

УДК 528.236

DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-5-27-39

ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ В ГОСУДАРСТВЕННУЮ ГЕОДЕЗИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ КООРДИНАТ 2011 ГОДА В ПО ГИС

Владимир Иванович Обиденко

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, проректор по СПО – директор НТГиК, e-mail: ovi62@yandex.ru

Сергей Романович Горобцов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, e-mail: sergey@gorobtsov.com

В статье описаны процедуры осуществления координатных преобразований в ПО ГИС (на примере MapInfo Professional) между существующими в нашей стране системами координат (СК-42, СК-95, МСК, созданные на их основе) и ГСК-2011, позволяющие самостоятельно научиться вычислять параметры преобразования Гельмерта между этими системами координат с использованием ГОСТ 32453–2017. Отмечается проблема точности преобразования по глобальным параметрам, установленным ГОСТ 32453–2017, и вызванная этим необходимость определения локальных версий этих параметров, приводящая к созданию несогласованных наборов пространственных данных в ГСК-2011, дополнительных затрат и усложнению работы потребителей. С целью решения данной проблемы предлагается рассматривать постановку задачи перехода к выполнению кадастровых работ от систем координат, основанных на СК-42, к МСК, созданных на ГСК-2011, как актуальную проблему совершенствования геодезического обеспечения страны.

Ключевые слова: государственная геодезическая система координат 2011 года, ГСК-2011, программное обеспечение геоинформационных систем, ПО ГИС, пространственные данные, системы координат, координатные преобразования, датум

Введение

С 01.01.2021 геодезическая система координат 2011 года (ГСК-2011) является единственной государственной системой координат, в которой, в соответствии с постановлением Правительства [1], выполняются геодезические и картографические работы. Очевидно, что главной целью отмены ранее действовавших систем координат 1942 года (СК-42) [2], 1995 года (СК-95) [3] и введения государственной системы координат ГСК-2011 является создание в Российской Федерации единого высокоточного однородного координатного пространства и обеспечение совместности всех пространственных данных, создаваемых на территории страны.

Однако, к сожалению, установление ГСК-2011 только создает необходимые предпосылки для создания в стране согласованных в необходимой для всех сфер деятельности сте-

пенью точности пространственных данных. Достижение целей установления ГСК-2011 гарантированно обеспечивается только решением следующих основных задач ее введения в действие: построение соответствующего уровня точности, однородности (гомогенности) и плотности координатной основы ГСК-2011; разработка точных методик преобразования в ГСК-2011 пространственных данных, ранее созданных в СК-42, СК-95 и местных системах координат, сформированных на их основе; создание местных систем координат, базирующихся на ГСК-2011; методическое и технологическое сопровождение процесса перехода на выполнение работ в ГСК-2011 со стороны регулятора геопространственной отрасли.

Проблемам геодезического обеспечения нашей страны в части создания координатной основы государственной системы координат, созданию местных систем координат и их ка-

чества посвящено множество публикаций российских ученых [4–14]. Целью настоящей работы является исследование некоторых из вышеуказанных проблем практического применения ГСК-2011, сдерживающих процесс построения единого высокоточного гомогенного координатного пространства на территории страны и создания пространственных данных, согласованных в необходимой степени точности.

Проблемы применения ГСК-2011 в ПО ГИС

С января 2021 г. в СГУГиТ, имеющий широкие партнерские связи с предприятиями реального сектора экономики, стали активно обращаться представители производственных компаний нефтегазового сектора с просьбой помочь в решении методических вопросов и практических задач выполнения работ в ГСК-2011, в том числе преобразования пространственных данных между СК-42, СК-95, местными системами координат, созданными на их основе и ГСК-2011 с использованием различного программного обеспечения геоинформационных систем (ПО ГИС).

Проблемы в данной сфере деятельности возникли в связи с тем, что с января 2021 г., когда выполнение работ в СК42/СК-95 стало невозможным, появились сложности сдачи документов (по горным отводам, оформлению лицензионных участков и т. д.) в контрольно-разрешительные и надзорные органы (Министерство природных ресурсов, Ростехнадзор, Роснедра и т. д.). Даже при том, что обе стороны процесса для работы с пространственными данными (каталоги координат, карты, схемы и т. д.) использовали последние версии идентичного программного обеспечения (в нижеприведенных случаях это было ПО MapInfo Professional версии 19), поддерживающие работу в ГСК-2011, имели место случаи существенного (до десятков метров) несовпадения координат объектов в ГСК-2011 у сдающей и принимающей инстанции.

По тем случаям, в которых СГУГиТ был привлечен в качестве арбитра для разрешения технологических проблем, стало очевидным,

что первопричиной их возникновения стала слабая информированность практикующего геодезического сообщества о произошедших кардинальных изменениях в геодезическом обеспечении страны, вызванных введением ГСК-2011.

Тот факт, что в ГСК-2011 используется собственный набор исходных геодезических дат (свой эллипсоид ГСК-2011 с его параметрами и ориентировкой в пространстве – в терминологии ПО ГИС это «датум»), требует от пользователей четкого понимания того, что для СК-42 и СК-95 также имеются собственные (не совпадающие с ГСК-2011) датумы. И взаимные преобразования между системами координат СК-42, СК-95, производных от них МСК и ГСК-2011 возможны только при условии корректного задания и правильного использования в этих преобразованиях таких датумов.

То, что все системы координат, применявшиеся в Российской Федерации до ввода ГСК-2011 (СК-42, СК-95, МСК на их основе), были привязаны к единой поверхности относимости (эллипсоиду Красовского), избавляло пользователей от необходимости задания датумов в ПО ГИС для этих СК. В таких случаях в ПО ГИС задавались только параметры проекции с поверхности эллипсоида Красовского на плоскость в проекции (в большинстве случаев это проекция Гаусса-Крюгера). Например, в ПО ГИС MapInfo Professional это была привычная всем проекция «Гаусса – Крюгера (Пулково 1942)», корректно реализовывавшая этот алгоритм преобразования с эллипсоида Красовского на плоскость проекции Гаусса-Крюгера во всех тех случаях, когда не требовалось преобразований в другую СК, имеющую собственный датум. И если такая необходимость теперь, с появлением ГСК-2011, возникла, то нужно четко осознавать, что датум традиционно использовавшейся в нашей стране системы координат «Проекция “Гаусса – Крюгера (Пулково 1942)”» для здания СК-42/СК-95 в ПО MapInfo фактически определяет параметры ориентировки эллипсоида Красовского относительно эллипсоида WGS84 (не относительно эллипсоида ГСК-2011) на территории Германии (а не на территории России). Таким образом присвоение в ПО MapInfo

карте, созданной в СК-42 (СК-95), этой проекции с дальнейшей попыткой преобразовать ее в ГСК-2011 по параметрам ГОСТ 32453–2017 [15] (используя имеющуюся в стандартной поставке ПО MapInfo, поддерживающей ГСК-2011, СК «Проекция Гаусса – Крюгера (ГСК-2011 ГОСТ 32453–2017)») приведет к отрицательному результату, который будет отличаться от истинного на несколько десятков метров.

Для правильного преобразования из СК-42/СК-95 в ГСК-2011 нужно корректно выбирать исходную СК, которые в версиях ПО MapInfo, поддерживающих ГСК-2011, именуется соответственно «Проекция Гаусса – Крюгера (Пулково 1942 ГОСТ 32453–2017)», «Проекция Гаусса-Крюгера (Пулково 1995 ГОСТ 32453–2017)». При этом проекции для СК-95 в стандартной поставке ПО MapInfo отсутствуют, и пользователь должен уметь их сформировать самостоятельно.

Приведенный пример методических неточностей в применении систем координат в ПО ГИС, поддерживающих возможность преобразования в ГСК-2011, показывает, что в геодезическом сообществе еще только формируется менталитет работы с привычными системами координат (СК-42, СК-95, МСК на их основе) в их новом, пространственном формате. Этот формат требует даже для местной системы координат корректное задание датума, правильное определение референцной системы координат в соответствующем ПО ГИС (в ПО MapInfo это СК WGS-84) и исходя из этого – точного задания значений семипараметрического преобразования Гельмерта от исходной СК к референцной СК.

Задание в ПО ГИС ГСК-2011 с помощью глобальных датумов

Для корректного осуществления координатных преобразований важно понимать, как в конкретном ПО ГИС реализован переход от исходной (например, СК-42) к целевой (например, ГСК-2011) системе координат. Так в некоторых ПО ГИС и САПР (например, в MapInfo, Civil 3D) отсутствует возможность осуществить требуемое пользователю преобразование координат между исходной и целевой СК

напрямую. Эта процедура в таких ПО ГИС может быть реализована только через промежуточную (референцную) СК, в качестве которой обычно выступает СК WGS-84, рис. 1.

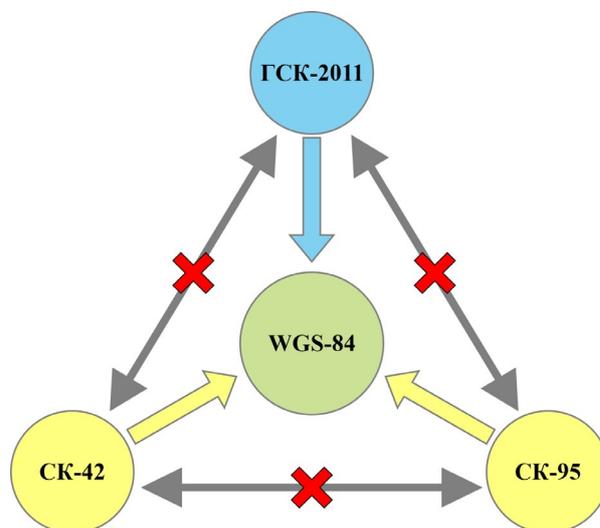


Рис. 1. Схема координатных преобразований между СК в ПО ГИС MapInfo Professional

При этом в ПО ГИС критически важно, чтобы параметры Гельмерта в датуме задавали преобразование строго в определенном направлении по отношению к референцной СК (в ПО MapInfo, Civil 3D это направление к СК WGS-84, см. рис. 1). И это правило касается как исходной, так и целевой системы координат. То есть если датумы систем координат СК-42, СК-95, МСК на их основе, ГСК-2011 предполагается создавать для взаимного преобразования (прямо и обратно) в этих ПО ГИС, то 7 параметров Гельмерта в датумах всех этих СК должны задавать направление преобразования от «локальной СК» (так в этих ПО ГИС обычно называются все СК, кроме WGS-84) к WGS-84. Таким образом, например, процесс преобразования из СК-42 в ГСК-2011 в этих ПО осуществляется в два этапа по цепочке СК-42 → WGS-84 → ГСК-2011, при этом на этапе перехода WGS-84 → ГСК-2011 параметры датума ГСК-2011 (задающие направление пересчета от ГСК-2011 к WGS-84) будут взяты с обратным знаком.

Важно также отметить, что задаваемые ГОСТ 32453–2017 параметры преобразования используют СК ПЗ-90.11 в качестве референцной. При этом связь с СК WGS-84 в них

также задана через СК ПЗ-90.11. В этой связи пользователям ПО ГИС, предполагающим осуществлять координатные преобразования в этом ПО, необходимо уметь правильно вычислять 7 параметров Гельмерта преобразования от СК-42, СК-95, ГСК-2011 к СК WGS-84 и корректно вводить их в соответствующее ПО ГИС.

Безусловно, поставщики ПО ГИС в своих файлах настройки систем координат стараются задавать параметры связи СК-42, СК-95, ГСК-2011 с СК WGS-84, установленные ГОСТ 32453–2017 и позволяющие осуществлять преобразования между ними (например, в стандартной поставке ПО MapInfo Professional версии 19.3 имеются датумы для СК-42 и ГСК-2011). Однако пользователи должны уметь самостоятельно вычислять параметры датума и корректно формировать файлы систем координат для соответствующих ПО ГИС, как минимум, для решения следующих задач: формирования датумов для местных систем координат; формирования датумов для ПО, позволяющих осуществлять прямое преобразование (без референцной СК); формирования датумов для всех систем координат по параметрам, не совпадающих с установленными ГОСТ 32453–2017. Рассмотрим эти случаи подробнее.

Параметры связи местных систем координат (МСК) и государственных систем координат (ГСК) относятся к сведениям закрытого характера, поэтому поставщики ПО ГИС не могут включать в стандартную поставку ПО файлы СК, содержащие эти сведения. Однако, как было сказано ранее, преобразование между МСК и ГСК-2011 возможно только в формате представления всех участвующих в процессе СК как пространственных систем координат и полноценного задания датума и для МСК. И пользователь должен уметь корректно сформировать датум МСК, включающий в себя 7 параметров Гельмерта (фактически они идентичны параметрам Гельмерта связи родительской ГСК и референцной СК) и параметры проекции МСК.

Существует класс ПО (ПО ГИС «Панорама», GeoMedia Professional, ArcGIS; специальное ПО, например, CooTransf [16] и т. д.), которое позволяет осуществлять требуемые

пользователю координатные преобразования между исходной и целевой СК напрямую, без использования референцной СК, или, фактически, в качестве таковой выступает целевая система координат. Для этих случаев пользователь также должен уметь формировать датумы исходной и целевой СК, так как в ГОСТ 32453–2017 не приводятся Гельмертовы параметры этих датумов непосредственно, а их необходимо вычислить самостоятельно.

Еще более распространенным представляется круг задач, требующих умения самостоятельно вычислять 7 параметров преобразования Гельмерта между СК-42, СК-95, ГСК-2011, связанных с созданием локальных датумов. Класс пространственных данных, которые могут быть корректно преобразованы из исходной в целевую СК с использованием параметров, установленных ГОСТ 32453–2017, зависит от точности этих пространственных данных. Очевидно, что нецелесообразно преобразовывать данные, имеющие сантиметровую точность, из СК-42 в ГСК-2011 по параметрам ГОСТ 32453–2017, если при этом не ставится цель загрузить их в целевой СК до точности параметров ГОСТ. Однако точность параметров преобразования между соответствующими СК, установленных в ГОСТ 32453–2017, требуют оценки, так как непосредственно в ГОСТ их точность не указана. Сделаем такую оценку точности параметров преобразования между СК-42 и ГСК-2011, СК-95 и ГСК-2011.

Очевидно, что точность параметров преобразования между вышеуказанными СК и ГСК-2011 в преобладающей степени зависит от точности СК-42/СК-95.

В Руководстве пользователя по выполнению работ в системе координат 1995 года степень деформации СК-95 оценивается так: «средняя квадратическая ошибка передачи координат от исходного пункта на пункты на краях сети по каждой координате составляет 1 м [17].

В этом же документе дается следующая оценка точности СК-42: «В целом по сети деформации СК-42 могут быть оценены величинами средних квадратических ошибок координат, равными примерно 3,5–4 м. Именно с такой точностью (СКО) в среднем могут быть преобразованы координаты СК-42 в СК-95

при использовании единого для всей ГГС набора параметров ортогонального преобразования. При этом абсолютные величины ошибок могут достигать 10 и более метров» [17].

Таким образом, исходя из оценок величин деформации СК-42 и СК-95, приведенных в [17], максимальные погрешности параметров преобразования в ГСК-2011 из СК-42/СК-95 могут достигать величин порядка ± 10 м и ± 1 м соответственно.

Очевидно, что такая точность может быть приемлема для преобразования в ГСК-2011 топографических карт масштаба 1 : 25 000 и мельче (из СК-42) и топографических карт и планов масштаба 1 : 5 000 и мельче (из СК-95). Однако преобразование пространственных данных между СК-42/СК-95 и ГСК-2011 с более высокой точностью по глобальным параметрам преобразования, установленным ГОСТ 32453–2017, невозможно. Для повышения точности такого преобразования потребители вынуждены прибегать к определению локальных параметров преобразования, точность которых зависит от размеров территории, в отношении которой они определяются, степени и характера деформации СК-42/СК-95 на этой территории.

И если такое преобразование предполагается осуществлять в ПО ГИС, то здесь будут

востребованы навыки вычисления локальных параметров преобразования Гельмерта между СК-42, СК-95 и ГСК-2011 и создания с их использованием локальных датумов для соответствующего ПО.

Рассмотрим процесс вычисления параметров Гельмертова преобразования детальнее. Схема вычисления глобальных параметров преобразования Гельмерта между СК-42 и ГСК-2011 для ПО ГИС (на примере ПО MapInfo Professional) с использованием их соответствующих значений, задаваемых в ГОСТ 32453–2017, приведена на рис. 2. На этой схеме буквенно-цифровой аббревиатурой А1, А5, Г1 обозначены параметры преобразования между соответствующими системами координат в соответствии с тем, как они обозначены в ГОСТ 32453–2017.

Из схемы видно, что для вычисления 7 параметров Гельмерта датума требуемой СК необходимо соответствующие параметры, указанные в ГОСТ 32453–2017 с использованием СК ПЗ-90.11 как референцной СК, сложить. При этом знак в соответствующих параметрах А1, А5, Г1 следует брать в зависимости от того, совпадает ли направление преобразования по пути от локальной СК к референцной СК (СК WGS-84) с направлением преобразования, задаваемым в ГОСТ 32453–2017 этими параметрами, или нет.

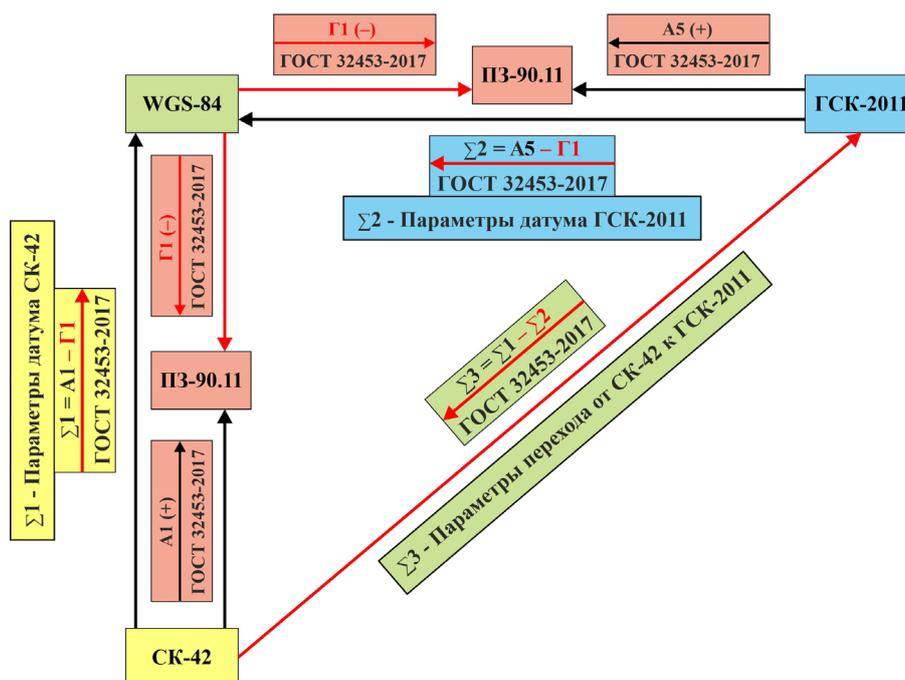


Рис. 2. Схема вычисления глобальных параметров датума СК-42 и ГСК-2011 в ПО ГИС MapInfo Professional

Так, при вычислении параметров преобразования Гельмерта от СК-42 к СК WGS-84 (см. рис. 2) параметры $A1$ берутся с положительным знаком (здесь направление преобразования от СК-42 к СК ПЗ-90.11, задаваемое в ГОСТ 32453–2017, совпадает с направлением преобразования от СК-42 к СК WGS-84), рис. 2.

И наоборот, параметры $\Gamma 1$ берутся с обратным знаком, так как направление преобразования от СК WGS к СК ПЗ-90.11, задаваемое этими параметрами в ГОСТ 32453–2017, противоположно направлению преобразования от СК-42 к СК WGS-84 (см. рис. 2).

Таким образом, сумма параметров Гельмерта $A1, \Gamma 1$, задаваемых в ГОСТ 32453–2017 для преобразования между СК-42 и ПЗ-90.11, WGS-84 и ПЗ-90.11 соответственно, вычисленная с учетом их знаков, формирует параметры преобразования $\Sigma 1$ из СК-42 в СК WGS-84.

Аналогично вычисляются параметры Гельмерта $\Sigma 2$ (используя параметры ГОСТ 32453-2017 $A5, \Gamma 1$) для задания датума ГСК-2011 (см. рис. 2).

Параметры прямого преобразования между СК-42 и ГСК-2011 $\Sigma 3$, необходимые для использования в тех ПО ГИС, где такое

координатное преобразование возможно, вычисляются как сумма параметров Гельмерта $\Sigma 1, \Sigma 2$, взятых с соответствующими знаками: знак $\Sigma 2$ будет отрицательным, так как задаваемое им направление Гельмертова преобразования от ГСК-2011 к СК WGS-84 противоположно направлению преобразования от СК-42 к ГСК-2011 по цепочке СК-42 \rightarrow WGS-84 \rightarrow ГСК-2011 (см. рис. 2).

По аналогии с СК-42, на рис. 3 показан порядок определения параметров Гельмерта для СК-95 ($\Sigma 4$), вычисляемых на основе приведенных в ГОСТ 32453-2017 значений, с целью формирования датума СК-95 в ПО MapInfo Professional, а также алгоритм определения параметров прямого преобразования между СК-95 и ГСК-2011 $\Sigma 5$.

Приведенные на рис. 2, 3 схемы дают наглядное представление об алгоритме вычисления глобальных параметров преобразования между системами координат СК-42, СК-95 и ГСК-2011, установленных ГОСТ 32453-2017, с целью формирования файлов этих СК в ПО ГИС, осуществляющих координатные преобразования через промежуточную референцную систему координат WGS-84.

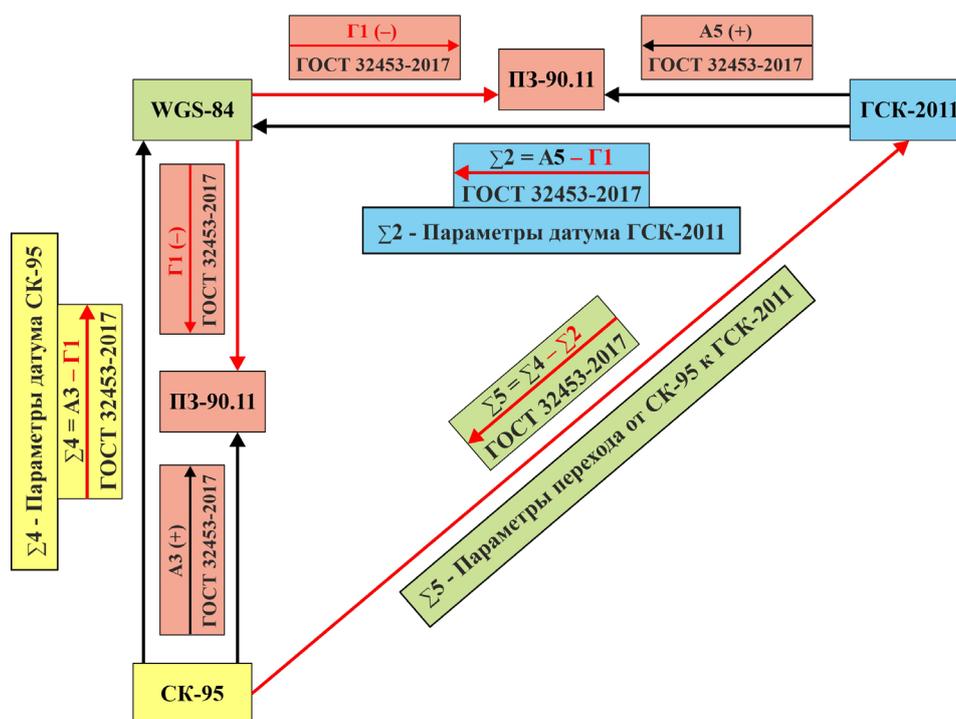


Рис. 3. Схема вычисления глобальных параметров датума СК-95 и ГСК-2011 в ПО ГИС MapInfo Professional

Приведенные на рис. 2, 3 схемы дают наглядное представление об алгоритме вычисления глобальных параметров преобразования между системами координат СК-42, СК-95 и ГСК-2011, установленных ГОСТ 32453-2017, с целью формирования файлов этих СК в ПО ГИС, осуществляющих координатные преобразования через промежуточную референцную систему координат WGS-84.

Задание в ПО ГИС ГСК-2011 с помощью локальных датумов

Как было сказано ранее, глобальные параметры преобразования, установленные ГОСТ 32453-2017, вследствие деформации СК-42 и СК-95 не обеспечивают преобразование пространственных данных из этих систем координат в ГСК-2011 с геодезической (на уровне сантиметров) точностью. В этой связи необходимо осуществлять определение локальных параметров преобразования из СК-42 и СК-95 в ГСК-2011 с целью задания на их основе датумов этих систем координат в соответствии со схемой, приведенной (на примере СК-42) на рис. 4.

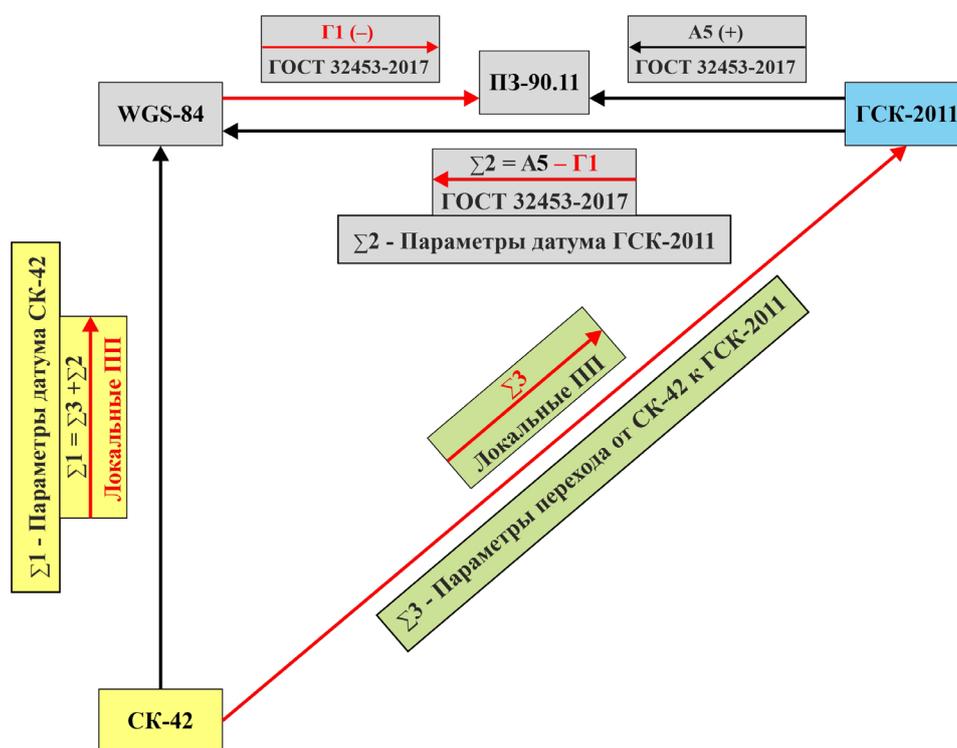


Рис. 4. Схема определения локальных параметров преобразования из СК-42 в СК WGS-84 для задания локального датума СК-42 в ПО ГИС MapInfo Professional

Для этого локальные параметры на данном участке местности $\Sigma 3$ определяются на основе набора опорных пунктов, имеющих координаты в исходной и целевой системах координат (для случая, показанного на рис. 4, таковыми являются СК-42 и ГСК-2011). Используя эти локальные параметры прямого преобразования из СК-42 в ГСК-2011 ($\Sigma 3$), а также глобальные параметры преобразования координат из ГСК-2011 в СК WGS-84 ($\Sigma 2$), установленные ГОСТ 32453–2017, локальные

параметры преобразования из СК-42 в СК WGS-84 $\Sigma 1$ вычисляются как их сумма: $\Sigma 3 + \Sigma 2$ (см. рис. 4). Эти параметры используются для формирования локального датума СК-42 в ПО ГИС MapInfo Professional.

По аналогии решается задача повышения точности преобразования пространственных данных из СК-95 в ГСК-2011 путем определения (по опорным пунктам) локальных параметров прямого преобразования из СК-95 в ГСК-2011 $\Sigma 5$, а с их использованием вычис-

ления локальных параметров преобразования из СК-95 в СК WGS-84 ($\Sigma 4$) как суммы: $\Sigma 5 + \Sigma 2$ (рис. 5). Эти параметры используются для формирования локального датума СК-95 в ПО ГИС MapInfo Professional.

Безусловно, использование локальных параметров для преобразования пространственных данных между СК-42/СК-95, а также созданными на их основе местными системами координат, и ГСК-2011 имеет то преимущество, что точность такого преобразования наиболее высокая. В то же время локальные параметры преобразования нарушают согла-

сованность пространственных данных в целевой системе координат в том случае, если таковая согласованность была в исходной СК. Так, например, если границы смежных участков (допустим, лицензионных участков недропользования) были топологически согласованы в исходной системе координат (как правило, в СК-42), а при сдаче в надзорные органы этих же участков в ГСК-2011, преобразованных отдельными недропользователями по своим (несовпадающим) локальным параметрам, эти границы в целевой системе координат не совпадут.

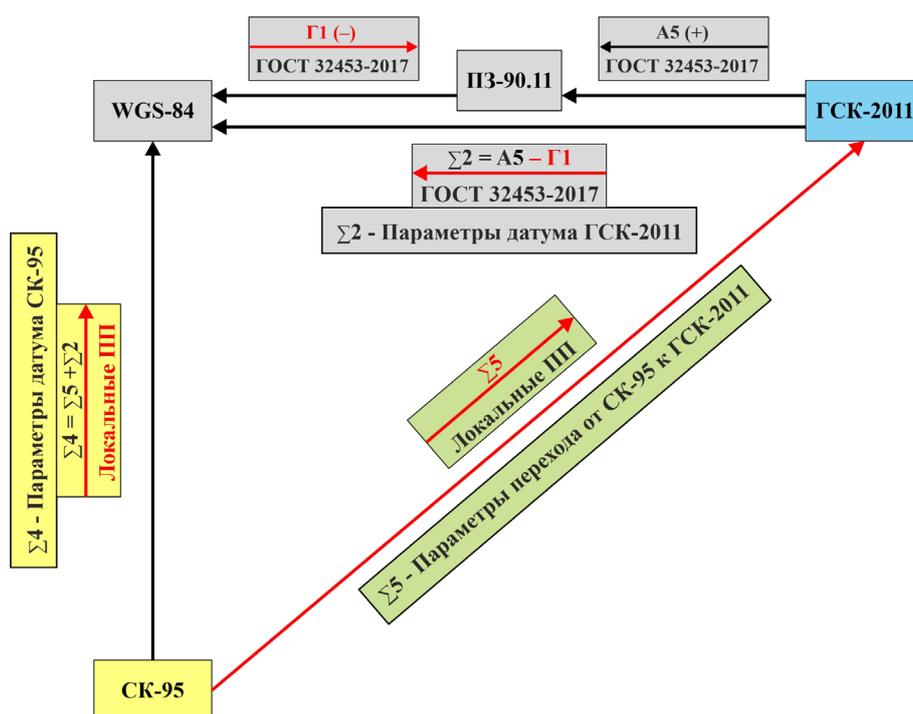


Рис. 5. Схема определения локальных параметров преобразования из СК-95 в СК WGS-84 для задания локального датума СК-95 в ПО ГИС MapInfo Professional

Таким образом, вследствие применения локальных параметров преобразования из исходной СК в ГСК-2011 может быть нарушено единство и согласованность (непротиворечивость) существующих наборов пространственных данных. В то же время применение глобальных параметров, установленных ГОСТ 32453–2017, пусть и дающих большую абсолютную погрешность (максимально до ± 10 м из СК-42), позволяет преобразовать в равной степени неточно весь набор пространственных данных, сохраняя при этом их взаимную согласованность.

В этой связи следует дифференцировать применение локальных и глобальных параметров преобразования между СК-42, СК-95 и ГСК-2011 в зависимости от точности набора пространственных данных и их предназначения в целевой СК: глобальные параметры следует применять для задач, требующих меньшей точности и сохранения существующей согласованности (вплоть до топологической) пространственных данных; локальные параметры целесообразно применять для достижения геодезической точности преобразования (вплоть до сантиметров),

а также для массивов данных ПД, по территориальному охвату сопоставимые с зоной действия локальных параметров.

Очевидно, что такая альтернатива в преобразовании существующих пространственных данных в ГСК-2011 (с сохранением согласованности, но с потерей абсолютной точности или с высокой точностью, но только на незначительную территорию) не может рассматриваться иначе как недостаток существующей системы геодезического обеспечения нашей страны. Выполнять геодезические работы современными высокоточными приборами с привязкой к координатной основе ГСК-2011 в виде спутниковых сетей с тем, чтобы загроублять их результаты как минимум на порядок до точности координатной основы МСК субъектов РФ, в которых ведется в настоящее время большинство практических работ (во главе с кадастровой деятельностью) и которые, в большинстве своем, построены на недопустимо неточной системе координат СК-42 – это печальная практика современной геодезической деятельности в нашей стране. Радикальным решением этой проблемы стало бы введение, в соответствии с приказом Росреестра [18], для осуществления кадастровой деятельности местных систем координат субъектов РФ, построенных на ГСК-2011 (МСК_NN_2011), и пересчет в нее АИС ЕГРН, а вслед за ним всех региональных пространственных данных. Подобный опыт успешного перехода от СК-42 к СК-95 был отработан в ряде регионов РФ [19], в том числе в Новосибирской области [20]. Переход к МСК_NN_2011 позволил бы создать на территории субъектов Российской Федерации единое гомогенное координатное пространство, в котором не было бы слабых звеньев и в котором система координат, ее координатная основа и применяемые современные спутниковые приборы и технологии стали бы сопоставимы по точности, удовлетворяющей потребителей из всех сфер деятельности.

При этом реализацию данного подхода можно было бы осуществить как путем подбора новых параметров связи МСК_NN_2011 и ГСК-2011, которые решали бы задачу минимизации различия координат существующих

пространственных данных в действующих местных системах координат (МСК_NN_42) и новой МСК_NN_2011 (схема модернизации МСК_NN_42 до МСК_NN_2011), так и путем применения существующих ключей МСК_NN_42 к координатам в ГСК-2011 (схема ввода новой МСК_NN_2011), приводящей к изменению координат в МСК_NN_2011 по сравнению с МСК_NN_42 на величины разности между их материнскими системами координат (СК-42 и ГСК-2011).

В то же время реализация вышеизложенного подхода модернизации МСК_NN_42 до МСК_NN_2011 потребует существенных временных затрат. Однако субъектам геодезической деятельности, имеющим в СК-42, СК-95 и в созданных на их основе МСК базы пространственных данных на значительные территории, в том числе крупномасштабные топографические планы, уже сегодня дискомфортно работать в условиях существующей альтернативы координатных преобразований. Определение множества (с целью сохранения точности ПД) локальных параметров преобразования из этих МСК в ГСК-2011 затратно (так как в большинстве случаев для этого требуются полевые работы) и неудобно в применении. В используемом такими потребителями ПО ГИС потребуется создавать массу файлов систем координат, применяемых в отношении отдельных территорий зоны деятельности компании, что создает риски путаницы и накопления ошибок их применения.

Выходом для таких компаний может стать определение региональных параметров на зону их деятельности. Наиболее очевидным приемом решения данной задачи стало бы определение региональных параметров на территорию соответствующих зон местных координат субъектов Российской Федерации. При этом для параметров связи МСК_NN_42 и ГСК-2011, вновь определяемых на территорию трехградусных координатных зон, наиболее вероятно получение искомых параметров, обеспечивающих координатное преобразование из МСК_NN_42 в ГСК-2011 с максимальной погрешностью в 20–30 см. Для шестиградусных координатных зон, применяемых в МСК_NN_42 на северных территориях (на широтах свыше 60°), в общем

случае достижение таких показателей маловероятно.

Для регионов, уже перешедших к выполнению кадастровых работ в местных системах координат, построенных на СК-95 (МСК_ NN_95), вероятно определение региональных параметров связи СК-95 и ГСК-2011 как на территорию трехградусных координатных зон, так и на территорию субъектов РФ в целом со среднеквадратической погрешностью порядка 5–10 см.

С точки зрения обеспечения совместимости пространственных данных целесообразно, чтобы такие вновь определяемые региональные параметры использовались всеми участниками профессионального сообщества на данной территории. Реализация этого может быть осуществлена введением таких параметров в стандартный алгоритм преобразования из геоцентрических в референсные системы координат на дифференциальных геодезических станциях, осуществляющих координатное обеспечение территории; решением территориального управления Росреестра; заключением общественного договора среди участников профессионального сообщества.

Заключение

В статье на примере ПО MapInfo Professional описана процедура осуществления координатных преобразований в ПО ГИС между существующими в нашей стране системами координат (СК-42, СК-95, МСК, созданные на их основе) и ГСК-2011, позволяющая научиться вычислять параметры преобразования Гельмерта между этими системами координат.

При этом отмечается, что, в связи с недостаточной точностью установленных ГОСТ

32453-2017 глобальных параметров преобразования между системами координат СК-42, СК-95, созданных на их основе МСК и ГСК-2011, пользователи вынуждены прибегать к определению локальных версий этих параметров. Такой подход ведет к созданию в ГСК-2011 несогласованных наборов пространственных данных, увеличению затрат и неудобств в работе для субъектов геодезической деятельности и не может рассматриваться иначе как недостаток геодезического обеспечения нашей страны.

Существующая в нашей стране ситуация с применением местных систем координат, основанных на СК-42 (МСК_ NN_42), для ведения кадастровых работ, а вместе с ними и для создания основных наборов пространственных данных на территории большинства субъектов РФ, является парадоксом геодезического обеспечения нашей страны. Координаты, полученные в ГСК-2011 от ее высокоточной (спутниковой) координатной основы современными спутниковыми же методами, в процессе преобразования в МСК_ NN_42 теряются (как минимум на порядок) до точности координатной основы СК-42, не обеспечивающей многие практические приложения экономической и хозяйственной деятельности.

Очевидно, что кардинальным решением данной проблемы стал бы переход на выполнение кадастровых работ в местных системах координат, созданных на ГСК-2011 (МСК_ NN_2011). И, в свете повышения требований потребителей в части точности позиционирования, в том числе федеральных органов исполнительной власти [21, 22], постановка и решение такой задачи должно рассматриваться как актуальная задача геодезического обеспечения Российской Федерации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Об установлении единых государственных систем координат [Электронный ресурс] : постановление Правительства Российской Федерации от 28.07.2000 г. № 586. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. Об установлении государственных систем координат, государственной системы высот и государственной гравиметрической системы [Электронный ресурс] : постановление Правительства Российской Федерации от 24.11.2016 № 1240. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
3. О введении единой системы геодезических координат и высот на территории СССР [Электронный ресурс] : Постановление Совета Министров СССР от 07.04.1946 № 760. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

4. Демьянов Г. В., Майоров А. Н., Побединский Г. Г. Местные системы координат, существующие проблемы и возможные пути их решения // *Геопрофи.* – 2009. – № 2. – С. 52–57.
5. Аврунев Е. И., Метелева М. В. О совершенствовании системы координатного обеспечения государственного кадастра недвижимости // *Вестник СГГА.* – 2011. – Вып. 1 (25). – С. 60–66.
6. Аврунев Е. И., Вылегжанина В. В., Гиниятов И. А., Колмогоров В. Г., Ямбаев Х. К., Совершенствование аналитического способа вычисления границ земельных участков // *Вестник СГУГиТ.* – 2019. – Т. 24, № 4. – С. 126–135.
7. Афонин К. Ф. Преобразование плоских прямоугольных координат Гаусса – Крюгера из МСК-54 в СК НСО // *Вестник СГГА.* – 2010. – Вып. 1 (12). – С. 57–62.
8. Виноградов А. В., Мазуров Б. Т. Перспективы использования специальных геодезических проекций и местных систем координат // *Вестник СГУГиТ.* – 2017. – Т. 22, № 1. – С. 18–29.
9. Горобец В. П., Демьянов Г. В., Майоров А. Н., Побединский Г. Г. Современное состояние и направления развития геодезического обеспечения РФ. Системы координат // *Геопрофи.* – 2013. – № 6. – С. 4–9.
10. Карпик А. П., Обиденко В. И. Формирование единого геопространства территорий для повышения качества геодезического обеспечения государственного кадастра недвижимости // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013 : IX Междунар. науч. конгр. : Пленарное заседание : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.).* – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 3–11.
11. Демьянов Г. В., Майоров А. Н., Побединский Г. Г. Проблемы непрерывного совершенствования ГГС и геоцентрической системы координат России // *Геопрофи.* – 2011. – № 4. – С. 15–21.
12. Попадьев В. В., Ефимов Г. Н., Зубинский В. И. Геодезическая система координат 2011 года // *Науч.-техн. сб. Астрономия, геодезия и геофизика.* – М. : Изд-во ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД», 2018. – С. 139–228.
13. Обиденко В. И. Методология геодезического обеспечения цифровой экономики Российской Федерации // *Геодезия и картография.* – 2019. – Т. 80. – № 12. – С. 42–55.
14. Басманов А. В., Горобец В. П., Забнев В. И., Кафтан В. И., Побединский Г. Г., Столяров И. А., Ходаков П. А. О геодезическом обеспечении территории России. К 80-летию Г. В. Демьянова // *Геопрофи.* – 2019. – № 6. – С. 10–15.
15. ГОСТ 32453–2017. Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. – М. : Изд-во стандартов, 2017.
16. Обиденко В. И., Нефедов С. П. СооTransf «Преобразование координат». Программа для ЭВМ. // Номер регистрации (свидетельства): 2020614948. Дата регистрации: 29.04.2020 г.
17. Руководство пользователя по выполнению работ в системе координат 1995 года (СК-95). ГКИНП (ГНТА)-06-278–04 (утверждено приказом Роскартографии от 01.03.2004 № 29-пр.) [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
18. Об утверждении порядка установления местных систем координат [Электронный ресурс] : приказ Росреестра 20.10.2020 № п/0387. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
19. Шавук В. С. Введение в действие местных систем координат в Северо-Кавказском федеральном округе // *Геодезия и картография.* – 2012. – № 10. – С. 10–13.
20. Карпик А. П., Ламерт Д. А., Обиденко В. И. Реализация «дорожной карты»: пути повышения качества пространственного описания объектов государственного кадастра недвижимости // *Геодезия и картография.* – 2013. – № 12. – С. 45–49.
21. Карпик А. П., Обиденко В. И., Побединский Г. Г. Исследование потребности федеральных органов исполнительной власти Российской Федерации в пространственных данных // *Геодезия и картография.* – 2019. – Т. 80, № 12. – С. 49–63.
22. Карпик А. П., Обиденко В. И. Исследование потребности федеральных органов исполнительной власти Российской Федерации в пространственных данных : монография. – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. – 216 с.

Получено 03.08.2021

© В. И. Обиденко, С. Р. Горобцов, 2021

TRANSFORMATION OF SPATIAL DATA INTO THE STATE GEODETIC COORDINATE SYSTEM OF 2011 IN GIS SOFTWARE

Vladimir I. Obidenko

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Vice-rector for Secondary Professional Education – Director of Novosibirsk Technical School of Geodesy and Cartography, e-mail: ovi62@yandex.ru

Sergey R. Gorobtsov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, e-mail: sergey@gorobtsov.com

The article describes the implementation of the coordinate transformation procedures in GIS (on the example MapInfo Professional) between the existing in the country coordinate systems (SC-42, SC-95, MCS, based on them) and SCS-2011, allowing the reader to learn how to calculate the parameters of Helmert transformations between these coordinate systems using GOST 32453-2017. The article notes the problem of the transformation accuracy on the global parameters established by GOST 32453-2017 and the resulting need to determine local versions of these parameters, leading to the creation of uncoordinated spatial data sets in GSK-2011, additional costs and complicating work of consumers. In order to solve this problem, it is proposed to consider the formulation of the task of transition to the implementation of cadastral work from coordinate systems based on SC-42 to MCS, created at SCS-2011, as an actual problem of improving the geodetic support of the country

Keywords: The State Geodetic Coordinate System of 2011, SCS-2011, Geographic Information Systems software, GIS software, spatial data, coordinate systems, coordinate transformations, datum

REFERENCES

1. Decree of the Government of the Russian Federation of July 28, 2000 No. 586. On the establishment of unified state coordinate systems. Retrieved from ConsultantPlus online database [in Russian].
2. Decree of the Government of the Russian Federation of November 24, 2016 No. 1240. On the establishment of state coordinate systems, state system of heights and state gravimetric system. Retrieved from ConsultantPlus online database [in Russian].
3. Decree of the Council of Ministers of the USSR of April 7, 1946 No. 760. On the introduction of a unified system of geodetic coordinates and heights on the territory of the USSR. Retrieved from Consultant-Plus online database [in Russian].
4. Dem'yanov, G. V., Majorov, A. N., & Pobedinskij, G. G. (2009). Local coordinate systems, existing problems and possible solutions. *Geoprofi*, 2, 52–57 [in Russian].
5. Avrunev, E. I., & Meteleva, M. V. (2011). On improving the system of coordinate support of the state real estate cadaster. *Vestnik SGGA*. [Vestnik SGGA], 1(25), 60–66 [in Russian].
6. Avrunev, E. I., Vleglegzhanina, V. V., Giniyatov, I. A., Kolmogorov, V. G., & Yambaev, Kh. K. (2019). Improving the analytical method for calculating land boundaries. *Vestnik SGUGiT* [Vestnik SSUGT], 22(4), 126–135 [in Russian].
7. Afonin, K. F. (2010). Conversion of flat rectangular Gauss-Krueger coordinates from MSK-54 to SK NSO. *Vestnik SGUGiT* [Vestnik SSUGT], 1(12), 57–62 [in Russian].
8. Vinogradov, A. V., & Mazurov, B. T. (2017). Prospects for the use of special geodetic projections and local coordinate systems. *Vestnik SGUGiT* [Vestnik SSUGT], 22(1), 18–29 [in Russian].
9. Gorobets, V. P., Dem'yanov, G. V., Mayorov, A. N., & Pobedinsky, G. G. (2013). Current state and directions of development of geodetic support of the Russian Federation. Coordinate systems. *Geoprofi*, 6, 4–9 [in Russian].
10. Karpik, A. P., & Obidenko, V. I. (2013). Formation of a single geospatial territory to improve the quality of geodetic support of the state real estate cadaster. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2013: T. 1. Plenarnoe zasedanie* [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2013: Vol. 1. Plenary Session] (pp. 3–11). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].

11. Dem'yanov, G. V., Majorov, A. N., & Pobedinskij, G. G. (2011). Problems of continuous improvement of the GHS and the geocentric coordinate system of Russia. *Geoprofi*, 4, 15–21 [in Russian].
12. Popad'ev, V. V., Efimov, G. N., & Zubinskii, V. I. (2018). The geodetic coordinate system of 2011. In *Nauchno-tehnicheskij sbornik: Astronomija, geodezija i geofizika [Scientific and Technical Collection: Astronomy, Geodesy and Geophysics]* (pp. 139–228). Moscow: FSBI "Center for Geodesy, Cartography and SDI" Publ. [in Russian].
13. Obidenko, V. I. (2019). The methodology of geospatial support of the digital economy of the Russian Federation. *Geodezia i kartografija [Geodesy and Cartography]*, 80(12), 42–55. doi: 10.22389/0016-7126-2019-954-12-00-00 [in Russian].
14. Basmanov, A. V., Gorobec, V. P., Zabnev, V. I., Kaftan, V. I., Pobedinskij, G. G., Stolyarov, I. A., & Hodakov, P. A. (2019). On the geodetic support of the territory of Russia. To the 80th anniversary of G. V. Demyanov. *Geoprofi*, 6, 10–15 [in Russian].
15. Standarts Russian Federation. (2017). GOST 32453-2017. Global navigation satellite system. Coordinate systems. Methods for transforming the coordinates of the determined points. Moscow: Standards Publ. [in Russian].
16. Obidenko, V. I., & Nefedov, S. P. (2020). CooTransf "Coordinate Transformation". Computer program. No. 2020614948 [in Russian].
17. Geodetic, Cartographic Instructions, Norms and Regulations. (2004). User manual for the performance of work in the coordinate system of 1995 (SK-95). GKINP (GNTA)-06-278-04 (approved by order of Roskartografiya of March 01, 2004 No. 29-pr.) [in Russian].
18. On approval of the procedure for establishing local coordinate systems. Rosreestr's order of October 20, 2020 No. p/0387. Retrieved from ConsultantPlus online database [in Russian].
19. Shavuk, V. S. (2012). Implementation of local coordinate systems in the North Caucasus Federal District. *Geodezia i kartografija [Geodesy and Cartography]*, 10, 10–13 [In Russian].
20. Karpik, A. P., Lamert, D. A., & Obidenko, V. I. (2013). Implementation of the Road Map: ways to improve the quality of the spatial description of objects of the state real estate cadastre. *Geodezia i kartografija [Geodesy and Cartography]*, 12, 45–49 [In Russian].
21. Karpik, A. P., Obidenko, V. I., & Pobedinskij G. G. (2019). Research of the need of the federal executive authorities of the Russian Federation in spatial data. *Geodezia i kartografija [Geodesy and Cartography]*, 80(12), 49–63 [in Russian].
22. Karpik, A. P. & Obidenko, V. I. (2021). *Issledovanie potrebnosti federal'nyh organov ispolnitel'noj vlasti Rossijskoj Federacii v prostranstvennyh dannyh [Research of the need of the federal executive authorities of the Russian Federation in spatial data]*. Novosibirsk: SSUGT Publ., 216 p. [in Russian].

Received 03.08.2021

© V. I. Obidenko, S. R. Gorobtsov, 2021