

Региональные и местные (локальные) системы координат

Примерами региональных геодезических сетей и региональных систем координат в настоящее время являются национальные геодезические сети и системы координат государств, входящих в Европейский союз (ЕС). В связи с развитием интеграционных процессов и внедрением в практику геодезических работ использование глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) в странах Западной Европы было принято решение о создании единой системы геодезических координат Европы [21, 30]. Как было показано выше, такая система (ETRS/ETRF) и соответствующая ей геодезическая сеть (EPN) были созданы, после чего национальные геодезические сети и системы координат государств, входящих в Европейский союз (ЕС) перешли в разряд региональных.

Прообразом региональных геодезических сетей в нашей стране можно считать организованные Военно-топографическим депо (ВТД), а затем Военно-топографическим отделом (ВТО) и Корпусом военных топографов (КВТ) так называемые «губернские триангуляции» [15].

Прообразом региональных систем координат можно считать систему координат 1963 года (СК-63) - видоизмененный вариант системы 1942 года. Система координат СК-63 не являлась местной системой координат, так как была создана на всю территорию Советского Союза большими блоками, включающими до нескольких областей и республик. СК-63 была предназначена для создания топографических и специальных карт (землеустроительных, лесоустроительных, лесопожарных и др.) гражданского применения. Ее отличие от государственной системы координат 1942 года состояло только в изменении стандартной разграфки в проекции Гауса-Крюгера и использовании в европейской части СССР 3-х градусных зон. Схема расположения зон и разграфки листов карт масштаба 1 000 000 в системе координат СК-63 приведена на рис. 23.

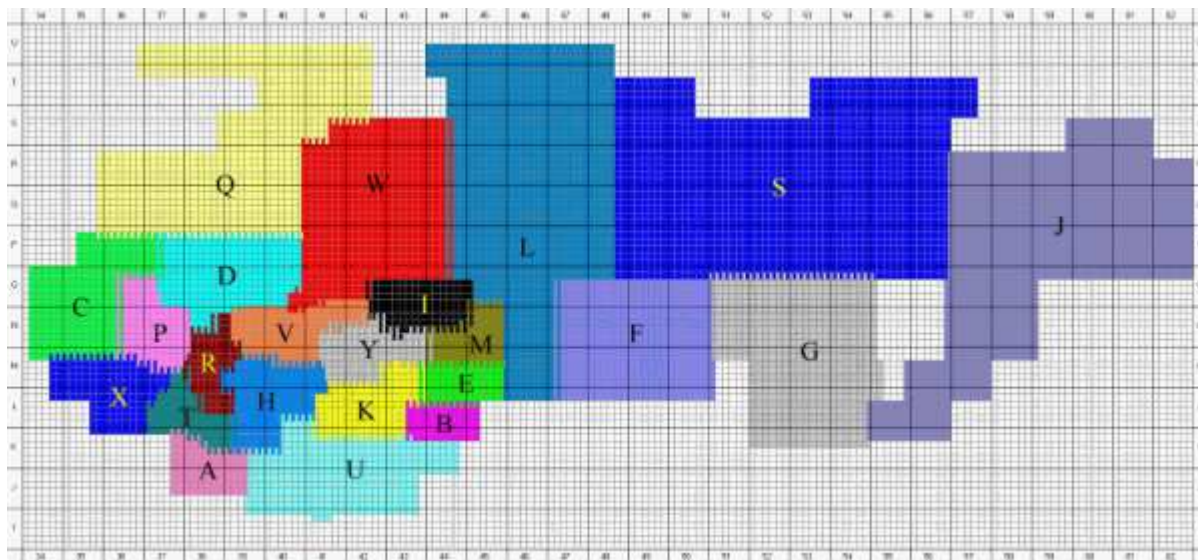


Рис. 23. Схема расположения зон и разграфки листов карт масштаба 1 000 000 в системе координат СК-63 [12, 21].

Положение осевых меридианов считалось неизвестным для предприятий и организаций, использующих созданную в этой системе координат продукцию. Предполагалось, что это будет служить основанием для понижения уровня секретности картографических и геодезических материалов. Точность СК-63 удовлетворяла потребности при создании карт масштаба 1:10 000 и мельче.

Система координат 1963 года просуществовала более 20 лет, и в 1988 году Постановлением Правительства СССР эта система была упразднена [12, 21]. Тем не менее, за это время в системе координат СК-63 года было создано довольно большое количество топографических и специальных карт гражданского применения. Желание сохранить возможность использования в той или иной форме этих материалов и, в тоже время, уйти от режимных ограничений привело к идее создания так называемых «местных систем координат» по субъектам Российской Федерации [4, 12]. Фактически «местные системы координат» субъектов Российской Федерации являются региональными системами координат так как большинство из них включают

несколько 3-х градусных зон проекции Гаусса-Крюгера, а в Сибири и на Дальнем Востоке несколько 6-ти градусных зон. Тем не менее, они формально соответствовали критерию площади, определенному Правилами установления местных систем координат 2007 г. [77]. В соответствии с Правилами [77] к местным системам координат были отнесены все системы координат, для ограниченных территорий, по своим размерам не превышающие территорию субъекта Российской Федерации (ранее в соответствии с действующими нормами размеры территорий местных систем координат не могли превышать 5 000 кв. км).

В историческом плане местные системы координат начали создаваться раньше региональных, государственных и тем более общеземных [12, 21]. В местных (условных) системах координат выполнялись съемки городов и крепостей в XVIII–XIX веках, например план губернского города Нижнего Новгорода 1848-1853 гг. на 6-ти листах - «ПЛАНЪ ГУБЕРНСКАГО ГОРОДА НИЖНЯГО-НОВГОРОДА НИЖЕГОРОДСКОЙ ГУБЕРНІИ. Снятъ Запаснымъ Землемѣромъ Медведевымъ и Класнымъ Топографомъ Лебедевымъ» [70].



Рис. 24. Лист 1 плана губернского города Нижнего Новгорода 1848-1853 гг. с координатной сеткой и масштабной линейкой [70]

Местные системы координат широко применялись для топографо-геодезического обеспечения городов и инженерных объектов. Основной целью сохранения и развития существующих местных систем координат, а также создания новых является стремление минимизировать на локальной территории разницу между измерениями на местности и на крупномасштабном плане.

Интенсивное развитие городов и необходимость топографо-геодезического обеспечения строящихся объектов обуславливали необходимость создания локальных геодезических построений и на их основе крупномасштабных топографических планов для локальных участков местности. По мере развития государственных геодезических сетей и создания государственных систем координат, все локальные сети были связаны с государственными. При этом выяснилось, что городские геодезические сети имели более высокую точность и лучшую внутреннюю согласованность.

Поэтому вопросы создания, реконструкции и развития городских геодезических сетей в научных работах и нормативно-технической литературе рассматривались отдельно от региональных и государственных геодезических построений. К моменту введения государственной системы координат в местных системах координат было создано большое количество крупномасштабных планов населенных пунктов и крупных инженерных объектов. В местных системах координат было составлено также значительное количество технической документации инженерной городской инфраструктуры и юридической документации, фиксирующей права на землю и недвижимость. Основной целью сохранения и развития существующих местных систем координат, а также создания новых является стремление минимизировать на локальной территории различия между измерениями на местности и на крупномасштабном плане или техническом чертеже.

Главным образом в силу этих причин местные системы координат существуют до настоящего времени даже в высокоразвитых зарубежных странах.

Именно из-за указанных причин к началу 50-х годов на территории СССР практически во всех крупных городах существовали местные системы координат, которые уточнялись при реконструкции и развитии городских геодезических сетей [12, 34, 35, 47, 53, 80, 85].

Еще одно оригинальное применение местных систем координат приведено в справочнике «Авиационная радионавигация» [33]. Местные системы координат применяют при определении навигационных элементов с помощью радионавигационных устройств (РНУ) малой и средней дальности. В горизонтальной сферической системе начало координат может совмещаться с радионавигационной точкой (РНТ). Поверхность Земли считается горизонтальной (что возможно при удалениях летательного аппарата (ЛА) от РНТ до 1000 км) и принимается за основную плоскость отсчета. Одну из осей системы совмещают с северным направлением S меридиана, проходящего через РНТ. Положение ЛА определяется дальностью D , азимутом A и углом возвышения (или высотой H). При измерениях скорости и угловых координат бортовыми РНУ используется связанная с ЛА система координат. Начало системы находится в центре масс ЛА. Ось X_c совмещается с продольной осью ЛА, а ось — с поперечной осью. Углы и положение вектора скорости в этой системе отсчитываются обычно от оси X_c . Используется также не связанная с ЛА горизонтальная прямоугольная система координат, начало которой совпадает с центром масс ЛА, а оси X и Z лежат в плоскости горизонта. Система является опорной при определении угловых положений ЛА, т. е. углов крена, тангажа и курса. [33].

Последняя версия стандарта ИСО 19111:2019 «Географическая информация – привязка по координатам» [103] поддерживает достаточно разнообразные реализации понятия систем координат, причем как статических так и динамических. Система координат может:

- быть геодезической и применяться на национальной или региональной основе;

- применяться локально, например, для здания или строительной площадки;
- локально применяться к изображению или датчику изображения;
- быть привязанной к движущейся платформе, такой как автомобиль, корабль, самолет или космический корабль. Такая система координат может быть связана со второй системой координат, которая связана с землей посредством преобразования, включающего элемент времени и т.д. [103].

Региональные системы координат

«Губернские триангуляции» XVIII в.

Организованные в XVIII в. Военно-топографическим депо (ВТД), а затем Военно-топографическим отделом (ВТО) и Корпусом военных топографов (КВТ) так называемые «губернские триангуляции» [15] были созданы на территории таких губерний, как: Виленская, Курляндская, Гродненская, Минская, Петербургская, Новгородская, Псковская, Могилевская, Смоленская, Московская, Закавказская, Северо-Кавказская, Приволжская, Оренбургская, Уральская, Бессарабская, Крымская, а в последствии и Туркестанская. Из-за недостатка сил, средств и времени триангуляции регионов и отдельных губерний развивались независимо друг от друга, каждая от своих исходных начал. Исходными геодезическими датами служили, в лучшем случае, координаты астрономических обсерваторий, а чаще всего астрономические координаты рядовых пунктов, в качестве которых нередко выбирались колокольни. В Москве, например, была выбрана колокольня Ивана Великого в Кремле. Линейный масштаб задавался базисами. Ошибки в определениях астрономических координат, особенно долгот, ошибки измерения базисов и азимутальной ориентировки вызывали большие расхождения геодезических координат на стыках триангуляций. Расхождения нередко доходили до 200 - 300 метров. Для исключения разногласий в координатах при вычислениях использовался так называемый «согласующий эллипсоид». По непонятным причинам ВТД, а впоследствии ВТО не установили единого для всей страны земного эллипсоида. Математическая обработка геодезических измерений велась на эллипсоидах: Вальбека, Бесселя и Кларка. Это осложняло анализ причин разногласий в координатах смежных триангуляций, и приводило к разрывам в топографических съемках [15].

Местные системы координат субъектов Российской Федерации

Необходимость выполнения земельно-кадастровых работ с использованием довольно большого количества топографических и специальных карт гражданского применения, созданных за продолжительное время в системе координат СК-63 года и, в тоже время, стремление уйти от режимных ограничений привело к идее создания местных систем координат по субъектам Российской Федерации. Разработанные 29 НИИ Минобороны России по заказу Росземкадастра местные системы координат субъектов Российской Федерации основаны на СК-63. За основу каждой местной системы принят тот блок системы СК-63, который покрывает всю территорию субъекта Российской

Федерации или большую ее часть. При выборе исходных блоков СК-63 предпочтение отдавалось блокам с трехградусными зонами. Если всю территорию субъекта Российской Федерации не покрывает ни один блок с трехградусными зонами, то за исходный принят блок с шестиградусными зонами. Блоки с шестиградусными зонами являются исходными, в основном, в северных территориях России.

Каждая местная система координат субъекта Российской Федерации имеет название «Местная система координат-NN», где NN - код субъекта Российской Федерации.

В местных системах субъектов Российской Федерации применяется Балтийская система высот.

На территорию каждого субъекта Российской Федерации, кроме Москвы и Санкт-Петербурга, составлены каталоги координат и высот геодезических пунктов в местных системах и списки координат на каждый административный район. Основой для составления местных каталогов являлись изданные каталоги координат пунктов государственной геодезической сети 1-4 классов в системе СК-42.

Если на территорию субъекта Российской Федерации приходится две или более зон проекции Гаусса, то в каталогах списки координат и высот сгруппированы по зонам. Для каждой зоны составлена отдельная книга. В каждой книге кроме основного списка приведены списки координат и высот на полосы перекрытия с соседними зонами. Полоса перекрытия составляет 30' [4]. Общее описание местных систем координат субъектов Российской Федерации приведено в табл. 15.

Таблица 15

№ МСК	Название административно-территориального образования	Площадь, тыс. км2	Номера зон	L1, °'	Ширина зоны, °	№ МСК	Название административно-территориального образования	Площадь, тыс. км2	Номера зон	L1, °'	Ширина зоны, °
	г. Москва	1,0				44	Костромская область	60,1	1-3	41 33	3
	г. Санкт-Петербург	2,0				45	Курганская область	71,0	1-3	61 02	3
1	Республика Адыгея (Адыгея)	7,6	1-2	37 59	3	46	Курская область	29,8	1-2	35 29	3
2	Республика Башкортостан	143,6	1-2	55 02	3	47	Ленинградская область	83,9	1-3	27 57	3
3	Республика Бурятия	351,3	1-6	100 02	3	48	Липецкая область	24,1	1-2	38 29	3
4	Республика Алтай	92,6	1-2	85 28	3	49	Магаданская область	461,4	1-4	144 27	6
5	Республика Дагестан	50,3	4	37 59	3	50	Московская область	46,0	1-2	35 29	3
6	Республика Ингушетия	19,3	3	37 59	3	51	Мурманская область	144,9	1-2	32 02	6
7	Кабардино-Балкарская Республика	12,5	3	37 59	3	52	Нижегородская область	76,9	1-3	41 33	3
8	Республика Калмыкия	76,1	1-3	40 59	3	53	Новгородская область	55,3	1-3	29 29	3
9	Карачаево-Черкесская Республика	14,1	2	37 59	3	54	Новосибирская область	178,2	1-4	74 44	3
10	Республика Карелия	172,4	1-2	32 02	6	55	Омская область	139,7	1-2	71 44	3
11	Республика Коми	415,9	3-7	32 02	6	56	Оренбургская область	124,0	1-4	52 02	3
12	Республика Марий-Эл	23,2	1-2	47 33	3	57	Орловская область	24,7	1-2	35 29	3
13	Республика Мордовия	26,2	1	44 33	3	58	Пензенская область	43,2	1-2	43 03	3
14	Республика Саха (Якутия)	3103,2	1-10	108 27	6	59	Пермская область	160,6	1-3	53 33	3
15	Республика Северная Осетия – Алания	8,0	3	37 59	3	60	Псковская область	55,3	1-2	27 57	3
16	Республика Татарстан (Татарстан)	68,0	1-3	49 02	3	61	Ростовская область	100,8	1-3	37 59	3
17	Республика Тыва	170,5	1-3	87 31	6	62	Рязанская область	39,6	1-2	38 29	3
18	Удмуртская Республика	42,1	1-2	50 33	3	63	Самарская область	53,6	1-2	49 02	3
19	Республика Хакасия	61,9	2-3	81 31	6	64	Саратовская область	100,2	1-3	43 03	3
20	Чеченская Республика	19,3	3-4	37 59	3	65	Сахалинская область	87,1	1-5	142 43	3
21	Чувашская Республика - Чувашия	18,3	1	47 33	3	66	Свердловская область	194,8	1-2	60 03	6
22	Алтайский край	169,1	1-3	79 28	3	67	Смоленская область	49,8	1-2	32 29	3
23	Краснодарский край	76,0	1-2	37 59	3	68	Тамбовская область	34,3	1	41 29	3
24	Красноярский край	710,0	1-4	81 31	6	69	Тверская область	84,1	1-3	32 29	3
25	Приморский край	165,9	1-4	130 43	3	70	Томская область	316,9	1-6	74 44	3
26	Ставропольский край	66,5	1-2	40 59	3	71	Тульская область	25,7	1-2	35 29	3
27	Хабаровский край	788,6	1-6	130 43	3	72	Тюменская область	161,9	2-3	60 03	6
28	Амурская область	363,7	1-5	121 43	3	73	Ульяновская область	37,3	1-2	46 03	3
29	Архангельская область	410,7	2-4	32 02	6	74	Челябинская область	87,9	1-3	58 02	3
30	Астраханская область	44,1	1-2	46 03	3	75	Читинская область	412,5	1-5	109 02	3

№ МСК	Название административно-территориального образования	Площадь, тыс. км2	Номера зон	L1, °'	Ширина зоны, °	№ МСК	Название административно-территориального образования	Площадь, тыс. км2	Номера зон	L1, °'	Ширина зоны, °
31	Белгородская область	27,1	1-2	35 29	3	76	Ярославская область	36,4	1-2	38 33	3
32	Брянская область	34,9	1-2	32 29	3	79	Еврейская автономная область	36,0	1-2	130 43	3
33	Владимирская область	29,0	1-2	38 33	3	80	Агинский Бурятский автономный округ	19,0	2-3	109 02	3
34	Волгоградская область	113,9	1-2	43 03	3	81	Коми-Пермяцкий автономный округ	81	1-2	53 33	3
35	Вологодская область	145,7	1-5	35 33	3	82	Корякский автономный округ	301,5	1-3	158 28	6
36	Воронежская область	52,4	1-2	38 29	3	83	Ненецкий автономный округ	176,7	3-6	32 02	6
37	Ивановская область	21,8	1-2	38 33	3	84	Таймырский (Долгано-Ненецкий) автономный округ	862,1	1-6	81 31	6
38	Иркутская область	745,5	1-8	97 02	3	85	Усть-Ордынский Бурятский автономный округ	22,4	3-4	97 02	3
39	Калининградская область	15,1	1	21 27	3	86	Ханты-Мансийский автономный округ	523,1	1-5	60 03	6
40	Калужская область	29,9	1	35 29	3	87	Чукотский автономный округ	737,7	3-8	144 27	6
41	Камчатская область	170,8	1-2	158 28	6	88	Эвенкийский автономный округ	767,6	2-5	81 31	6
42	Кемеровская область	95,5	1-2	85 28	3	89	Ямало-Ненецкий автономный округ	750,3	2-5	60 03	6
43	Кировская область	120,8	1-3	47 33	3						

Первая попытка введения местных систем координат субъектов Российской Федерации была осуществлена в 2002 г. Приказ Росземкадастра «О введении местных систем координат» 2002 г. предписывал организовать обеспечение каталогами координат пунктов опорной межевой сети в местных системах координат территориальных органов Росземкадастра в соответствии с прилагаемым графиком, исключив передачу им ключей перехода от этих координат к государственным системам координат и подготовить в 3-месячный срок предложения о порядке и условиях передачи в Минобороны России и Роскартографию каталогов координат пунктов опорной межевой сети в местной системе координат и ключей перехода от этих координат к государственным системам координат.

В соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации «Об установлении единых государственных систем координат» 2000 г. государственными системами координат Российской Федерации являлись система геодезических координат 1995 года (СК-95) - для использования при осуществлении геодезических и картографических работ начиная с 1 июля 2002 г. и геоцентрическая система координат «Параметры Земли 1990 года» (ПЗ-90) - для использования в целях геодезического обеспечения орбитальных полетов и решения навигационных задач.

До завершения технических мероприятий, необходимых для перехода к использованию системы геодезических координат 1995 года (СК-95) было разрешено использовать единую систему геодезических координат (СК-42), введенную Постановлением Совета Министров СССР в 1946 г.

При реализации приказа Росземкадастра «О введении местных систем координат» 2002 г. каталоги координат и ключи перехода были образованы на основе каталогов координат пунктов государственной геодезической сети 1-4 классов в единой системе геодезических координат СК-42, а не в государственных системах координат Российской Федерации СК-95 и ПЗ-90.

Вторая, более успешная попытка введения местных систем координат субъектов Российской Федерации была осуществлена в 2007 г. Приказ Роснедвижимости «Об утверждении Положения о местных системах координат Роснедвижимости на субъекты Российской Федерации» 2007 г. предписывал организовать в установленном порядке передачу копии согласованного и утвержденного Положения о местных системах координат Роснедвижимости на субъекты Российской Федерации, параметров перехода (ключей) от местных систем координат к государственной системе координат и каталогов (списков) координат геодезических пунктов в местной системе координат в федеральный картографо-геодезический фонд.

К сожалению, было нарушено обязательное требование Правил установления местных систем координат [77] - обеспечение перехода от местной системы координат к государственной системе координат, который осуществляется с использованием параметров перехода (ключей). Параметры перехода (ключи) от местных систем координат к государственной системе координат и каталоги (списки) координат геодезических пунктов в местной системе координат,

переданные в федеральный картографо-геодезический фонд в соответствии с приказом Роснедвижимости «Об утверждении Положения о местных системах координат Роснедвижимости на субъекты Российской Федерации», по-прежнему были образованы на основе каталогов координат пунктов государственной геодезической сети 1-4 классов в единой системе геодезических координат СК-42, хотя организационно-технические мероприятия, необходимые для перехода к использованию государственной системы координат СК-95, определенные постановлением Правительства Российской Федерации «Об установлении единых государственных систем координат» 2000 г. были завершены еще в 2002 году.

Не является секретом, что взаимное положение пунктов ГГС в системах координат СК-42, СК-63, МСК-NN, характеризуется относительной погрешностью $1/40\,000 - 1/150\,000$ в зависимости от класса пунктов и региона. Взаимное положение пунктов ГГС в системе координат СК-95, характеризуется относительной погрешностью $1/300\,000$ для любого региона Российской Федерации. Используя современные двухчастотные и двухсистемные геодезические спутниковые приемники, позволяющие достичь относительных погрешностей $1/500\,000 - 1/1\,000\,000$, геодезисты-практики вынуждены были создавать локальные высокоточные спутниковые сети, как правило, на территории одного-двух административных районов, слабо связанные с пунктами ГГС (ОМС и другими специальными сетями). Такие сети, формально реализующие МСК-NN, обеспечивают необходимую и достаточную точность на ограниченной территории и значительные искажения на границах с аналогичными построениями в других административных районах. Была создана ситуация повторяющая события XIX века, когда было начато уравнивание разрозненных, так называемых «губернских триангуляций», покрывавших страну от западных границ до Урала, включая Кавказ, не связанных между собой и имеющих значительные искажения на их стыках.

Ситуация была исправлена только в 20-х годах, когда были созданы нелинейные матрицы корректирующих поправок к МСК-NN.

Бурная дискуссия о целесообразности применения «местных систем координат» субъектов Российской Федерации была развернута в геодезических изданиях как до их введения в 2000 – 2002 гг., так и после в 2009 – 2012 гг. [21]. Дискуссия продолжается и в настоящее время [54]. В конечном счете, победила точка зрения Росреестра, и «местные системы координат» субъектов Российской Федерации пытаются вытеснить из обихода местные системы координат населенных пунктов, невзирая на методические погрешности и реально недостаточную точность региональных систем координат для обеспечения инженерно-геодезических работ в городах и на инженерных объектах. К сожалению, сбылось пророческое предсказание, сделанное в 2001 году «Каждому ведомству свои геодезические сети? Каждой отрасли свою геодезию?» [21].

Местные (локальные) системы координат

Понятие местных систем координат при строительстве городов и инженерных объектов широко использовалось в 50-е – 70-е годы в таких известных монографиях по инженерной геодезии, как «Городская полигонометрия» 1952 г., «Практическое руководство по городской и инженерной полигонометрии», 1954 г., «Курс инженерной геодезии (геодезические работы при строительстве городов и

тоннелей)» 1974 г., «Справочное пособие по съемке городов» 1974 г., «Городская полигонометрия» 1979 г., в нормативных документах «Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5 000, 1:2 000» 1955 г., «Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000 и 1:500» 1973 г., «Инструкция по топографо-геодезическим работам при инженерных изысканиях для промышленного, сельскохозяйственного, городского и поселкового строительства. СН 212-73», в сборниках совещаний «Всесоюзное совещание по проблемам топографических съемок городов и подземных коммуникаций» 1974 г., «Проблемы математической обработки геодезических сетей» 1979 г., «Совершенствование программы и схемы построения опорных геодезических сетей на территории городов» 1979 г., в ряде статей в периодических изданиях.

Понятие местных систем координат, как особой геодезической категории, сформировалось в 80-х годах после широкомасштабного развертывания Главным управлением геодезии и картографии при Совете Министров СССР (ГУГК при СМ СССР) работ по топографической съемке населенных пунктов в масштабах 1:2 000 и 1:5 000. Практический опыт работ ряда аэрогеодезических предприятий ГУГК при СМ СССР по реализации комплексных объектов, включающих реконструкцию городских геодезических сетей, их привязку к государственной геодезической сети и переуравнивание, отражен в переработанном «Справочном пособии по съемке городов» 1986 г. [61], в таких нормативных документах, как «Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000 и 1:500» 1982 г. [55], «Руководство по математической обработке геодезических сетей и составлению каталогов координат и высот пунктов в городках и поселках городского типа» 1990 г. [80], а также в монографиях «Городская полигонометрия» 1986 г. [88], «Математическая обработка городских геодезических сетей» 1992 г. [47].

Исходя из своего назначения – геодезическое обеспечение работ в городах и на инженерных объектах, основной целью создания местных систем координат было максимальное совпадение измерений на местности и на топографических планах. Эта цель и была реализована практически во всех местных системах координат путем выбора начала местной системы координат (а особенно осевого меридиана) в центре территории города или инженерного объекта. При этом ориентировка местной системы координат, как правило, осуществлялась по направлению приближенному к местному меридиану, а не осевому меридиану ближайшей 3-х или 6-ти градусной зоны. Вторым условием был выбор поверхности относимости максимально приближенной к средней нормальной высоте территории.

Официальное определение термина «Местная система координат» в нормативных правовых актах Российской Федерации впервые дано в Правилах установления местных систем координат 2007 г. [77]. «Под местной системой координат понимается условная система координат, устанавливаемая в отношении ограниченной территории, не превышающей территорию субъекта Российской Федерации, начало отсчета координат и ориентировка осей координат которой смещены по отношению к началу отсчета координат и ориентировке осей координат единой государственной системы координат, используемой при осуществлении геодезических и картографических работ (далее - государственная система координат).

Местные системы координат устанавливаются для проведения геодезических и топографических работ при инженерных изысканиях, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений, межевании земель, ведении кадастров и осуществлении иных специальных работ.

Обязательным требованием при установлении местных систем координат является обеспечение возможности перехода от местной системы координат к государственной системе координат, который осуществляется с использованием параметров перехода (ключей).

Инициаторами установления местных систем координат могут являться федеральные органы исполнительной власти, исполнительные органы государственной власти субъектов Российской Федерации, органы местного самоуправления, иные субъекты отношений в области геодезической и картографической деятельности (далее - заказчики).

Местная система координат устанавливается на основании положения об этой системе, утверждаемого заказчиком по согласованию с Федеральным агентством геодезии и картографии (его территориальным органом)» [77].

Правила установления местных систем координат были отменены постановлением Правительства Российской Федерации в 2017 г. Утвержденный приказом Минэкономразвития России «Порядок установления местных систем координат» 2017 г. уже не содержал точного определения понятия «местные системы координат», хотя практически дублировал описание всех характерных особенностей местных систем координат. «Местная система координат устанавливается в отношении ограниченной территории, не превышающей территорию субъекта Российской Федерации.

Начало отсчета координат, направления осей координат местной системы координат не должны совпадать с началом отсчета координат, направлениями осей координат государственной системы координат.

При проектировании, строительстве, реконструкции и содержании линейных объектов (линии электропередачи, линии связи, в том числе линейно-кабельные сооружения, трубопроводы, автомобильные дороги, железнодорожные линии и другие подобные сооружения) местные системы координат устанавливаются на полосу отвода линейных объектов и их охранные зоны по всей их протяженности без ограничения территории». Приказ Минэкономразвития России «Порядок установления местных систем координат» 2017 г. неоправданно расширял сферу применения местных систем координат, куда были включены не только обеспечение проведения геодезических и картографических работ «при осуществлении градостроительной и кадастровой деятельности, землеустройства, недропользования, иной деятельности», но также «при установлении, изменении и уточнении прохождения Государственной границы Российской Федерации (включая ее делимитацию, демаркацию), при установлении, изменении границ между субъектами Российской Федерации, границ муниципальных образований». Правда и этот нормативный документ отменен постановлением Правительства Российской Федерации с 1 января 2021 г. В настоящее время порядок установления местных систем координат регламентируется приказом Росреестра «Об утверждении Порядка установления местных систем координат» 2020 г. [25]. Новый порядок во

многим дублирует приказ Минэкономразвития России «Порядок установления местных систем координат» 2017 г., несколько сократил сферу применения местных систем координат исключив обеспечение проведения геодезических и картографических работ при установлении, изменении и уточнении прохождения Государственной границы Российской Федерации (включая ее делимитацию, демаркацию), но сохранив обеспечение проведения геодезических и картографических работ при установлении, изменении границ между субъектами Российской Федерации, границ муниципальных образований. Если с муниципальными границами более менее понятно, то установление местной системы координат для обеспечения проведения геодезических и картографических работ при установлении, изменении границ между субъектами Российской Федерации при наличии в каждом субъекте своей местной системы координат выходит за рамки понимания.

Другим недостаточно обоснованным положением действующего Порядка установления местных систем координат 2020 г. [25] является положение о том, что при определении параметров перехода вычисляются сдвиг начала отсчета системы координат, разворот осей системы координат, масштабный коэффициент, то есть рекомендованы только упрощенные формулы преобразования координат. Тогда, как уже в 80-90-е годы для значительно меньших территорий были рекомендованы точные и, как исключение, приближенные формулы преобразования координат и соответственно точные и приближенные параметры перехода [47, 80].

Вопросы создания и функционирования местных систем координат в научных работах и нормативно-технической литературе традиционно рассматривались в комплексе с вопросами создания, реконструкции и развития городских геодезических сетей, т.е. для ограниченных территорий, на которых, во-первых, важным требованием было минимальное расхождение между измерениями линий на местности и по координатам в местной системе координат (на крупномасштабном плане), а во-вторых - требование минимальных искажений, обусловленных редукцией всех измерений на плоскость. Первое требование достигалось за счет использования поверхности относимости, не совпадающей с поверхностью эллипсоида государственной системы координат, а второе – за счет использования проекции Гаусса-Крюгера с осевым меридианом в центре населенного пункта.

Таким образом, местные системы координат представляли собой плоские прямоугольные геодезические координаты на ограниченной территории.

Косвенное определение местных систем координат было приведено в Руководстве по математической обработке геодезических сетей и составлению каталогов координат и высот пунктов в городах и поселках городского типа [80]. В Руководстве была приведена форма Справки о местной системе координат, а в Пояснении к составлению справки о местной системе координат было приведено следующее определение.

Местная система координат (МСК) задается следующими параметрами:

1. Координаты X_0 , Y_0 местного начала в Системе 1942 г. в проекции Гаусса, в 6° зоне.
2. Координаты x_0 , y_0 местного начала координат местной системы.

3. Долгота L_0 осевого меридиана местной системы.

4. Угол поворота γ осей координат местной системы в точке местного начала координат.

5. Масштаб МСК относительно Системы 1942 г. в точке местного начала координат.

6. Высота поверхности (плоскости) относимости H_0 к которой отнесены измерения и координаты в местной системе.

7. Референц-эллипсоид, к которому отнесены измерения в МСК (Красовского - в Системе 1942 г., Бесселя - в Системе 1932 г.). Название референц-эллипсоида можно не помещать. Достаточно указать год Системы.

8. Формулы преобразования.

Все эти параметры, в том числе долготу L_0 осевого меридиана, необходимо знать для надлежащей математической обработки городских геодезических сетей.

9. Система высот (Балтийская, Балтийская 1977 г. или местная).

Вопросы уточнения местных систем координат изложены в Руководстве по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS [81]. Процедура уточнения параметров местной системы координат предусмотрена Технологической схемой обработки городских геодезических сетей. При установлении окончательных параметров местной системы координат составляется схема деформации старой сети (изолиний расхождения координат) и справка о местной системе координат с приведением уточненных параметров [81]:

1. Координаты X_0, Y_0 начала местной системы координат в государственной системе координат в проекции Гаусса-Крюгера, в 6° зоне.

2. Координаты x_0, y_0 начала местной системы координат в местной системе координат.

3. Долгота L_0 осевого меридиана, проходящего через начало местной системы координат.

4. Угол поворота осей координат местной системы в точке местного начала координат.

5. Высота поверхности (плоскости) относимости H_0 , к которой отнесены измерения и координаты в местной системе.

6. Система высот.

В соответствии с Порядком установления местных систем координат 2020 г. технический отчет об установлении местных систем координат согласовывается Федеральной службой государственной регистрации, кадастра и картографии при установлении местной системы координат на всю территорию субъекта Российской Федерации, а также на полосы отвода и на охранные зоны линейных объектов в отношении территории, выходящей за территорию одного субъекта Российской Федерации. В остальных случаях технический отчет согласовывается территориальным органом Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии. Этот же порядок согласования предусмотрен действующим Порядком установления местных систем координат» 2020 г. [25].

Основной причиной необходимости периодической реконструкции городских геодезических сетей является то, что территория города – это территория

интенсивной хозяйственной деятельности, сопровождающейся не только все возрастающими потребностями в геодезических данных, но и регулярным изменением положения геодезических пунктов и даже их уничтожением вследствие природных, техногенных и антропогенных воздействий.

Широкое распространение новых технических средств - спутниковых геодезических приемников, электронных тахеометров привело к тому, что на территориях многих городов стали создаваться различными организациями независимые геодезические сети, которые в целом ряде случаев базировались на различных, слабо согласованных друг с другом координатных системах, а также на различных исходных высотных отметках. Сложившаяся ситуация потребовала существенного пересмотра традиционных подходов к проблеме создания и реконструкции городских геодезических сетей.

Современные спутниковые методы открыли возможность объединения различных геодезических построений и создания единой городской геодезической сети, удовлетворяющей запросам различных заинтересованных организаций.

При создании и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых приемников необходимо учитывать следующие особенности:

- наличие практически во всех городах локальной системы координат, созданной с целью уменьшения расхождений при измерениях на физической поверхности и на крупномасштабных планах;
- необходимость сохранения городской системы координат при выполнении реконструкции, переуравнивания городских геодезических сетей и других работах с целью сохранения большого количества точных (5-10 см) топографических, инженерно-геодезических и кадастровых материалов;
- наличие в крупных городах специальных геодезических сетей, предназначенных для строительства метро и редуцированных, как правило, на свою поверхность относимости;
- наличие в ряде городов специальных геодезических сетей, точность которых отличается от точности городских геодезических сетей.

В соответствии с Программой разработки новых и переработки ранее утвержденных нормативно-технических актов и нормативных документов по производству на период 1999 - 2000 годы, в 2000 г. был разработан проект «Руководства по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS», который был утвержден в 2003 г. в качестве отраслевого нормативного акта [81].

В Руководстве изложены общие сведения о глобальных навигационных спутниковых системах (ГНСС) ГЛОНАСС и GPS, приведена классификация спутниковых городских геодезических сетей, освещены принципы построения и этапы создания и реконструкции городских геодезических сетей с использованием современных технологий.

Идеи и технологии, заложенные в Руководство обсуждались в 1995 г. на международной конференции «Сферы применения GPS-технологий», где эта проблема поднималась в нескольких докладах, в 1999 г. на международной конференции «220 лет геодезическому образованию в России», где была

организована работа круглого стола «GPS-технологии при развитии городских геодезических сетей».

За прошедшие 20 лет требования к точности городских геодезических сетей, технологии их реконструкции, изложенные в Руководстве [81], устарели и уже не в полной мере соответствуют современным техническим возможностям. Очевидно, что настало время пересмотра этого нормативного документа с учетом новых технических и технологических возможностей.

Точность плоских местных систем координат на территории размером более 20 км вдоль параллели не удовлетворяют требованиям, предъявляемым при инженерных изысканиях, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений, осуществлении иных специальных работ [47, 80]. Не является выходом переход на эллипсоидальные координаты, так как уже упоминалась значительная разница параметров современных эллипсоидов. Первые предложения по использованию пространственных (геоцентрических) местных систем координат были сделаны в работах Г. В. Демьянова [12, 52]. Эти предложения резко критиковались в рамках упомянутой дискуссии в работах [4, 40], но в итоге были реализованы в системе координат г. Москвы [37, 82].

В 2012 году на 8-й Международной научно-практической конференции «Геопространственные технологии и сферы их применения» в рамках 9-й Международной промышленной выставки GEOFORM+2012, было проведено секционное заседание «Опыт и проблемы создания сетей ГНСС в России на территории городов и регионов» и семинар «Применение Базовой региональной системы навигационно-геодезического обеспечения города Москвы на основе ГЛОНАСС/GPS (СНГО Москвы)», на которых рассматривались вопросы точности геопространственных данных в различных системах координат, реализации пространственных (геоцентрических) местных систем координат, сетей постояннодействующих референчных станций точного позиционирования [21].

Исходя из потребностей, местные системы координат городов и геодезические сети, на которых они не только имеют право на жизнь, но по-прежнему востребованы и должны развиваться.

Как уже было сказано выше наиболее важным требованием для местных систем координат городов и геодезических сетей, на которых они основаны было и остается минимальное расхождение между измерениями линий на местности и по координатам в местной системе координат (на крупномасштабном плане).

Погрешности (расхождения между измерениями линий на местности и по координатам или на крупномасштабном плане) в местных системах координат можно разделить на следующие основные группы:

- погрешности, вызванные неточностью исходных данных;
- погрешности, вызванные искажениями картографической проекции (для проекции Гаусса-Крюгера – связанные с удалением от осевого меридиана);
- погрешности, связанные с разностью высот места измерений и поверхности относимости;
- погрешности, связанные с немотивированным использованием масштабного коэффициента в координатных преобразованиях.

В таблице 16 приведены ориентировочные значения погрешностей для линии 1 000 м.

Таблица 16

Источник погрешностей	СКП, см
Неточность исходных данных: - для СК-42, СК-63, МСК-NN; - для СК-95; - для пространственной местной системы координат (ПМСК)	20-100 3 0,3
Удаление от осевого меридиана для проекции Гаусса-Крюгера	0-50
Разность высот места измерений и поверхности относимости	0-10
Немотивированное использование масштабного коэффициента в координатных преобразованиях	20-200

Неполный учет этих погрешностей не позволяет выполнить точностные требования нормативно-технических документов по выполнению топографических, инженерно-геодезических и кадастровых работ.

На рис. 25 представлены зоны влияния на площади участков при удалении от осевого меридиана проекции Гаусса-Крюгера для местной системы координат Нижегородской области МСК-52 [54].

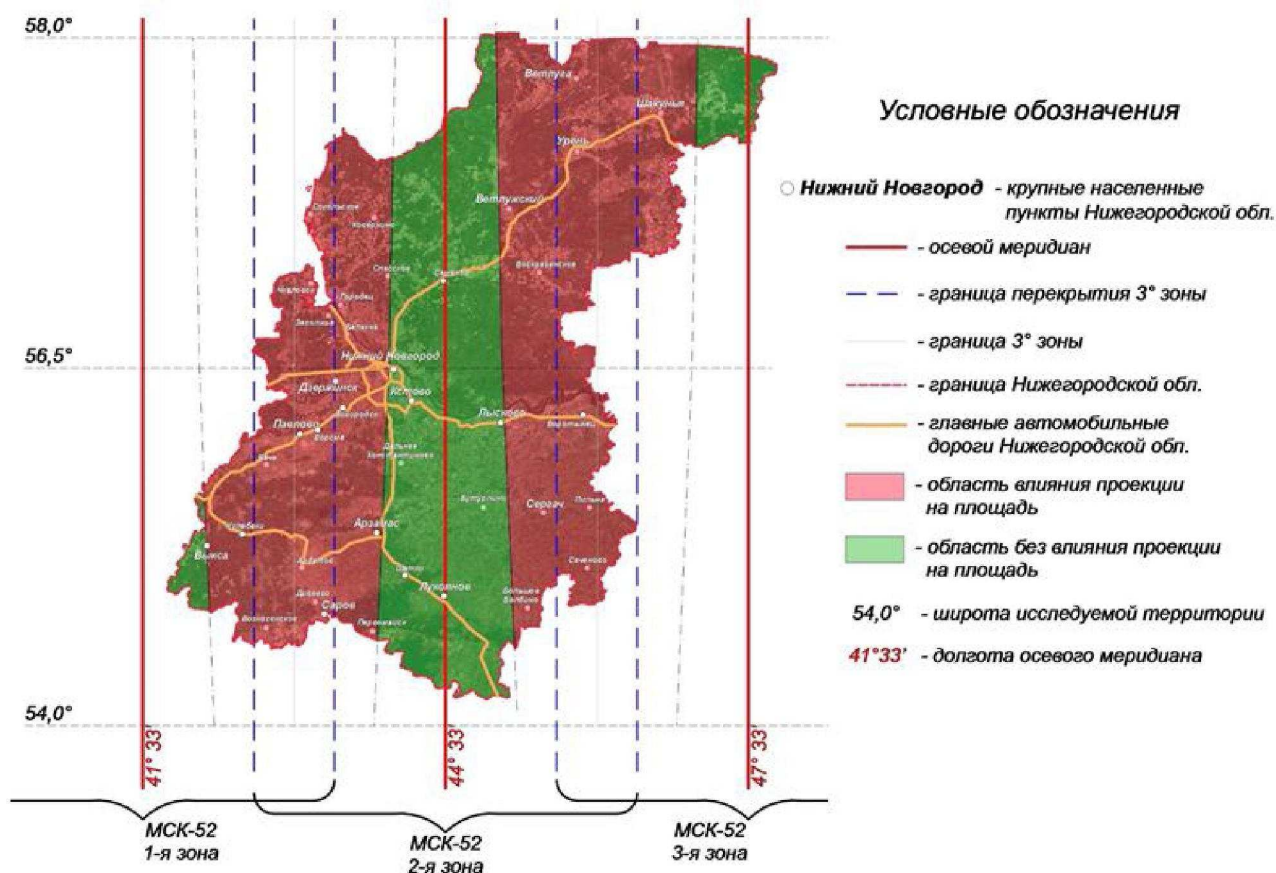


Рис. 25. Зоны влияния на площади участков при удалении от осевого меридиана проекции Гаусса-Крюгера для местной системы координат Нижегородской области МСК-52 [54]

В связи со снятием режимных ограничений по точности координат географических объектов в государственной системе координат неоднократно предлагалось все результаты геодезических и картографических работ для создания Государственного земельного кадастра, Государственного кадастра объектов недвижимости (кроме сведений, позволяющих вычислить или уточнить координаты пунктов государственных или специальных геодезических сетей в зонах режимных ограничений) оформлять в государственной системе координат для внеселитебных территорий. На территории населенных пунктов результаты работ оформлять в более точных местных системах координат населенных пунктов. Границы населенных пунктов оформлять в двух системах координат: в государственной системе координат и в местной системе координат населенного пункта.

Для практической реализации предлагалось просить Правительство Российской Федерации дать поручение Минэкономразвития, Минобороны и Минтрансу с участием Минрегиона проработать вопрос использования единой государственной системы координат для геодезических и картографических работ, включая работы по делимитации и демаркации административных границ, работ по наземной навигации, создания и ведения Государственного кадастра объектов недвижимости.

Кроме того, необходимо осуществить реконструкцию городских геодезических сетей на основе современных спутниковых технологий ГЛОНАСС/GPS с целью повышения точности, связи с государственной геодезической сетью, получения уточненных параметров связи с государственной геодезической системой координат и приведения в соответствие с нормами плотности размещения пунктов на территории населенных пунктов.

Нормы плотности государственных нивелирных, геодезических и гравиметрических сетей на территории Российской Федерации [66, 75], устанавливали дифференцированные требования к плотности пунктов для трех категорий территорий Российской Федерации:

- городские и сельские поселения, другие муниципальные образования;
- иные экономически освоенные территории, территории повышенного риска возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, а также приграничные территории;
- районы Крайнего Севера и приравненные к ним районы.

Действующие в настоящее время Нормы плотности размещения на территории Российской Федерации геодезических, нивелирных и гравиметрических пунктов [18] устанавливают обобщенные (и существенно сниженные) единые требования для всей территории страны, не выделяя территорий населенных пунктов.

Следует отметить, что в настоящее время отсутствуют действующие нормативно-технические документы, регламентирующие плотность пунктов на территории населенных пунктов. Если в Инструкции по топографической съемке 1982 г. [55] и Инструкции по топографо-геодезическим работам при инженерных изысканиях для промышленного, сельскохозяйственного, городского и поселкового строительства [56] были установлены нормы плотности геодезических пунктов не менее 4 пунктов на 1 кв. км на застроенных территориях и 1 пункт на 1 кв. км на

незастроенных территориях, то уже в СНиП 11-02-96 эти требования отсутствуют, а в действующих СП 47.13330.2016 применена обтекаемая формулировка «геодезическая основа сгущается до плотности, необходимой и достаточной для выполнения инженерных изысканий, установкой на местности геодезических пунктов временного, долговременного или постоянного закрепления» без указания конкретных значений.