геоинформационных ресурсов, таких, как ЕГРН. В этих условиях дальнейшее использование множества МСК НП, низкая точность которых обусловлена погрешностями реализующих их на местности геодезических сетей, становится нецелесообразным, поскольку они нарушают единство и точность такого единого координатного пространства субъектов РФ. После преобразования востребованных ПД из МСК НП в МСК-NN их применение целесообразно прекратить.

Однако, несмотря на создание единых региональных МСК-NN, разумно прекратить использование не всех, а только низкоточных МСК НП. При этом целесообразно продолжить применение тех МСК НП, которые имеют точность, равную или выше точности действующей ГСК и надежные параметры перехода к этой ГСК. Это позволит ПД, созданные в таких МСК, без потери точности пре-

образовывать в единую МСК-NN региона, обеспечивая возможность «встраивания их» в координатное пространство региона и, тем самым, не нарушая его единства и точности. К таким относятся МСК крупных городов, закрепленных качественными геодезическими сетями, равными по точности ГГС, которые могут поддерживаться в актуальном состоянии при появлении новых ГСК.

Применив классификацию видов ГСК (см. таблицу 1) на момент установления в качестве действующей высокоточной, однородной, общеземной ГСК вида 3 (ГСКВ3) к ситуации в регионах страны, где используются МСК-NN, созданные как от актуальной ГСКВ3 (МСК-NN_ГСКВ3), так и от отмененных ГСКВ2 (МСК-NN_ГСКВ2) и ГСКВ1 (МСК-NN_ГСКВ1), фактическую и идеальную модель ЕКП СРФ по количеству используемых МСК покажем на рисунке 3.

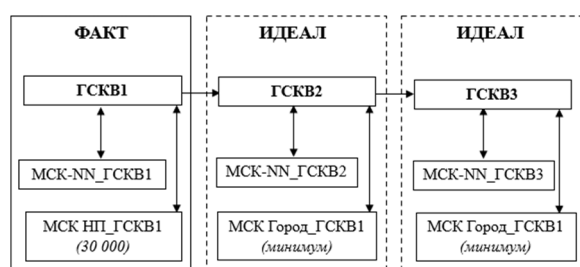


Рисунок 3 – Фактическая и идеальная модель ЕКП СРФ по количеству МСК

Идеальная модель ЕКП СРФ состоит из единой МСК-NN, применяемой для ведения ЕГРН, созданной от действующей ГСК, для ГСК вида 3 обозначаемой «МСК-NN_ГСКВ3»; минимума качественных МСК, названных «МСК Город», точность которых равна или выше точности действующей ГСК, обозначаемых «МСК Город_ГСКВ1», параметры перехода от которых к действующей ГСК актуализируются при появлении новых ГСК. Фактическое (не единое) КП СРФ при этом имеет избыточно много МСК НП ($\approx 30\,000$ в целом по стране). Ретроспективный охват отмененных ГСК (рисунок 3) включает в себя 2 вида ГСК: ГСКВ2, замененную актуальной ГСК вида 3 (ГСКВ3) и предшествующую ей ГСК вида 1 (ГСКВ1). То есть при адаптации координатного пространства региона к актуальной ГСКВ3 методологически корректно рассматривать все версии ГСК и образованные от них МСК, в которых созданы востребованные ПД.

В аспекте точности применяемых в регионе МСК идеальной следует считать такую модель ЕКП СРФ, когда точность всех МСК соответствует точности действующей ГСК. Реализуется это путем образования всех МСК региона только от действующей ГСК, см. рисунок 3. Это касается как единой МСК-NN_ГСК региона, которая на эпоху действия соответствующей ГСК должна быть образована от нее, так и «МСК Город», у которой по выходу каждой актуальной версии ГСК должны обновляться порядок и параметры перехода к ней.

На основе классификации видов ГСК и проведенного анализа установлено, что смежные ГСК отличаются по параметрам точности, однородности, используемому эллипсоиду. Исходя из этого введено и обосновано новое базовое понятие двух типов переходов между смежными ГСК. Для перехода между смежными ГСК видов ГСКВ1 и ГСКВ2, имеющими существенную разность в точности и однородности при едином используемом эллипсоиде (назван в работе «Переход между разноточными видами ГСК» или «Переход типа I»), и между смежными ГСК видов ГСКВ2 и ГСКВ3, имеющими близкую точность и однородность, но разные эллипсоиды (назван «Переход между равноточными видами ГСК» или «Переход типа II»), требуются разные методологические подходы, учитывающие в совокупности степень совпадения указанных параметров смежных ГСК.

С учетом этого, реализацию разработанной методологии создания ЕВКП региона предложено осуществить путем последовательных переходов «типа I» и «типа II» между смежными видами ГСК, как это показано на рисунке 4, а.

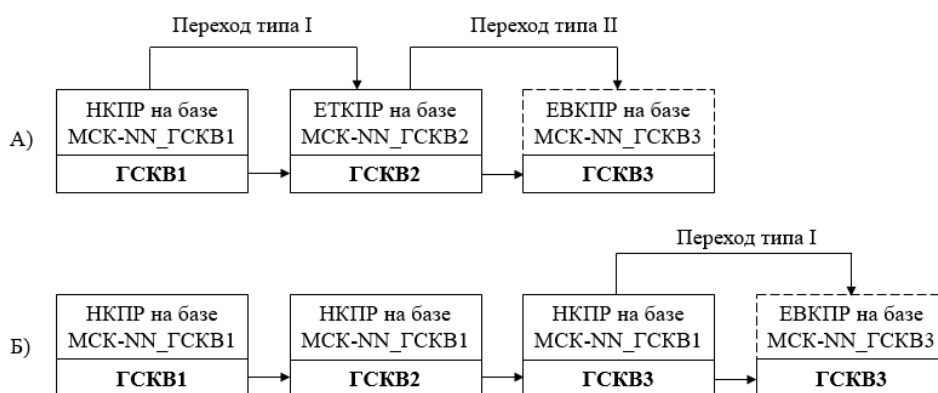


Рисунок 4 – Технологическая схема реализации методологии создания ЕВКП субъекта РФ: а) предложенная; б) отложенная, обуславливающая системные ошибки КП СРФ, имеющие место в настоящее время

Как стартовый этап в цепочке эволюции ГСК, координатное пространство субъекта РФ, основанное на ГСК вида 1 (ГСКВ1), является не единым (при наличии единой МСК-NN_ГСКВ1 региона, но и еще 30 000 МСК НП) и низкоточным (из-за низкой точности базовой для него ГСК вида 1 (ГСКВ1), поэтому на рис. 4, а оно обозначено НКПР «низкоточное координатное пространство региона», без добавления характеристик его единства. Координатное пространство субъекта РФ, основанное на ГСК вида 2 (ГСКВ2), на рисунке 4, а названо ЕТКПР («единое точное координатное пространство региона»), т. к. ГСКВ2 является точной, и в таком пространстве остались лишь компоненты, обеспечивающие его единство. Координатное пространство региона, основанное на ГСК вида 3 (ГСКВ3), обозначено на рисунке 4, а ЕВКПР «единое высокоточное координатное пространство региона», т. к. и ГСК такого вида является «высокоточной», и в составе такого КПР лишь элементы, обеспечивающие его единство.

Во втором разделе «Методология создания единого высокоточного координатного пространства субъекта Российской Федерации и его актуализации» на базе общенаучных методологических подходов сформулированы принципы реализации разработанных методологических решений, использованные в исследовании для достижения этой цели.

1. Принцип непрерывности и последовательности. *Методология создания ЕВКПР региона должна: а) непрерывно охватывать все этапы его создания и актуализации по мере эволюции ГСК; б) учитывать последовательность и тип переходов между смежными ГСК.*

Если единое высокоточное координатное пространство региона, созданное на актуальной ГСК вида 3 (ГСКВ3), обозначить как ЕВКПР_ГСКВ3, то положения такого принципа можно изложить так, рисунок 4, а:

а) если $\text{ГСКВ1} \rightarrow \text{ГСКВ2} \rightarrow \text{ГСКВ3}$,

то $\text{НКПР_ГСКВ1} \rightarrow \text{ЕТКПР_ГСКВ2} \rightarrow \text{ЕВКПР_ГСКВ3}$;

б) переход $\text{НКПР_ГСКВ1} \rightarrow \text{ЕТКПР_ГСКВ2} = \text{«Переход типа I»}$;

переход $\text{ЕТКПР_ГСКВ2} \rightarrow \text{ЕВКПР_ГСКВ3} = \text{«Переход типа II»}$;

«Переход типа I» предшествует «Переходу типа II»;

в) «Переход типа I» и «Переход типа II» неравнозначны и имеют особенности, обусловленные разностью в точности и однородности смежных ГСК,

а также используемыми в них эллипсоидами, где $\text{ГСКВ1} \rightarrow \text{ГСКВ2} \rightarrow \text{ГСКВ3}$ – последовательность видов ГСК, сменяющих друг друга в процессе эволюционного совершенствования; «Переход типа I», «Переход типа II» – обозначения типов перехода между смежными ГСК в зависимости от вида, к которому эти ГСК относятся.

На рисунке 4, а показана предложенная оптимальная последовательность переходов в процессе эволюции ГСК, реализуемая при своевременной адаптации координатного пространства региона (КПР) к вновь устанавливаемым видам ГСК. Если же, как показано на рисунке 4, б и как это существует сейчас в большинстве субъектов РФ, реализация по варианту 4, а отложена и НКПР продолжает функционировать на базе МСК вида МСК-NN_ГСКВ1 и после введения ГСК вида ГСКВ3, это образует системные ошибки в КП СРФ, приводящие к созданию в МСК ПД, не соответствующих по точности действующей ГСК. В этом случае «Переход типа I» следует реализовывать между ГСК видов ГСКВ1 и ГСКВ3. То есть адаптация ЕКП субъекта РФ к ГСКВ3 при переходе между ГСК видов ГСКВ2 и ГСКВ3 по «Переходу типа II» невозможна до реализации «Перехода типа I».

Поэтому установление ГСК вида 2 (ГСКВ2) или вида 3 (ГСКВ3), без адаптации единой МСК-NN_ГСКВ1 региона к такой ГСКВ2 (или ГСКВ3) с получением МСК-NN_ГСКВ2 (или МСК-NN_ГСКВ3) и без качественного преобразования ПД, созданных в МСК-NN_ГСКВ1, в МСК-NN_ГСКВ2 (или в МСК-NN_ГСКВ3) не создает на базе ГСК вида ГСКВ2 (или ГСКВ3) ЕТКПР (или ЕВКПР). Для этого нужно вначале реализовать «Переход типа I».

Важно, что при предлагаемой, оптимальной реализации методологии создания ЕВКПР (см. рисунок 4, а) в «Переходе типа I» эллипсоид Ell-KRS не изменяется, в то время как в «Переходе типа II» эллипсоид Ell-KRS заменяется на Ell-2011. Поэтому в этом, «отложенном» варианте реализации методологии создания ЕВКПР (рисунок 4, б), «Переход типа I» между ГСК разной точности будет самым сложным, поскольку здесь он обременяется фактором смены эллипсоидов.

2. Принцип единства. *Единое координатное пространство субъекта РФ задается единой МСК-NN региона, в которой ведется ЕГРН. В ЕКПР сохраняются МСК Город, точность которых равна или выше точности ЕКП региона.*

То есть, принцип единства КП субъекта РФ заключается не в том, что в нем должна быть только одна региональная МСК-NN, а в том, что используемые в нем другие МСК («МСК Город»), встроены в такое КП и не нарушают его единства и точности. Это достигается тем, что: а) параметры перехода от таких МСК к действующей ГСК и к МСК-NN актуализируются на всех этапах модернизации этого пространства; б) все ПД, создаваемые в МСК Город, поддерживаются в их актуализированной по отношению к ГСК версии и доступны для преобразования в актуальную версию МСК-NN без потери точности.

3. Принцип точности. *Позиционная точность ЕКП субъекта РФ задается точностью действующей ГСК, а также актуализированной на ее базе единой МСК-NN_ГСК региона. Все элементы координатного пространства региона должны быть равны или выше этой точности.*

4. Принципы адаптации МСК к ГСК. *Адаптация единой МСК субъекта РФ к новым ГСК осуществляется: а) на «Переходе типа I» между ГСК видов ГСКВ1 и ГСКВ2 путем сохранения параметров перехода от ГСК вида 1 (ГСКВ1) к МСК вида МСК-NN_ГСКВ1 и для перехода от ГСК вида 2 (ГСКВ2) к МСК вида МСК-NN_ГСКВ2; б) для «Перехода типа II» между ГСК видов ГСКВ2 и ГСКВ3 установлением на базе ГСК вида 3 (ГСКВ3) «гибридной», единой МСК-NN_ГСКВ3(МСК-NN_ГСКВ2) региона, плоские прямоугольные координаты в которой и в отменяемой МСК-NN_ГСКВ2 региона совпадают.*

5. Принцип адаптации пространственных данных к ГСК. *Адаптация востребованных ПД, созданных в МСК, к новым ГСК осуществляется путем их качественного преобразования в смежные ЕКП.*

В соответствии с данным принципом востребованные ПД, созданные в отменяемых МСК, подлежат качественному преобразованию в актуализированную версию единой МСК региона. При этом так же, как и для смежных МСК, предлагается два методологических решения в преобразовании ПД, в зависимости от вида смежных ГСК: «Переход типа I» и «Переход типа II».

Для «Перехода типа I» между ГСК видов ГСКВ1 и ГСКВ2 разработано следующее методологическое решение по качественному преобразованию ПД: преобразование ПД, созданных в МСК-NN_ГСКВ1/МСК НП_ГСКВ1, основанных

на ГСК вида 1 (ГСКВ1), в ее версию МСК-NN_ГСКВ2, актуализированную на базе ГСК вида 2 (ГСКВ2), с повышением их точности до точности МСК-NN_ГСКВ2. После реализации «Перехода типа I», пересчет ПД между ГСК видов ГСКВ2 и ГСКВ3 не потребуется, поскольку этот переход относится к «Типу перехода II», где применяется «гибридная» МСК. За счет совпадения плоских прямоугольных координат в «гибридной» МСК и в отменяемой МСК-NN региона, ПД, созданные в МСК-NN, могут быть интегрированы в этом виде координат с «гибридной» МСК без их пересчета.

В разделе приводятся методологические решения проблем адаптации МСК региона к новым версиям ГСК, а также качественного преобразования ПД между смежными версиями КП региона для «Перехода типа I» и «Перехода типа II».

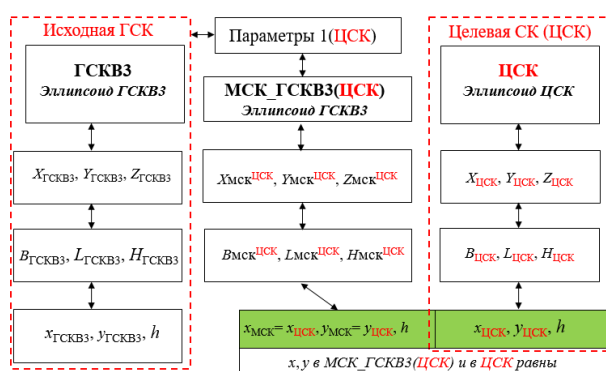


Рисунок 5 – Технологическая схема создания «гибридной» МСК_ГСКВ3(ЦСК)

Методологическое решение по адаптации на «Переходе типа II» единой МСК-NN_ГСКВ2 региона, основанной на ГСК вида 2 (ГСКВ2), к ГСК вида 3 (ГСКВ3) разработано в виде «гибридной» МСК_ГСКВ3(ЦСК), рисунок 5, где: «ГСКВ3» – это действующая ГСК вида 3 (ГСКВ3), от которой она образуется (в ней используется эллипсоид ГСКВ3); «(ЦСК)» – целевая СК, плоские прямоугольные координаты в которой и в МСК_ГСКВ3(ЦСК) совпадают, несмотря на использование в ЦСК другого эллипсоида – эллипсоида ЦСК. Таргетирование «гибридной» МСК_ГСКВ3(ЦСК) на совпадение плоских прямоугольных координат в ней и в ЦСК, заключается в том, что Параметры 1(ЦСК) перехода между ГСКВ3 и МСК_ГСКВ3(ЦСК) определяются целевым образом, под условием равенства плоских прямоугольных координат $x_{МСК}, y_{МСК}$ в МСК_ГСКВ3(ЦСК) и $x_{ЦСК}, y_{ЦСК}$ в ЦСК пунктов ГГС, расположенных в зоне действия МСК, см. рисунок 5.

Спроецировав координаты $x_{\text{МСК}}, y_{\text{МСК}}$ пунктов ГГС в МСК_ГСКВЗ(ЦСК) (а фактически $x_{\text{ЦСК}}, y_{\text{ЦСК}}$ в ЦСК, т.к. по условиям создания «гибридной» МСК они равны) на эллипсоид ГСКВЗ (применяется в ГСКВЗ и в МСК_ГСКВЗ(ЦСК)), получают геодезические координаты в МСК_ГСКВЗ(ЦСК): $B_{\text{МСК}}^{\text{ЦСК}}, L_{\text{МСК}}^{\text{ЦСК}}, H_{\text{МСК}}^{\text{ЦСК}}$. Эти координаты гибридные, т. к. они вычислены от координат $x_{\text{ЦСК}}, y_{\text{ЦСК}}$ пунктов ГГС в ЦСК, в которой используется эллипсоид ЦСК; при этом они получены на эллипсоиде ГСКВЗ, который используется в МСК_ГСКВЗ(ЦСК). Перевычислив их далее в $X_{\text{МСК}}^{\text{ЦСК}}, Y_{\text{МСК}}^{\text{ЦСК}}, Z_{\text{МСК}}^{\text{ЦСК}}$ в МСК_ГСКВЗ(ЦСК), используют для отыскания 7 Параметров Гельмерта между ГСКВЗ и МСК_ГСКВЗ(ЦСК) в паре с координатами $X_{\text{ГСКВЗ}}, Y_{\text{ГСКВЗ}}, Z_{\text{ГСКВЗ}}$ пунктов ГГС в ГСКВЗ. Созданная по такой методологии МСК сочетает в себе элементы двух СК, см. рисунок 5: в ней используется эллипсоид ГСКВЗ, а координаты $x_{\text{МСК}}, y_{\text{МСК}}$ таргетированы на совпадение с координатами $x_{\text{ЦСК}}, y_{\text{ЦСК}}$ в ЦСК. Сочетание в МСК, созданной по такой «таргетированной» методике, компонентов ГСКВЗ и ЦСК позволило назвать ее «гибридной».

«Гибридная» МСК в классе пространственных МСК образует новый подкласс таргетированных МСК_ИСК(ЦСК), где ИСК – исходная, а ЦСК – целевая системы координат, обеспечивающих новую функцию МСК: совпадение плоских прямоугольных координат в таргетированной МСК и в ЦСК, рисунок 6.

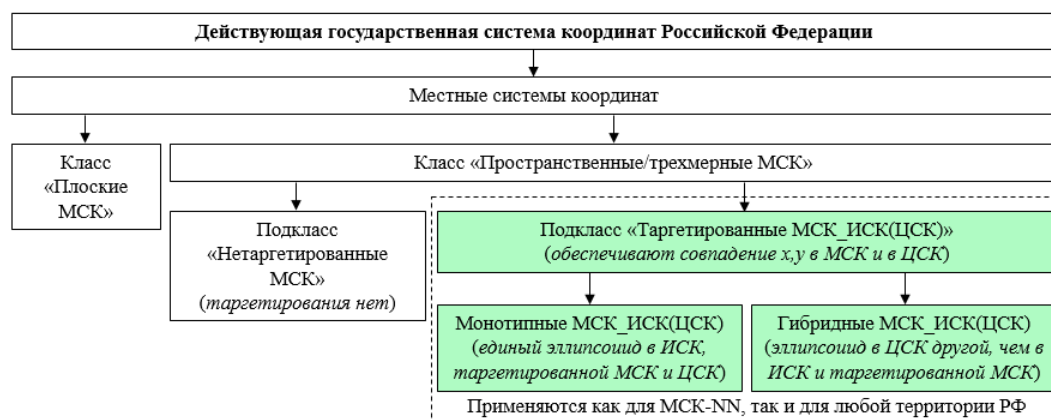


Рисунок 6 – Место вновь разработанного подкласса таргетированных местных систем координат вида МСК_ИСК(ЦСК) в классе пространственных МСК

В этот же подкласс входят таргетированные МСК, в которых в ИСК, МСК и ЦСК используется один эллипсоид, поэтому они названы «монотипные» МСК.

«Гибридная» МСК в методологии создания ЕВКП субъекта РФ – это эффективный способ адаптации единой МСК-NN_ГСКВ2 к новой ГСК вида ГСКВ3 на «Переходе типа II». При выборе в ней в качестве ЦСК единой МСК-NN_ГСКВ2 региона, МСК обозначается МСК_ГСКВ3(МСК-NN_ГСКВ2), рисунок 7.

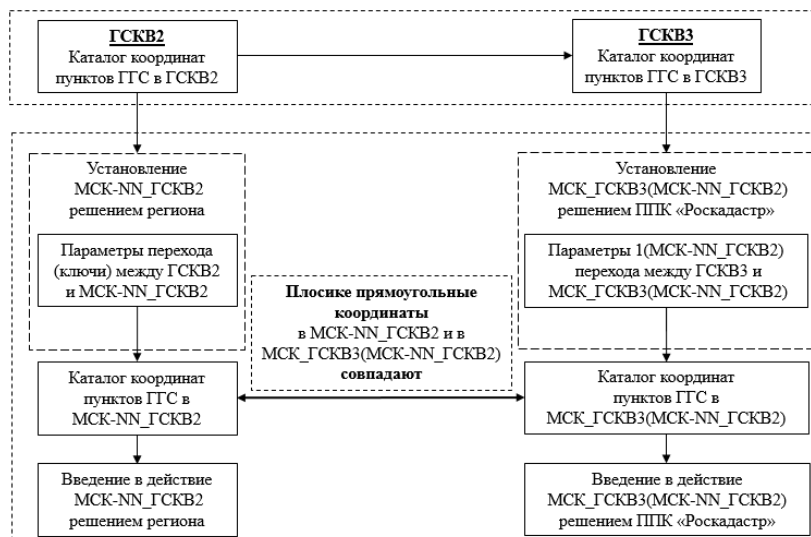


Рисунок 7 – Технологическая схема адаптации МСК-NN_ГСКВ2 к ГСК вида 3

Введением в регионе «гибридной» МСК_ГСКВ3(МСК-NN_ГСКВ2) проблема адаптации ПД, созданных в МСК-NN_ГСКВ2, решается автоматически: такие ПД, представленные в МСК-NN_ГСКВ2 в виде x, y , интегрируемы с ПД, созданными в МСК_ГСКВ3(МСК-NN_ГСКВ2) и преобразованными к виду x, y , без необходимости пересчета.

Т. е. качественный пересчет ПД, выполненный на «Переходе типа I» между ГСК видов ГСКВ1 и ГСКВ2, повысивший точность ПД до точности ГСКВ2, позволяет на дальнейших этапах эволюции ГСК этого больше не делать. Применяя методологию создания ЕВКП региона к ситуации в РФ, к «Переходу типа I» отнесем переход СК-42 → СК-95, что обусловлено существенными нелинейными деформациями координат пунктов ГГС в СК-42 относительно СК-95. Это делает невозможным применение ПД, ранее созданных в МСК-NN_42, образованной от СК-42, в ее версии МСК-NN_95, адаптированной к СК-95, без потери в точности создания ЕВКП субъекта РФ. Пересчет ПД по цепочке МСК-NN_42 → СК42 →

СК-95 → МСК-NN_95 по строгим параметрам «законсервирует» в них деформации МСК-NN_42 и сделает их несогласованными с ПД, созданными в более точной МСК-NN_95. Поэтому для «Перехода типа I» в качестве методологического решения, повышающего точность ПД, преобразуемых между смежными ГСК, предложен метод преобразования по цифровым моделям деформаций координат (ЦМДК). Его суть: по разностям координат пунктов ГГС в двух СК составляются ЦМДК, учитывающие различие двух сопоставляемых СК и их нелинейные деформации, а пересчет ПД по этим ЦМДК из СК-42 в СК-95 исключает в них ошибки СК-42 и повышает их точность до СК-95.

При построении ЦМДК региона требуется определить максимально допустимый размер ячейки, зависящий от степени неоднородности деформаций координат между ГСК видов ГСКВ1 и ГСКВ2, обеспечивающей заданную точность пересчета координат. Покажем это на примере ЦМДК пунктов ГГС в СК-42 относительно СК-95 на территории Новосибирской области (рисунки 8, 9).

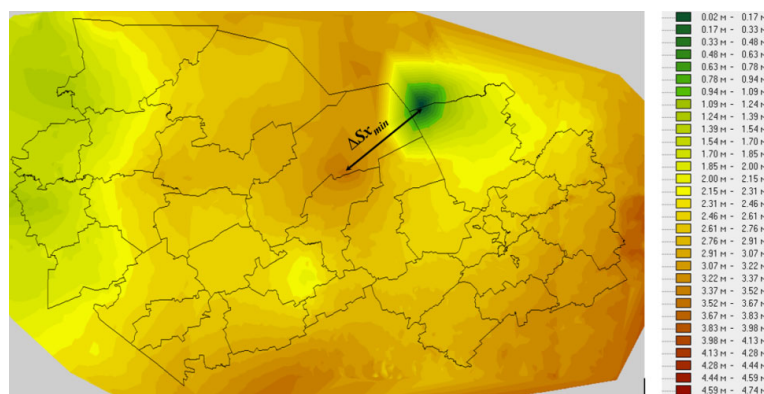


Рисунок 8 – ЦМДК пунктов ГГС в СК-42 относительно СК-95 по оси абсцисс

С учетом того, что точность создаваемого ЕВКП региона задана в 1 см, расчет размеров ячеек ЦМДК выполним так:

$$R_x \leq 0.01 * \Delta S_{x_{min}} / \Delta x_{max}; \quad R_y \leq 0.01 * \Delta S_{y_{min}} / \Delta y_{max}; \quad R \leq R_x, R_y, \quad (1)$$

где R_x , R_y , R – максимально допустимый размер ячейки ЦМДК по оси x , y и единый для региона соответственно, м;

Δx_{max} , Δy_{max} – максимальное изменение разности координат по оси x , y между

пунктами ГГС при самом коротком расстоянии ΔSx_{min} , ΔSy_{min} между ними, м.

На ЦМДК по оси x , рисунок 8, при $\Delta x_{max} = 3,7$ м и $\Delta Sx_{min} = 85$ км по формуле (1) получаем $Rx = 229,7$ м. Аналогично на ЦМДК по оси y , рисунок 9, при $\Delta y_{max} = 2,7$ м и $\Delta Sy_{min} = 100$ км по формуле (1) получаем $Ry = 370,4$ м.

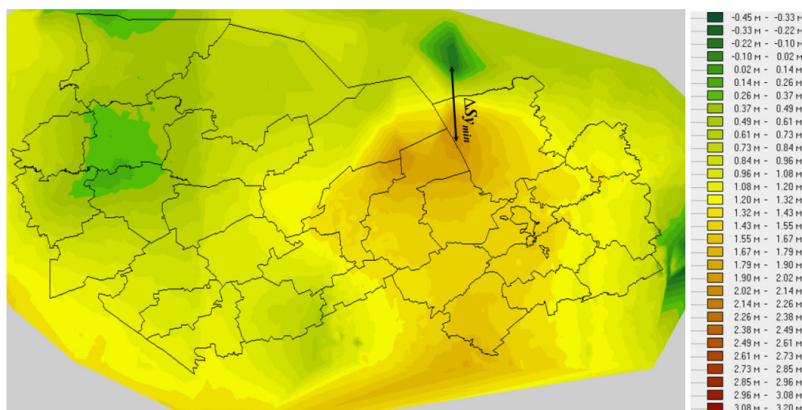


Рисунок 9 – ЦМДК пунктов ГГС в СК-42 относительно СК-95 по оси ординат

Т. е. максимально допустимый размер ячейки ЦМДК в регионе можно принять $\leq 229,7$ м. Для простоты работы R целесообразно принять равным 200 м.

Важно, что метод ЦМДК, разработанный для «Перехода типа I» между ГСК видов ГСКВ1 и ГСКВ2, позволяет не только добиться требуемой точности (1 см) пересчета ПД из МСК видов МСК-NN_ГСКВ1/МСК НП_ГСКВ1 в МСК вида МСК-NN_ГСКВ2, но и сохраняет их топологическую согласованность.

Следует отметить, что пересчету во вновь установленную в регионе МСК-NN_ГСКВ2, основанную на ГСКВ2, подлежат не только ПД, созданные в МСК-NN_ГСКВ1, но и востребованные ПД, произведенные в МСК НП (рисунок 10), образованных от ГСК вида 1 (ГСКВ1). ПД, созданные в таких МСК НП, после пересчета по алгоритму «Перехода типа I» в МСК вида МСК-NN_ГСКВ2, станут доступны в ЕКПР, построенном на ГСКВ2, с точностью МСК-NN_ГСКВ2. Дальнейшее же использование самих МСК НП из-за низкой точности и невозможности их актуализации к ГСКВ2 и последующим ГСК, целесообразно прекратить, рисунок 10. Однако в ЕКПР субъекта РФ, построенном на единой МСК-NN_ГСКВ2, адаптированной к новой ГСК вида 2 (ГСКВ2), целесообразно сохранить МСК Город. Хотя они созданы от ГСК вида 1 (ГСКВ1), за счет высокой точности геодезических

сетей, реализующих их на местности, между МСК Город и МСК-NN_ГСКВ2 с высокой точностью будут установлены параметры перехода. Поэтому ПД, созданные в МСК Город, будут доступны для пересчета в ЕКПР, созданном от МСК-NN_ГСКВ2, не нарушая его единства. А за счет высокой точности МСК Город, созданные в них ПД, пересчитанные по параметрам перехода из МСК Город в МСК-NN_ГСКВ2, будут согласованы с ПД, созданными в МСК-NN_ГСКВ2 субъекта РФ, что не нарушает точности ЕКП региона.



Рисунок 10 – Технологическая схема адаптации МСК-NN ГСКВ1 к ГСК вида 2

В разделе 3 «Технология создания единого высокоточного координатного пространства субъекта Российской Федерации (на примере Новосибирской области)» изложена технология создания ЕВКП субъекта РФ, где вместо видов ГСК ГСКВ1/ГСКВ2/ ГСКВ3 взяты реальные ГСК: СК-42/СК-95/ГСК-2011 соответственно. Как элемент технологии разработано ПО *CooTransf*, рисунок 11.

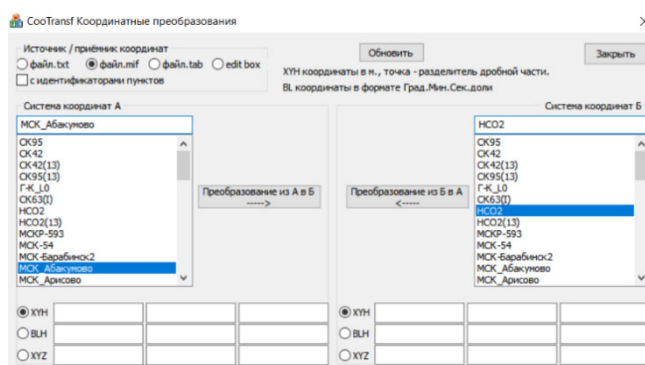


Рисунок 11 – Интерфейс ПО для координатных преобразований *CooTransf*

В разделе приведена Технологическая схема создания ЕВКП региона на «Переходе типа I» от СК-42 к СК-95, рисунок 12.



Рисунок 12 – Технологическая схема создания единого высокоточного координатного пространства субъекта РФ на этапе «Перехода типа I» от СК-42 к СК-95

В разделе дается описание технологических блоков, рисунок 12: установления и введения в действие единой МСК-NN_95 региона вместо отменяемой МСК-NN_42; методики сбора и верификации параметров перехода от МСК НП, используемых для ведения ГКН, к ГСК; создания ЦМДК в СК-42 относительно СК-95; пересчета в ПО CooTransf; метрической и картометрической верификации результатов пересчета в ПО GeoOper. Эти блоки составляют разработанную технологию создания ЕВКП региона на «Переходе типа I» СК-42 → СК-95. Разработанные методология и технология создания ЕВКП региона реализованы на примере Черепановского района. В результате границы 20 972 объектов недвижимости из АИС ГКН района, учтенные в 30 МСК НП, пересчитаны в единую МСК НСО. Верификация результатов подтвердила их корректность. По итогам реализации решением руководителя Управления Росреестра по Новосибирской области разработанные методология и технология внедрены в регионе.

Технология создания ЕВКП субъекта РФ на «Переходе типа II» между видами ГСК близкой точности ГСКВ2 и ГСКВ3 (подразумеваемая под ними СК-95/ГСК-2011 соответственно) основана на единой, региональной «гибридной» МСК. Реализация технологии на «Переходе типа II» между ГСК видов ГСКВ2 ГСКВ3, где СК-95/ГСК-2011 взяты как представители этих видов, показана на примере Новосибирской области, где МСК НСО, созданная от СК-95, адаптирована к ГСК-2011 введением «гибридной» МСК_2011(МСК НСО), рисунок 13.

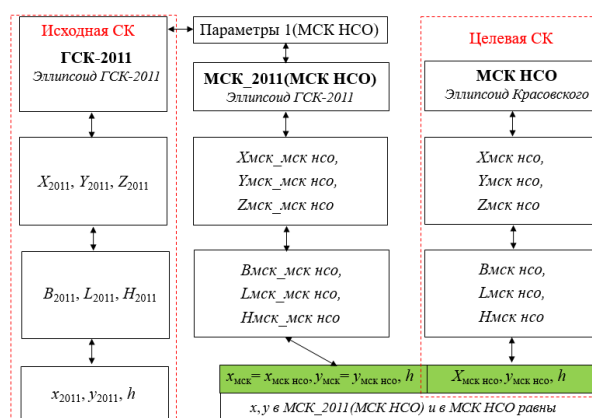


Рисунок 13 – Технологическая схема адаптации МСК НСО к ГСК-2011 путем установления «гибридной» МСК_2011(МСК НСО)

«Гибридная» МСК_2011(МСК НСО) – это МСК, промежуточная между ГСК-2011 и МСК НСО и таргетирована на совпадение плоских прямоугольных координат $x_{\text{МСК}}, y_{\text{МСК}}$ в ней и $x_{\text{МСК НСО}}, y_{\text{МСК НСО}}$ в МСК НСО, см. рисунок 13. Эта зависимость «гибридной» МСК от исходной ГСК-2011 и целевой МСК НСО, обуславливает особенности работы в ней с плоскими прямоугольными координатами и с координатными зонами. Условием создания «гибридной» МСК_2011(МСК НСО), является совпадение плоских прямоугольных координат $x_{\text{МСК}}, y_{\text{МСК}}$ в ней и $x_{\text{МСК НСО}}, y_{\text{МСК НСО}}$ в МСК НСО. Для этого плоские прямоугольные координаты $x_{\text{МСК НСО}}, y_{\text{МСК НСО}}$ пунктов ГГС должны быть представлены в МСК НСО в единой зоне, для чего требуются формулы пересчета координат, обеспечивающих требуемую точность 1 см. Для применения методологии и технологии во всех регионах страны, где удаление от осевого меридиана зоны для «гибридной» МСК-NN может достигать 57° (Республика Саха (Якутия)), сравнены результаты пересчета прямоугольных координат в геодезические в ПО Кредо Транскор и по формулам «широкой полосы» (В. П. Морозов «Курс сфероидической геодезии», 1979 г.).

Преобразование из геодезических в плоские прямоугольные координаты:

$$l = L - L_0, \quad (2)$$

$$\varphi = B - k_2 \sin 2B + k_4 \sin 4B - k_6 \sin 6B + \dots, \quad (3)$$

$$k_2 = 2 \left(n - \frac{1}{3} n^2 - \frac{2}{3} n^3 + \dots \right), \quad (4)$$

$$k_4 = \frac{5}{3} n^2 - \frac{16}{15} n^3 + \dots, \quad (5)$$

$$k_6 = \frac{26}{15} n^3 + \dots, \quad (6)$$

$$n = \frac{a - b}{a + b}, \quad (7)$$

$$b = a - \alpha a, \quad (8)$$

где L, L_0, l – долгота точки, осевого меридиана и удаление точки от него; B – широта точки; a, b, α – полуоси эллипсоида и его сжатие соответственно.

$$\operatorname{tg} \xi = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\cos l}, \quad (9)$$

$$\operatorname{th} p = \cos \varphi \sin l, \quad (10)$$

$$p = \operatorname{arth}(\operatorname{th} p), \quad (11)$$

$$\xi = \operatorname{arctg}(\operatorname{tg} \xi), \quad (12)$$

$$R = \frac{a}{1+n} \left(1 + \frac{n^2}{4} + \dots \right), \quad (13)$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{2}n - \frac{2}{3}n^2 + \frac{15}{16}n^3 + \dots, \quad (14)$$

$$\alpha_4 = \frac{13}{48}n^2 - \frac{3}{5}n^3 + \dots, \quad (15)$$

$$\alpha_6 = \frac{61}{240}n^3 + \dots, \quad (16)$$

$$x = R(\xi + \alpha_2 \sin 2\xi \operatorname{ch} 2p + \alpha_4 \sin 4\xi \operatorname{ch} 4p + \alpha_6 \sin 6\xi \operatorname{ch} 6p + \dots), \quad (17)$$

$$y = R(p + \alpha_2 \cos 2\xi \operatorname{sh} 2p + \alpha_4 \cos 4\xi \operatorname{sh} 4p + \alpha_6 \cos 6\xi \operatorname{sh} 6p + \dots), \quad (18)$$

где L, L_0, l – долгота точки, осевого меридиана и удаление точки от него;

B, φ, ξ – геодезическая, астрономическая и сферическая широта соответственно;

a, b, α – полуоси эллипсоида и его сжатие соответственно;

x, y – плоские прямоугольные координаты точки.

Преобразование из плоских прямоугольных координат в геодезические:

$$u = \frac{x}{R}, \quad (19)$$

$$v = \frac{y}{R}, \quad (20)$$

$$\beta_2 = \frac{1}{2}n - \frac{2}{3}n^2 + \frac{37}{96}n^3 + \dots, \quad (21)$$

$$\beta_4 = \frac{1}{48}n^2 + \frac{1}{15}n^3 + \dots, \quad (22)$$

$$\beta_6 = \frac{17}{480}n^3 + \dots, \quad (23)$$

$$\xi = u - \beta_2 \sin 2u \operatorname{ch} 2v - \beta_4 \sin 4u \operatorname{ch} 4v - \beta_6 \sin 6u \operatorname{ch} 6v + \dots, \quad (24)$$

$$p = v - \beta_2 \cos 2u \operatorname{sh} 2v - \beta_4 \cos 4u \operatorname{sh} 4v - \beta_6 \cos 6u \operatorname{sh} 6v + \dots, \quad (25)$$

$$\sin \varphi = \frac{\sin \xi}{\operatorname{ch} p}, \quad (26)$$

$$\operatorname{tg} l = \frac{\operatorname{sh} p}{\cos \xi}, \quad (27)$$

$$\varphi = \arcsin(\sin \varphi), \quad (28)$$

$$B = \varphi + k'_2 \sin 2\varphi + k'_4 \sin 4\varphi + k'_6 \sin 6\varphi + \dots, \quad (29)$$

$$k'_2 = 2 \left(n - \frac{1}{3}n^2 - n^3 + \dots \right), \quad (30)$$

$$k'_4 = \frac{7}{3}n^2 - \frac{8}{5}n^3 + \dots, \quad (31)$$

$$k'_6 = \frac{56}{15}n^3 + \dots, \quad (32)$$

$$l = \operatorname{arctg}(\operatorname{tg} l). \quad (33)$$

Алгоритм для «широкой полосы» разработан для удаления от меридиана до 60° , в ПО Кредо Трансмор обеспечивается точность такого пересчета 1 см при удалении от меридиана до 40° . Сравнения вычислений по этим алгоритмам показали (таблицы 2, 3), что разности x , y при удалении от осевого меридиана до 40° не превышают 1,1 мм, достигая величины 15,6 мм при удалении до 60° .

Таблица 2 – Разность пересчета геодезических в плоские прямоугольные координаты точек ($B = 30^\circ$), удаленных на величину l от меридиана 6° зоны № 1 СК-42/СК-95

Удаление l°	Кредо Трансмор		Формулы Морозов В. П.		Разность, мм	
	x (м)	y (м)*	x (м)	y (м)*	Dx	Dy
10	3 362 653,5123	967 342,8837	3 362 653,5125	967 342,8837	-0,2	0,0
20	3 494 787,8219	1 949 353,0793	3 494 787,8221	1 949 353,0792	-0,2	0,1
30	3 731 632,4021	2 959 879,9591	3 731 632,4025	2 959 879,9588	-0,4	0,3
40	4 101 712,3874	4 009 795,6790	4 101 712,3881	4 009 795,6779	-0,7	1,1
50	4 652 343,7568	5 100 969,8816	4 652 343,7569	5 100 969,8767	-0,1	4,9
60	5 455 230,3388	6 211 011,3196	5 455 230,3232	6 211 011,3062	15,6	13,4

Таблица 3 – Разность пересчета геодезических в плоские прямоугольные координаты точек ($B = 30^\circ$), удаленных на величину l от меридиана 6° зоны № 1 ГСК-2011

Удаление l°	Кредо Транскор		Формулы Морозов В. П.		Разность, мм	
	x (м)	y (м)*	x (м)	y (м)*	Dx	Dy
10	3 362 593,4736	967 326,5493	3 362 593,4738	967 326,5493	-0,2	0,0
20	3 494 725,5601	1 949 320,1784	3 494 725,5604	1 949 320,1783	-0,3	0,1
30	3 731 566,1803	2 959 830,0376	3 731 566,1807	2 959 830,0373	-0,4	0,3
40	4 101 640,0337	4 009 728,0952	4 101 640,0344	4 009 728,0941	-0,7	1,1
50	4 652 262,3753	5 100 883,9081	4 652 262,3754	5 100 883,9032	-0,1	4,9
60	5 455 135,8832	6 210 906,4277	5 455 135,8676	6 210 906,4142	15,6	13,5
* - ордината дана без условного смещения на восток и без номера зоны						

То есть встроенные в ПО Кредо Транскор алгоритмы пригодны для пересчетов при удалении от осевого меридиана до 40° , а при большем удалении требуется применять формулы для «широкой полосы» из книги Морозова В. П.

В связи с зависимостью «гибридной» МСК от исходной и целевой систем координат пересчет координат $x_{\text{МСК}}$, $y_{\text{МСК}}$ между зонами здесь невозможен так, как в обычных МСК. При пересчете с заменой осевого меридиана исходной зоны на целевую, $x_{\text{МСК}}$, $y_{\text{МСК}}$ в смежных зонах «гибридной» МСК и $x_{\text{ЦСК}}$, $y_{\text{ЦСК}}$ в ЦСК не совпадут из-за использования в них разных эллипсоидов. Для «гибридной» МСК разработан новый методологический подход в пересчете $x_{\text{МСК}}$, $y_{\text{МСК}}$ в смежные зоны, показанный на примере МСК_2011(МСК НСО) на рисунке 14.

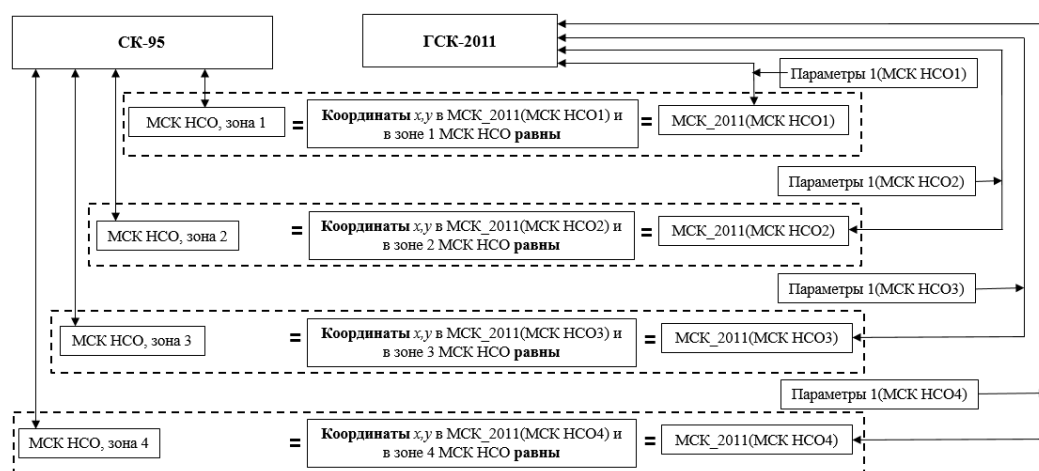


Рисунок 14 – Технологическая схема координатных преобразований между ГСК-2011 и зонами «гибридной» МСК_2011(МСК НСО)

В этом подходе каждая зона «гибридной» МСК является отдельной СК, имеющей свой датум. То есть по единому набору координат пунктов ГГС, расположенных в регионе, для зон «гибридной» МСК вычисляются свои Параметры 1 (МСК НСО1) – Параметры 1 (МСК НСО4) перехода от ГСК-2011 к четырем зонам «гибридной» МСК_2011(МСК НСО), обеспечивающие совпадение x, y в «гибридной» МСК с x, y в соответствующих зонах МСК НСО.

Разработанная технология на «Переходе типа II» СК-95 $\rightarrow$ ГСК-2011 реализована на примере Новосибирской области, где по 60 пунктам ГГС, имеющим координаты в ГСК-2011 с точностью СГС-1, определены Параметры 1(МСК НСО3) перехода от ГСК-2011 к ГСК_2011(МСК НСО3). Оценка точности, выполненная пересчетом по ним x, y пунктов ГГС из ГСК-2011 в МСК_2011(МСК НСО3) и сравнением с x, y в МСК НСО3, показана в таблице 4 и на рисунке 15.

Таблица 4 – Погрешности преобразования координат 60 опорных пунктов ГГС между ГСК-2011 и МСК_2011(МСК НСО3) по Параметрам 1(МСК НСО3)

Диапазон погрешностей (в плане), см	Количество погрешностей, шт.	Доля погрешностей, %
0,0–5,0	35	58,3
5,0–10,0	16	26,7
10,0–16,0	9	15,0

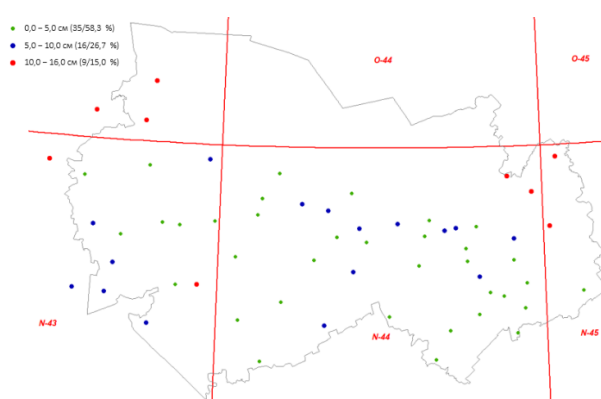


Рисунок 15 – Расположение 60 пунктов ГГС в Новосибирской области

Как видно из таблицы 4 и рисунка 15, 85,0 % всех погрешностей пересчета из ГСК-2011 в МСК_2011(МСК НСО3) находятся в пределах 10 см, и лишь 15 % – в пределах от 10 до 16 см. СКП преобразования при этом составила ± 7 см.

Точность Параметров 1(МСК НСОЗ) преобразования между ГСК-2011 и МСК_2011(МСК НСОЗ) независимо оценена по 335 пунктам ГГС, не участвовавшим в их определении, координаты которых в ГСК-2011 определены ГНСС-методом с точностью СГС-1, результаты показаны в таблице 5 и на рисунке 16.

Таблица 5 – Погрешности преобразования координат 335 контрольных пунктов ГГС между ГСК-2011 и МСК_2011(МСК НСОЗ) по Параметрам 1(МСК НСОЗ)

Диапазон расхождений (в плане), см	Количество расхождений, шт.	Доля расхождений, %
0,0 – 6,0	211	63,0
6,0 – 12,0	86	25,7
12,0 – 18,0	34	10,1
18,0 – 24,0	4	1,2

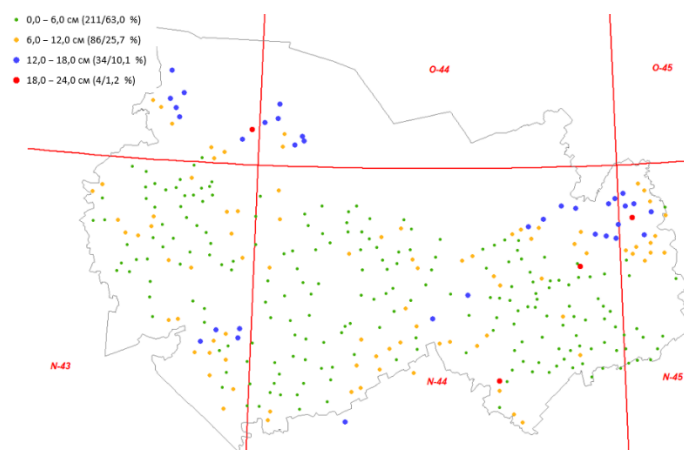


Рисунок 16 – Расположение 335 пунктов ГГС в Новосибирской области

Из таблицы 5 и рисунка 16 видно, что: 88,7 % погрешностей пересчета из ГСК-2011 в МСК_2011(МСК НСОЗ) меньше 12 см, а 11,3 % – от 12 до 24 см, СКП = ± 8 см. Для сопоставления результатов, получаемых по разработанной методологии и по методике ППК «Роскадастр» адаптации МСК-NN к ГСК-2011, проведен эксперимент: сравнены плоские прямоугольные координаты 355 пунктов ГГС в «гибридной» МСК_2011(МСК НСО), вычисленные от ГСК-2011 по Параметрам 1 (МСК НСОЗ), с аналогичными координатами в МСК НСОЗ_уточн, полученными по методике ППК «Роскадастр» уточнения МСК НСО относительно ГСК-2011. Результаты сравнения представлены в таблице 6 и на рисунке 17.

Таблица 6 – Разность координат 355 пунктов ГГС в МСК_2011(МСК НСО3) и в МСК НСО3, уточненных относительно ГСК-2011 по методике ППК «Роскадастр»

Диапазон расхождений (в плане), см	Количество расхождений, шт.	Доля расхождений, %
0,0 – 10,0	245	69,0
10,0 – 15,0	59	16,6
15,0 – 20,0	23	6,5
20,0 – 30,0	28	7,9

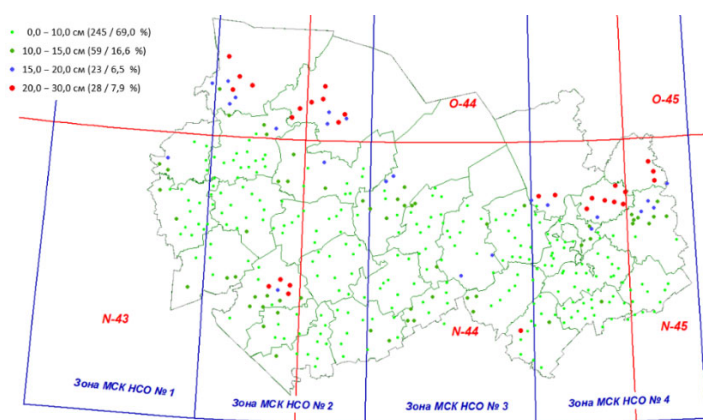


Рисунок 17 – Разность x , y пунктов ГГС в МСК_2011(МСК НСО3) и в МСК, уточненных относительно ГСК-2011 по методике ППК «Роскадастр»

Как видно из таблицы 6 и рисунка 17, 85,6 % расхождений координат в МСК_2011(МСК НСО3) и МСК НСО3_уточн в плане находятся в пределах 0–15 см, а 7,9 % – в диапазоне 20,0–30,0 см. СКП разностей координат – $\pm 10,9$ см.

Результаты эксперимента показали, что x , y в МСК_2011(МСК НСО) и в МСК НСО3_уточн сошлись в пределах СКП $\pm 10,9$ см. При этом методология адаптации МСК НСО к ГСК-2011 путем создания «гибридной» МСК_2011(МСК НСО) имеет преимущества перед методикой ППК «Роскадастр»: определение параметров перехода от МСК кадастрового округа к ГСК-2011; координаты в МСК_2011(МСК НСО) имеют точность, соответствующую ГСК-2011.

Результаты реализации в Новосибирской области, где методология и технология уже внедрены на «Переходе типа I» (от СК-42 к СК-95), подтвердили возможность установления «гибридной» МСК региона в качестве способа адаптации МСК НСО, созданной от СК-95, к ГСК-2011 на этапе перехода от СК-95 к ГСК-2011 («Переход типа II») и целесообразность ее внедрения на практике.

Четвертый раздел «Опыт практического применения методологии и технологии создания единого высокоточного координатного пространства субъекта Российской Федерации» содержит информацию о внедрении результатов разработки. Так, разработка внедрена в Новосибирской области, где:

- установлением единой МСК НСО, основанной на СК-95, создано ЕТКП области, обеспечивающее создание в нем ПД с точностью СК-95;

- в ЕТКП региона, созданное на базе МСК НСО (образована от СК-95), осуществлено качественное преобразование востребованных ПД, созданных в МСК НП, в том числе: объектов недвижимости, учтенных в ЕГРН в области; координат 16 747 пунктов полигонометрии; свыше 10 000 топографических планов, благодаря чему их точность повысилась до точности СК-95;

- границы Новосибирской области с Алтайским краем, Омской и Томской областями пересчитаны из МСК-22/55/70 в МСК НСО и в ГСК-2011, что позволило их юридически оформить и поставить на кадастровый учет.

В 2023-2024 гг. разработаны 4 «гибридные» МСК, установленные на площади 352 000 км² в трех регионах РФ, что позволило создать в зоне этих МСК ЕВКП территории, по точности соответствующее точности ГСК-2011.

ПО *GeoOper*, как элемент разработанной технологии, применено для целей развития рекреационного потенциала озера Байкал.

Результаты применения методологии и технологии создания ЕВКП субъектов РФ подтверждают востребованность полученных результатов как для решения задачи создания ЕВКП в регионах РФ, так и в других отраслях экономики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного диссертационного исследования достигнута его цель – выполнены теоретическое, методологическое обоснование и разработка технологии создания единого высокоточного координатного пространства субъекта Российской Федерации, обеспечивающего производство пространственных данных с точностью государственной системы координат, установленной в соответствии с действующим законодательством. Основные итоги исследования заключаются в следующих *результатах*:

– выявлена (путем исследования потребности в пространственных данных в РФ) востребованная максимальная точность координатного описания ПД, обосновавшая требуемую точность создаваемого единого высокоточного координатного пространства субъекта РФ;

– выполнено теоретическое и методологическое обоснование для решения проблемы отсутствия единого высокоточного координатного пространства региона, обеспечившее принципиальную возможность его создания;

– проанализировано состояние и выявлены системные проблемы координатного пространства субъекта РФ, устранение которых обеспечило создание ЕВКП региона;

– выполнено концептуальное и методологическое обоснование принципиально нового свойства пространственных МСК – таргетирования, обеспечивающего совпадение плоских прямоугольных координат в таргетированной МСК и в другой системе координат, выбранной в МСК в качестве целевой СК – ЦСК;

– теоретически и методологически обоснован разработанный новый «гибридный» вид МСК – МСК_ГСКВ3(ЦСК), плоские прямоугольные координаты x , y в которой и в целевой системе координат (ЦСК) совпадают, несмотря на использование разных эллипсоидов. Такая МСК применена как методологическое решение дилеммы перехода к новой ГСК вида 3 (ГСКВ3) от единой МСК-NN_ГСКВ2 субъекта РФ путем установления «гибридной» МСК_ГСКВ3(МСК-NN_ГСКВ2)), обеспечивающей: равную точность в ГСКВ3 и в «гибридной» МСК; совпадение координат x , y в «гибридной» МСК и в МСК-NN_ГСКВ2;

– выполнено теоретическое и методологическое обоснование для разработки технологии создания единого высокоточного координатного пространства субъекта РФ, обеспечившей: а) соответствие точности ГСКВ2 как ПД, создаваемых в МСК-NN_ГСКВ2, так и ПД, преобразуемых в нее из МСК_ГСКВ1 (на «Переходе типа I» от технической точности и неоднородной ГСК вида 1 (ГСКВ1) к точной и однородной ГСК вида 2 (ГСКВ2), основанных на едином эллипсоиде); б) равную точность ГСКВ3 и ПД, создаваемых в МСК-NN_ГСКВ3, и сохранение ПД в отменяемой МСК-NN_ГСКВ2 без их пересчета в МСК-NN_ГСКВ3 (на «Переходе типа II» от точной, однородной и референцной ГСК вида 2 (ГСКВ2) к высокоточной, однородной и общеземной ГСК вида 3 (ГСКВ3), созданных на разных эллипсоидах);

– теоретические и методологические решения, а также разработанная технология создания единого высокоточного координатного пространства субъекта РФ реализованы (на примере Новосибирской области) на Переходах типа I и II, где в качестве ГСКВ1/ГСКВ2/ГСКВ3 взяты ГСК РФ: СК-42/СК-95/ГСК-2011.

Перспективы дальнейших исследований заключаются в применении методологии и технологии «Перехода типа I» для «отложенного» транзита между ГСК видов ГСКВ1 и ГСКВ3 (применимо для СК-42/ГСК-2011) одновременно с установлением «гибридной» МСК_2011(МСК-NN_42) как единой МСК региона.

Методология и технология, разработанные для «Перехода типа II» между ГСК видов ГСКВ2 и ГСКВ3, рекомендуются к внедрению в ППК «Роскадастр» для перехода от СК-95 к ГСК-2011 в регионах страны, где «Переход типа I» уже осуществлен в отношении СК-42/СК-95. В остальных субъектах РФ, где «Переход типа I» от СК-42 к СК-95 не реализован, разработанные для него методология и технология рекомендуются к внедрению в ППК «Роскадастр» для транзита между ГСК видов ГСКВ1 и ГСКВ3 путем их применения для СК-42/ГСК-2011 соответственно, одновременно с установлением «гибридной» МСК вида МСК_2011(МСК-NN_42) в качестве единой МСК региона.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1 Карпик, А. П. Реализация «дорожной карты»: пути повышения качества пространственного описания объектов государственного кадастра недвижимости / А. П. Карпик, Д. А. Ламерт, В. И. Обиденко. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2013. – № 12. – С. 45–49.

2 Обиденко, В. И. Определение пространства Российского государства – исторические, технологические и политические аспекты / В. И. Обиденко. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2015. – № 5. – С. 41–49.

3 Обиденко, В. И. Разработка методики получения нормальных высот на территории Новосибирской области с использованием глобальной модели геоида EGM2008 / В. И. Обиденко, О. А. Опритова, А. П. Решетов. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 1 (33). – С. 14–25.

4 Обиденко, В. И. Об определении метрических параметров больших по площади территорий средствами программного обеспечения геоинформационных систем / В. И. Обиденко, О. А. Опритова. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2016. – № 3. – С. 41–49.

5 Обиденко, В. И. Изменение метрических параметров объектов на территории Российской Федерации при переходе к государственной геодезической системе координат ГСК-2011 / В. И. Обиденко, Г. Г. Побединский. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2016. – № 10. – С. 12–21. – DOI 10.22389/0016-7126-2016-916-10-12-21.

6 Обиденко, В. И. Об изменении координат на территории Российской Федерации при переходе от СК-95 к ГСК-2011 / В. И. Обиденко. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 2. – С. 5–21.

7 Обиденко, В. И. Определение метрических параметров территории Российской Федерации средствами геоинформационных систем / В. И. Обиденко. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 2. – С. 18–33.

8 Калюжин, В. А. Определение географического центра на основе геоинформационных технологий (на примере оз. Байкал) / В. А. Калюжин, Б. Т. Мазуров, В. И. Обиденко. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2018. – Т. 79, № 11. – С. 9–14.

9 Обиденко, В. И. Методология геодезического обеспечения цифровой экономики Российской Федерации / В. И. Обиденко. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2019. – Т. 80, № 12. – С. 42–55. – DOI 10.22389/0016-7126-2019-954-12-42-55.

10 Обиденко, В. И. Единое высокоточное гомогенное координатное пространство территорий и местные системы координат: пути гармонизации / В. И. Обиденко. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 2. – С. 46–62.

11 Обиденко, В. И. Преобразования пространственных данных в государственную геодезическую систему координат 2011 года в ПО ГИС / В. И. Обиденко, С. Р. Горобцов. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 5. – С. 27–39. – DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-5-27-39.

12 Карпик, А. П. Исследование однородности координатной основы ГСК-2011 при построении геодезической сети специального назначения / А. П. Карпик, В. И. Обиденко, Н. С. Косарев, Н. К. Шендрик. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2021. – № 10. – С. 2–12. – DOI: 10.22389/0016-7126-2021-976-10-2-12.

13 Карпик, А. П. Исследование потребности федеральных органов исполнительной власти Российской Федерации в пространственных данных / А. П. Карпик, В. И. Обиденко, Г. Г. Побединский. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2021. – Т. 82. – № 12. – С. 49–63.

14 Обиденко, В. И. О сохранении фондов пространственных данных, созданных в СК-95, при переходе к ГСК-2011 / В. И. Обиденко. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 2. – С. 30–43. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-2-30-43.

15 Обиденко, В. И. Новые возможности местных систем координат, создаваемых на базе ГСК-2011 / В. И. Обиденко. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2023. – Т. 84, № 3. – С. 2–13. – DOI 10.22389/0016-7126-2023-993-3-2-13.

16 Обиденко, В. И. Перспективы применения гибридных местных систем координат, создаваемых на базе ГСК-2011 / В. И. Обиденко. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2023. – Т. 84, № 8. – С. 2–12. – DOI 10.22389/0016-7126-2023-998-8-2-12.

17 Побединский, Г. Г. Проблемы геодезического и картографического обеспечения границ субъектов Российской Федерации / Г. Г. Побединский, В. И. Обиденко, П. И. Маркеева. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 1. – С. 17–29. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-1-17-29 (К 1).

18 Обиденко, В. И. Уточнение на базе ГСК-2011 местных систем координат субъектов Российской Федерации с применением методики создания гибридной местной системы координат / В. И. Обиденко. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2024. – Т. 85, № 6. – С. 2–13. – DOI 10.22389/0016-7126-2024-1008-6-2-13 (К 1).

19 Котельников, А. В. Опыт практического применения «гибридных» местных систем координат, создаваемых на базе ГСК-2011 / А. В. Котельников, В. И. Обиденко. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 3. – С. 15–30. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-15-30 (К 1).

20 Обиденко, В. И. Технологические аспекты разработки на базе государственной системы координат 2011 года гибридных местных систем координат и их практического применения / В. И. Обиденко. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2025. – № 7. – С. 12–24. – DOI 10.22389/0016-7126-2025-1021-7-12-24 (К 1).

21 Обиденко, В. И. CoorTransf «Преобразование координат» : программа для ЭВМ : № 2020614948 : заявка № 2020613868 : заявл. 14.04.2020 : опубл. 29.04.2020 / В. И. Обиденко, С. П. Нефедов ; правообладатель Акционерное общество «Производственное объединение «Инженерная геодезия». – Текст : непосредственный.

22 Обиденко, В. И. GeoOper : программа для ЭВМ : № 2020614947 : заявка № 2020613867 : заявл. 14.04.2020 : опубл. 29.04.2020 / В. И. Обиденко, С. П. Нефедов ; правообладатель Акционерное общество «Производственное объединение «Инженерная геодезия». – Текст : непосредственный.

23 Geographical center of lake Baikal / V. A. Kalyuzhin, B. T. Mazurov, V. I. Obidenko, V. V. Chernikov. – Текст : непосредственный // Geography and Natural Resources. – 2020. – Vol. 41, no. 1. – P. 34–38. – DOI 10.1134/S1875372820010059.

24 Географический центр озера Байкал / В. А. Калюжин, Б. Т. Мазуров, В. И. Обиденко, В. В. Черников. – Текст : непосредственный // География и природные ресурсы. – 2020. – № 1 (160). – С. 77–82.

25 Побединский, Г. Г. Нормативно-правовое и картографическое обеспечение изменения границ субъектов Российской Федерации / Г. Г. Побединский, В. И. Обиденко, П. И. Маркеева. – Текст : непосредственный // ИнтерКарто. ИнтерГИС. – 2023. – Т. 29, № 1. – С. 217–239. – DOI 10.35595/2414-9179-2023-1-29-217-239.

26 Карпик, А. П. Формирование единого геопространства территорий для повышения качества геодезического обеспечения государственного кадастра недвижимости / А. П. Карпик, В. И. Обиденко. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Пленарное заседание : сб. материалов (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. – С. 3–11.

27 Построение локальной модели геоида с использованием спутниковых и наземных измерений / В. И. Обиденко, В. М. Гридчин, Д. А. Чалков, Н. Н. Кобелева. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2018. XIV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография,

маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – Т. 1. – С. 111–115.

28 Определение географического центра территории в программном обеспечении геоинформационных систем (на примере оз. Байкал) / В. А. Калюжин, Б. Т. Мазуров, В. И. Обиденко, В. В. Черников. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2018. XIV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – Т. 1. – С. 154–164.

29 Разграфка и номенклатура топографических карт и планов на территорию Новосибирской области / А. П. Карпик, В. И. Обиденко, П. К. Шитиков, Ф. К. Афонин, О. А. Оприцова. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2018. XIV Междунар. науч. конгр. : Пленарное заседание : сб. материалов (Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – С. 3–11.

30 Горобцов, С. Р. Геодезические методы для создания единого геоинформационного пространства / С. Р. Горобцов, В. И. Обиденко. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2019. XV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 9 т. (Новосибирск, 24–26 апреля 2019 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. – Т. 1, № 1. – С. 173–183. – DOI 10.33764/2618-981X-2019-1-1-173-183.

31 Наджибулла, Х. З. Создание и развитие дифференциальных геодезических станций в горной местности / Х. З. Наджибулла, В. И. Обиденко. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 8 т. (Новосибирск, 18–20 мая 2022 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2022. – Т. 1, № 1. – С. 113–123. – DOI 10.33764/2618-981X-2022-1-113-123.

32 Липатников, Л. А. О построении единого высокоточного координатного пространства РФ как базы для развития ТИМ на обширных территориях / Л. А. Липатников, В. И. Обиденко. – Текст : непосредственный // Информационное моделирование. – 2025. – № 3 (7). – С. 79–84.