

9. Cheban, Anton Yu. "A device for handling of bulk building materials from dump trucks to rail." *Mechanization of construction* 77.2 (2016): 33–36.

10. Vitvitskiy, Evgeniy E., and Sergey S.Voitenkov. "Rational freight management by road transport as a tool for reducing the urban construction cost." *Mechanization of construction* 4(850) (2015): 17–20.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Чебан Антон Юрьевич —
кандидат технических наук, доцент.
Институт горного дела ДВО РАН
chebanay@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Cheban Anton Yurievich —
PhD, associate professor.
Mining Institute
chebanay@mail.ru

Статья поступила в редакцию 6 сентября 2016 г.

DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-5-103-109

УДК 528.1

П. В. Томсон,
А. В. Титова

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПЛОСКИХ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КООРДИНАТ В ПРОЕКЦИИ ГАУССА–КРЮГЕРА ИЗ ЗОНЫ В ЗОНУ

В данной статье рассматривается новый алгоритм преобразования плоских прямоугольных координат в проекции Гаусса–Крюгера из одной зоны в другую зону. Как известно, 7 апреля 1946 г. Постановлением № 760 Совета Министров была введена единая система геодезических координат и высот в топографо-геодезических и картографических работах (СК-42) в СССР. Ещё до введения этой системы координат советские учёные-геодезисты решали вопрос о выборе равноугольной картографической проекции для перехода с эллипсоида вращения на плоскость, т. е. от геодезических координат к плоским прямоугольным координатам. В связи с имевшейся в то время острой необходимостью создания точных топографических карт на всю территорию страны выбор пал на поперечно-цилиндрическую равноугольную проекцию Гаусса, которую впоследствии стали называть проекцией Гаусса–Крюгера. Высокая точность картографических изображений в этой проекции достигается путём применения узких по долготе, в основном 6-градусных, зон. До сих пор на территорию Российской Федерации, правопреемника СССР, выпадает более 28 таких 6-градусных зон. При решении геодезических задач на стыке смежных координатных зон возникает необходимость преобразования плоских прямоугольных координат из зоны в зону, т. е. из одной плоской прямоугольной системы координат в другую плоскую прямоугольную систему координат. Ситуация усугубляется тем, что не существует алгоритма непосредственного перехода из одной плоской прямоугольной системы координат в другую плоскую прямоугольную систему координат, построенных в проекции Гаусса–Крюгера. Приходится обращаться к геодезической системе координат, заданной на эллипсоиде вращения и являющейся общей для двух сопоставляемых плоских прямоугольных систем координат. Попытка использования геометрического преобразования плоских прямоугольных координат в смежную зону приводит к ограничению долготного интервала, в котором задача имеет приближенное решение. При обработке геодезических материалов, связанных с протяжёнными по долготе объектами, преобразование плоских прямоугольных координат из зоны в зону через геодезические координаты ограничивается точностью алгоритмов преобразования геодезических координат в плоские прямоугольные координаты и обратно. В данной работе предлагается алгоритм преобразования плоских прямоугольных координат в проекции Гаусса–Крюгера из одной зоны в другую зону, не зависящий в пределах Российской Федерации от ширины зон, пригодный для любого эллипсоида вращения, единственным аргументом в котором является долгота осевого меридиана новой зоны.

Ключевые слова: плоские прямоугольные координаты, геодезические координаты, 6-градусная зона, осевой меридиан, преобразование плоских прямоугольных координат, проекция Гаусса–Крюгера, эллипсоид вращения, поперечная проекция Меркатора, ряды Энзагера, суммирование Кленшоу.

Введение

В 1897 г. русский учёный в области маркшейдерии В. И. Бауман в своей диссертации призвал геодезическую общественность России к введению общих систем прямоугольных координат. В обсуждении вопроса о введении плоской прямоугольной системы координат в СССР в середине 20-х годов прошлого столетия принимали участие видные учёные: В. В. Каврайский, Н. Н. Матусевич, Н. Г. Келль, Ф. Н. Красовский, А. П. Ющенко и др. На III Геодезическом совещании (28 – 31 марта 1928 г.) было принято Постановление [1]: «О введении в СССР единообразной системы прямоугольных координат, согласно пп. 14 которого было принято следующее: *«Признать, что наиболее приемлемыми для немедленного применения в СССР являются прямоугольные координаты Гаусса–Крюгера»*. Это постановление, кроме принятия плоской прямоугольной системы координат, установило ширину зон как 6-градусных и то, что осевой меридиан должен быть неискажённым.

7 апреля 1946 г. Постановлением № 760 Совета Министров [2] в СССР была введена Единая система геодезических координат и высот в топографо-геодезических и картографических работах (СК-42). До сих пор на территорию Российской Федерации, правопреемника СССР, выпадает более 28 таких 6-градусных зон. При решении геодезических задач на стыке смежных координатных зон возникает необходимость преобразования плоских прямоугольных координат из зоны в зону, т.е. из одной плоской прямоугольной системы координат в другую плоскую прямоугольную систему координат. В публикации [3], в частности, отмечается: *«Чтобы уменьшить случаи перевычисления координат, установлена система «перекрытия зон», а именно, западная и восточные зоны взаимно перекрываются на 30' по долготе»*. На это же обстоятельство обращает внимание автор работы [4], не приводя вариантов преобразования плоских прямоугольных координат из зоны в зону. Ситуация усугубляется тем, что не существует алгоритма непосредственного перехода из одной плоской прямоугольной системы координат в другую плоскую прямоугольную систему координат, построенных в проекции Гаусса–Крюгера, кроме попытки использования геометрического приближенного преобразования плоских прямоугольных координат в смежную зону, которая приводит к ограничению долготного интервала [5]. Современные стандарты [6] – [8] вообще не содержат рекомендаций по преобразованию плоских прямоугольных координат из зоны в зону. На практике приходится обращаться к геодезической системе координат, заданной на эллипсоиде вращения и являющейся общей для двух сопоставляемых плоских прямоугольных систем координат в издании [9]. В этой же работе приводится алгоритм, основанный на использовании геодезических координат, но заключающийся в вычислении поправок к заданным плоским прямоугольным координатам с целью получения соответствующих координат в смежной зоне.

При обработке геодезических материалов, связанных с протяжёнными по долготе объектами, преобразование плоских прямоугольных координат из зоны в зону через геодезические координаты ограничивается точностью алгоритмов преобразования геодезических координат в плоские прямоугольные координаты и обратно при удалении от осевого меридиана более 9°. В статье [10] был поднят вопрос о преобразовании геодезических координат к плоским прямоугольным для широкой координатной зоны проекции Гаусса. В статьях [11], [12] автора данной работы приводятся алгоритмы преобразования геодезических координат к плоским прямоугольным и обратно в одной координатной зоне проекции Гаусса–Крюгера для всей территории Российской Федерации на основе разложений функций преобразования координат до членов высокого порядка, приведенных в публикации [13]. При этом авторами статьи было учтено то обстоятельство, что алгоритмы преобразования координат должны быть рассчитаны на любые эллипсоиды вращения. Так, в Российской Федерации с 01 января 2017 г. согласно данным, приведенным в публикациях [14], [15], вводится новая геодезическая система координат ГСК-2011, параметры эллипсоида вращения которой отличны от параметров референц-эллипсоида Красовского, применяемых в СК-42 и СК-95.

В данной работе предлагается алгоритм преобразования плоских прямоугольных координат в проекции Гаусса–Крюгера из одной зоны в другую зону, не зависящий в пределах Российской

Федерации от ширины зон, пригодный для любого эллипсоида вращения, единственным аргументом в котором является долгота осевого меридиана новой зоны.

Основная часть

Допустим, что предполагается преобразовать плоские прямоугольные координаты на проекции Гаусса–Крюгера (x, y) точки, заданной в координатной зоне с долготой осевого меридиана L_0 , в плоские прямоугольные координаты (x', y') в другой координатной зоне с долготой осевого меридиана L'_0 .

Вариант 1

1. Преобразуем координаты (x, y) проекции Гаусса–Крюгера в координаты (X, Y) поперечной проекции Меркатора в исходной системе координат с использованием разложений, коэффициентов и суммирования Кленшоу по Енгзагеру [13]:

$$\begin{aligned} X &= \frac{y}{R} + \sum_{i=1}^7 \left(u_{2i} \cdot \cos \left(2i \cdot \frac{x}{R} \right) \operatorname{sh} \left(2i \cdot \frac{y}{R} \right) \right); \\ Y &= \frac{x}{R} + \sum_{i=1}^7 \left(u_{2i} \cdot \sin \left(2i \cdot \frac{x}{R} \right) \operatorname{ch} \left(2i \cdot \frac{y}{R} \right) \right). \end{aligned} \quad (1)$$

где R — радиус шара, длина дуги меридиана которого равна длине дуги меридиана заданного эллипсоида вращения; u_{2i} — коэффициенты Енгзагера [13].

2. Преобразуем координаты проекции Меркатора (X, Y) в сферические координаты по Ламберту (φ, λ) с сохранением длины меридианов:

$$\begin{aligned} \varphi &= \frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \left[\frac{\sqrt{(\sin(t)^2 + \cos(t)^2 \cdot \cos(Y)^2)}}{(\sin(Y) \cdot \cos(t))} \right]; \\ \lambda &= \frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \left[\frac{(\cos(t) \cdot \cos(Y))}{\sin(t)} \right], \end{aligned} \quad (2)$$

где $\lambda = l = L - L_0$; t — вспомогательная величина, определяемая по формуле

$$t = 2 \operatorname{arctg} \left(\exp(X) \right) - \frac{\pi}{2}. \quad (3)$$

3. Преобразуем сферические координаты (φ, λ) в геодезические координаты (B, L) :

$$\begin{aligned} B &= \varphi + \sum_{i=1}^7 G_{2i} \cdot \sin(2i\varphi); \\ L &= L_0 + i. \end{aligned} \quad (4)$$

4. Для перехода в новую систему координат, используя сферическую долготу l , вычисляем отстояние точки по долготе l' от осевого меридиана с долготой L'_0 в новой системе координат:

$$l' = (L_0 - L'_0) + l. \quad (5)$$

5. Обратным ходом по координатам (B, L) вычисляем сферические координаты по Ламберту (φ, λ') с учётом значения l' :

$$\begin{aligned} \varphi &= B + \sum_{i=1}^7 (e_{2i} \cdot \sin(2iB)); \\ \lambda' &= l'. \end{aligned} \quad (6)$$

6. Преобразуем новые сферические координаты (φ, λ') в новые прямоугольные координаты в поперечной проекции Меркатора (X', Y') :

$$\begin{aligned} X' &= \operatorname{Arth}(\cos(\varphi) \cdot \sin(l')); \\ Y' &= \operatorname{arctg} \left(\frac{\operatorname{tg}(\varphi)}{\cos(l')} \right). \end{aligned} \quad (7)$$

7. Преобразуем новые координаты (X' , Y') в поперечной проекции Меркатора в новые координаты (x' , y') в проекции Гаусса–Крюгера:

$$\begin{aligned} x' &= \left[Y' + \sum_{i=1}^7 (U2_i \cdot \sin(2iY') \cdot \operatorname{ch}(2iX')) \right] \cdot R; \\ y' &= \left[X' + \sum_{i=1}^7 (U2_i \cdot \cos(2iY') \cdot \operatorname{sh}(2iX')) \right] \cdot R. \end{aligned} \quad (8)$$

где $U2_i$ — коэффициенты Енгзагера [13].

Вариант 2

В первом варианте показан пунктуальный переход от плоских прямоугольных координат в исходной координатной зоне к геодезическим координатам и от полученных геодезических координат к плоским прямоугольным координатам в новой координатной зоне. Очевидно, что этот вариант представляется весьма громоздким. Однако несложными преобразованиями можно перейти к более простому алгоритму, исключающему ряд лишних вычислительных операций. С учётом ранее принятых обозначений:

$$\begin{aligned} 1. \quad X &= \frac{y}{R} + \sum_{i=1}^7 \left(u2_i \cdot \cos\left(2i \cdot \frac{x}{R}\right) \cdot \operatorname{sh}\left(2i \cdot \frac{y}{R}\right) \right); \\ Y &= \frac{x}{R} + \sum_{i=1}^7 \left(u2_i \cdot \sin\left(2i \cdot \frac{x}{R}\right) \cdot \operatorname{ch}\left(2i \cdot \frac{y}{R}\right) \right). \end{aligned} \quad (9)$$

$$2. \quad l' = (L_0 - L'_0) + \frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg}\left(\frac{\cos(Y)}{\operatorname{sh}(X)}\right). \quad (10)$$

$$\begin{aligned} 3. \quad X' &= \operatorname{Arth}\left[\sin(l') \sqrt{\frac{\cos(2Y) + \operatorname{ch}(2X)}{1 + \operatorname{ch}(2X)}}\right]; \\ Y' &= \operatorname{arctg}\left(\frac{\sqrt{2} \cdot \sin(Y)}{\cos(l') \sqrt{\cos(2Y) + \operatorname{ch}(2X)}}\right). \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} 4. \quad x' &= \left[Y' + \sum_{i=1}^7 (U2_i \cdot \sin(2iY') \cdot \operatorname{ch}(2iX')) \right] \cdot R; \\ y' &= \left[X' + \sum_{i=1}^7 (U2_i \cdot \cos(2iY') \cdot \operatorname{sh}(2iX')) \right] \cdot R. \end{aligned} \quad (12)$$

Выводы

Представленный формулами (9) – (12) алгоритм позволяет выполнять преобразование плоских прямоугольных координат в проекции Гаусса–Крюгера, заданных в координатной зоне с долготой осевого меридиана L_0 , в координатную зону с долготой осевого меридиана L'_0 , при этом достаточно:

- перейти в поперечную проекцию Меркатора;
- вычислить новые координаты в поперечной проекции Меркатора, предварительно поменяв долготу осевого меридиана;
- перейти в проекцию Гаусса–Крюгера.

Приведённый алгоритм позволяет решать поставленную задачу для любого эллипсоида вращения в пределах всей территории Российской Федерации с учётом того, что в геодезической литературе приводятся коэффициенты рядов разложения в функции третьего сжатия $u2$ и $U2$ седьмого и восьмого порядков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Келль Н. Г. Высшая геодезия и геодезические работы: в 3 ч. — Ч. 1. Курс маркшейдерской специальности горных и геологоразведочных вузов. / Н. Г. Келль. — Л.-М.-Новосибирск: Государственное горное издание, 1932. — 492 с.
2. Постановление Совета Министров СССР от 7 апреля 1946 года № 760. «О введении единой системы геодезических координат и высот на территории СССР».
3. Справочник геодезиста. — Кн. 1. — 2-е изд., перераб. и доп. / под ред. В. Д. Большакова и Г. П. Левчука. — М.: Недра, 1975. — 544 с.
4. Морозов В. П. Курс сфероидической геодезии / В. П. Морозов. — М.: Недра, 1979. — 296 с.
5. Буткевич А. В. Таблицы для перевычисления плоских прямоугольных координат Гаусса из одной зоны в другую / А. В. Буткевич, С. П. Герасименко. — М.: Недра, 1969. — 46 с.
6. ГОСТ Р 51794-2001. Аппаратура радионавигационная глобальной навигационной спутниковой системы и глобальной системы позиционирования. Системы координат. Методы преобразования координат. — М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. — 12 с.
7. ГОСТ Р 51794-2008. Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. — М.: Стандартинформ, 2009. — 16 с.
8. ГОСТ 32453-2013. Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. — М.: Стандартинформ, 2014. — 16 с.
9. Томсон П. В. Системы координат. Методы преобразования координат / П. В. Томсон, Г. В. Макаров. — СПб.: Изд-во ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2010. — 62 с.
10. Баландин В. Н. Преобразование геодезических координат к плоским прямоугольным для широкой координатной зоны проекции Гаусса / В. Н. Баландин, А. И. Ефанов, И. В. Меньшиков, Ю. Г. Фирсов // Геодезия и картография. — 2014. — № 8. — С. 21–23.
11. Томсон П. В. Преобразование геодезических координат к плоским прямоугольным в одной координатной зоне проекции Гаусса–Крюгера для всей территории Российской Федерации / П. В. Томсон // Морское образование: традиции, реалии и перспективы: материалы научно-практической конференции. — СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2015. — Т. 2. — С. 250–254.
12. Томсон П. В. Преобразование геодезических координат к плоским прямоугольным в одной координатной зоне проекции Гаусса–Крюгера для всей территории Российской Федерации / П. В. Томсон // Сборник материалов международной научно-практической конференции. — СПб.: Изд-во «Политехника», 2015. — С. 303–305.
13. Poder K. Some Conformal Mappings and Transformations for Geodesy and Topographic Cartography / K. Poder, K. Engsager. — København: Kort & Matrikelstyrelsen, 1998. — 63 p.
14. Постановление Правительства Российской Федерации от 28 декабря 2012 г. «О единых государственных системах координат» // Собр. законодательства РФ, 07.01.2013, ст. 58.
15. Томсон П. В. Об установлении единых государственных систем координат ГСК-2011, ПЗ-90.11 / П. В. Томсон // Сб. науч. тр. профессорско-преподавательского состава Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2014. — С. 138–140.

DESIGN OF ALGORITHM TRANSFORMATIONS OF PLANE RECTANGULAR COORDINATES IN THE GAUSS-KRÜGER PROJECTION FROM ZONE TO ZONE

This article discusses a new algorithm to convert flat rectangular coordinates in Gauss-Kruger projection from one zone to another zone. As you know, April 7, 1946 year by decision No. 760 of the Council of Ministers has introduced a unified geodetic coordinate and heights in topographic-geodetic and cartographic works (SC-42) in the USSR. Even before the introduction of the system of coordinates by Soviet scientists-surveyors decided the question of choosing well-coal cartographic projection to go with ellipsoid of rotation in a plane, i.e. from geodetic coordinates to flat rectangular coordinates. In connection with the available at that time-the need for creating precise topographical maps throughout the country, the choice fell on cross-cylindrical conformal of Gauss projection, which subsequently became known as the Gauss-Krüger projection. High accuracy of the map images in this projection is achieved by applying longitudinal narrow, mostly 6-degree, zones. Still on the territory of the Russian Federation, the successor of the USSR, falls more than 28 such 6-degree zone. In addressing the surveying

task at the junction of the related coordinate zones there is a need to convert a flat rectangular coordinates from zone to zone, i.e. from one flat rectangular system of coordinates to another flat rectangular coordinate system. The situation is exacerbated by the fact that there is no algorithm to go directly from one flat rectangular system of coordinates to another flat rectangular coordinate system, built in Gauss-Kruger projection. Having to ask the geodetic system coordination, given ellipsoid of rotation, and common to the two mapped flat rectangular coordinate systems. Attempted use of geometric transformation flat rectangular coordinates in an adjacent zone restricts longitude interval, which is the approximate solution. When processing of geodetic materials of extremely long of longitude objects, transforming flat rectangular coordinates from zone to zone through geodetic coordinates is limited by the accuracy of the algorithms change the geodetic coordinates-in flat rectangular coordinates and vice versa. This paper proposes an algorithm to convert a flat rectangular coordinates in Gauss-Kruger projection from one zone to another zone, not subject to the provisions within the Russian Federation of the width of the zones fit for any ellipsoid of rotation, the only argument which is the longitude axis Meridian new zone.

Keywords: flat rectangular coordinates, geodetic coordinates, 6-degree area, axial Meridian, the conversion of flat rectangular coordinates, Gauss Kruger projection, ellipsoid of rotation, Transverse Mercator, Engzager series, summation Clenshaw.

REFERENCES

1. Kell, N. G. *Vyshshaja geodezija i geodezicheskie raboty. Chast 1. Kurs markshejderskoj special'nosti gornyh i geologo-razvedochnyh Vtuzov*. Leningrad-Moskva-Novosibirsk: Gosudarstvennoe gornoe izdanie, 1932.
2. USSR Council of Ministers Resolution from 7 April 1946 № 760. O vvedenii edinoj sistemy geodezicheskikh koordinat i vysot na territorii SSSR.
3. *Spravochnik geodezista. Kniga 1. Vtoroe izdanie, pererabotannoe i dopolnennoe*. Edited by V. D. Bolshakov, G. P. Levchuk. M.: Nedra, 1975.
4. Morozov, V. P. *Kurs sferoidicheskoy geodezii*. M.: Nedra, 1979.
5. Butkevich, A. V., and S. P. Gerasimenko. *Tablicy dlja perevychislenija ploskih prjamougolnyh koordinat Gaussa iz odnoj zony v druguju*. M.: Nedra, 1969.
6. Russian Federation. GOST R 51794-2001. Apparatura radionavigacionnaja globalnoj navigacionnoj sputnikovoj sistemy i globalnoj sistemy pozicionirovanija. Sistemy koordinat. Metody preobrazovanija koordinat. M.: IPK Izdatelstvo standartov, 2001.
7. Russian Federation. GOST R 51794-2008. Globalnye navigacionnye sputnikovye sistemy. Sistemy koordinat. Metody preobrazovanij koordinat opredeljaemyh toчек. M.: Standartinform, 2009.
8. Russian Federation. GOST 32453-2013. Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja sistema. Sistemy koordinat. Metody preobrazovanij koordinat opredeljaemyh toчек. M.: Standartinform, 2014.
9. Tomson, P. V., and G. V. Makarov. *Sistemy koordinat. Metody preobrazovanija koordinat*. SPb.: Izd-vo GMA im. adm. S.O. Makarova, 2010.
10. Balandin, V. N., A. I. Efanov, I. V. Men'shikov, and Ju. G. Firsov. "Transformation of geodetic coordinates to flat rectangular ones for wide coordinate zone of Gauss projection." *Geodesy and Cartography* 8 (2014): 21–23.
11. Tomson, P. V. "Conversion of geodetic coordinates to rectangular coordinates in a flat zone of gauss-kruger projection for the entire territory of the Russian Federation." *Morskoe obrazovanie: tradicii, realii i perspektivy: materialy nauchno-prakticheskoy konferencii*. SPb.: Izd-vo GUMRF im. adm. S.O. Makarova, 2015. Vol. 2. 250–254.
12. Tomson, P. V. "Preobrazovanie geodezicheskikh koordinat k ploskim prjamougolnym v odnoj koordinatnoj zone proekcii Gaussa-Krjugera dlja vsej territorii Rossijskoj Federacii." *Sbornik materialov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. SPb.: Izd. «Politehnika», 2015: 303–305.
13. Poder, K., and K. Engsager. *Some Conformal Mappings and Transformations for Geodesy and Topographic Cartography*. København: Kort & Matrikelstyrelsen, 1998.
14. Russian Federation. Government Resolution from 28 Dec. 2012 № 1463. O edinyh gosudarstvennyh sistemah koordinat.
15. Tomson, P. V. "On the establishment of the unified state system of coordinates SSC-2011 and PE-90.11." *Sbornik nauchnyh trudov professorsko-prepodavatelskogo sostava Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*. SPb.: Izd-vo GUMRF im. adm. S.O. Makarova, 2014: 138–140.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Томсон Петр Васильевич —
кандидат технических наук, доцент.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С.О. Макарова»
peter-thomson@mail.ru, kaf_geo@gumrf.ru
Титова Анастасия Вячеславовна — аспирант.
Научный руководитель:
Томсон Петр Васильевич.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С.О. Макарова»
heylady1991@mail.ru, kaf_geo@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Thomson Peter Vasil'evich —
PhD, associate professor.
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
peter-thomson@mail.ru, kaf_geo@gumrf.ru
Titova Anastasia Vjacheslavovna — postgraduate.
Supervisor:
Thomson Peter Vasil'evich.
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
heylady1991@mail.ru, kaf_geo@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 18 сентября 2016 г.

DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-5-109-117
УДК 528.47

В. В. Ключев

**КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЯ СТЕСНЕННОСТИ
АКВАТОРИИ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ**

Статья посвящена проблеме разработки количественных показателей и методик формализованной оценки безопасности акватории Северного морского пути (СМП), принципы которой сформулированы в документах Международной морской организации и Полярном кодексе. Рассмотрены особенности полярного судоходства и определены основные источники риска навигационных происшествий в арктических морях. Приведены результаты анализа методов оценки риска навигационных происшествий, основанных на использовании мировой и региональной статистики морских происшествий. Оценена репрезентативность статистики навигационных происшествий, относящаяся к морям арктического бассейна. Установлена взаимосвязь между частотой навигационных происшествий и «стесненностью» акватории. Термин «стесненность» акватории, который обычно используется применительно к плаванию судов в узкостях и на мелководье, предложено использовать в качестве обобщенной характеристики всей акватории СМП и отдельных ее частей. Для определения степени «стесненности» акватории предложено использовать метод, основанный на теории геометрических вероятностей. Приведены примеры эффективного использования теории геометрических вероятностей при решении практических задач гидрографии и дешифровки изображений. Утверждается, что использование теории геометрических вероятностей позволяет задачу количественной оценки «стесненности» акватории свести к задаче о пересечении прямых линий с кривыми на плоскости. В качестве количественной меры «стесненности» акватории автор предложил использовать вероятность пересечения маршрутов судна с навигационными опасностями. Приводятся основные формулы и соотношения, позволяющие рассчитать искомую вероятность аналитически для двух вариантов направления судовых потоков, включающих в себя изотропное множество маршрутов и анизотропное. В заключении дана общая оценка предложенного метода и определены направления его совершенствования.

Ключевые слова: «стесненность» акватории, количественная оценка, геометрическая вероятность, навигационная опасность.

Введение

Актуальность темы определяется тем, что в 2017 г. вступает в силу Полярный кодекс [1], в основу которого заложены принципы формальной оценки безопасности (ФОБ), изложенные во Временном руководстве по применению ФОБ, которое в 1997 г. было разработано и одобрено Комитетами морской безопасности и защиты морской окружающей среды при Международной