УДК: 502.53:528.946556.5:911.9

DOI: 10.35595/2414-9179-2020-2-26-151-161

В.А. Добрякова¹, Н.Н. Москвина², А.Б. Добряков³, Л.Ф. Жегалина⁴, И.Р. Идрисов⁵

СТАТИСТИКА GETIS-ORD GI* ДЛЯ АНАЛИЗА СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ТРОМЬЁГАН

АННОТАЦИЯ

Информативность и эффективность экологического исследования территории можно повысить при помощи методов многомерного анализа и картирования полученных результатов. В статье представлены анализ и результаты картографирования пространственных и временных тенденций загрязнения углеводородами бассейна р. Тромьёган за период 2006–2018 гг. с применением инструментария ArcGIS Pro. Информационной основой исследования являются данные локального экологического мониторинга лицензионных участков распределённого фонда недр Ханты-Мансийского автономного округа – Югры.

Анализ загрязнения выполнен на основе подробного изучения географии исходных данных с привлечением расчётов статистических показателей (минимальное, среднее, максимальное расстояния между точками отбора проб, индекс Getis-Ord Gi*). Построены тематические карты по усреднённым за год данным. Проанализирована пространственно-временная динамика концентрации углеводородов в поверхностных водах за 2006–2018 гг. с применением инструмента «Анализ возникновения горячих точек». Временной кластерный срез среднегодовой концентрации углеводородов по показателю Getis-Ord Gi* позволил выявить тенденции в динамике показателей. Составлены карты среднегодовой концентрации углеводородов и представлены результаты пространственно-временного анализа среднегодовой концентрации углеводородов в поверхностных водах.

Выявление закономерностей в больших массивах многолетних данных и учёт пространственной компоненты являются необходимыми элементами современных экологических исследований. Анализ временных рядов среднегодовых концентраций в бассейне р. Тромьёган показал чёткую тенденцию в динамике содержания углеводородов. Полученные выводы могут служить основой для принятия управленческих решений в области экологического мониторинга на лицензионных участках распределённого фонда недр Ханты-Мансийского автономного округа – Югры.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: статистика Getis-Ord Gi*, пространственно-временной анализ, ГИС, анализ возникновения горячих точек, углеводородное загрязнение в воде

¹ Тюменский государственный университет, ул. Володарского, д. 6, 625003, Тюмень, Россия;
e-mail: v.a.dobryakova@utmn.ru

² Тюменский государственный университет, ул. Володарского, д. 6, 625003, Тюмень, Россия;
e-mail: n.n.moskvina@utmn.ru

³ Уральское главное управление Центрального банка Российской Федерации, отделение по Тюменской области, ул. Володарского, д. 48, 625000, Тюмень, Россия; *e-mail:* dobryakov_andrey@mail.ru

⁴ Балтийский федеральный университет имени И. Канта, ул. А. Невского, д. 14, 236016, Калининград, Россия; *e-mail:* LZhegalina@kantiana.ru

⁵ Тюменский государственный университет, ул. Володарского, д. 6, 625003, Тюмень, Россия;
e-mail: i.r.idrisov@utmn.ru

**Valentina A. Dobryakova¹, Natalya N. Moskvina², Andrey B. Dobryakov³,
Lilia F. Zhegalina⁴, Ildar R. Idrisov⁵**

GETIS-ORD GI* STATISTICS FOR HYDROCARBONS CONTENT ANALYSIS IN THE TROMJEGAN RIVER BASIN

ABSTRACT

The information content and effectiveness of ecological research of the territory can be improved using the methods of multivariate analysis and mapping of the results. The article presents the analysis and mapping results of spatial and temporal trends of hydrocarbon pollution in the Tromjegan river basin for the period 2006–2018 using the tools of ArcGIS Pro. The informational and basic research is the data of local environmental monitoring of licensed blocks of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra.

Pollution analysis was carried out on the basis of a detailed study of the geography of the source data using statistical calculations (minimum, average, maximum distances between sampling points, Getis-Ord Gi* index). Thematic maps were constructed using data averaged over the year. The spatial and temporal dynamics of hydrocarbons concentration in surface waters for 2006–2018 is analyzed using the “Hot Spot Analysis” tool. A temporary cluster section of hydrocarbons average annual concentration according to the Getis-Ord Gi* indicator allowed us to identify trends in the dynamics of indicators. Maps of hydrocarbons average annual concentration were compiled and the results of a spatial-temporal analysis of hydrocarbons average annual concentration in surface waters were presented.

The identification of patterns in large arrays of long-term data and the consideration of the spatial component are necessary elements of modern environmental research. Analysis of the time series of average annual concentrations in the Tromjegan river basin showed a clear trend in the dynamics of hydrocarbon pollution. The findings can be the basis for making managerial decisions in the environmental monitoring of licensed blocks of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra.

KEYWORDS: Getis-Ord Gi* statistics, space-time analysis, GIS, analysis of hot spots genesis, hydrocarbon water pollution

ВВЕДЕНИЕ

Выявление закономерностей в больших массивах многолетних данных и учёт пространственной компоненты являются необходимыми элементами современных экологических исследований.

Экологический мониторинг районов нефтедобычи ежегодно накапливает огромное количество данных геохимического состояния природных сред на значительной территории. Одним из главных показателей является загрязнение углеводородами поверхностных вод.

В настоящее время база данных локального экологического мониторинга Ханты-Мансийского автономного округа – Югры насчитывает более 1,8 млн измерений, в т.ч.

¹ Tyumen State University, Volodarskiy str., 6, 625003, Tyumen, Russia; *e-mail:* v.a.dobryakova@utmn.ru

² Tyumen State University, Volodarskiy str., 6, 625003, Tyumen, Russia; *e-mail:* n.n.moskvina@utmn.ru

³ Tyumen Regional Division of the Ural Main Branch of the Central Bank of the Russian Federation, Volodarskiy str., 48, 625000, Tyumen, Russia; *e-mail:* dobryakov_andrey@mail.ru

⁴ Immanuel Kant Baltic Federal University, Proletarskaya str., 131, 236029, Kaliningrad, Russia; *e-mail:* izhegalina@kantiana.ru

⁵ Tyumen State University, Volodarskiy str., 6, 625003, Tyumen, Russia; *e-mail:* i.r.idrisov@utmn.ru

более 1,1 млн по поверхностным водам¹. Анализ этой информации затруднён неравномерностью распределения точек отбора проб по площади и нерегулярностью отбора во времени.

Информативность и эффективность экологического исследования территории можно повысить при помощи методов многомерного анализа и картирования полученных результатов. ArcGIS Pro позволяет решать подобные задачи.

Водосбор р. Тромъёган расположен в Сургутском административном районе автономного округа. Длина водотока составляет 581 км, площадь водосбора — 55 600 км². Тромъёган впадает в р. Обь через протоку Санина примерно в 50 км к востоку от г. Сургута. Река судоходна на протяжении 250 км от устья. Её основные притоки — Моховая, Аган, Ортъягун, Энтль-Имиягун, Нятлонгаягун [Лёзин, 1999].

Водосборный бассейн отличается слабой дренированностью и почти повсеместным распространением олиготрофных сфагновых и мезотрофных мохово-травяных болот. Заболоченность и заозёрность достигает 80 и 20 % соответственно [Москвина, Козин, 2001].

В бассейне р. Тромъёган разрабатывается около 30 месторождений углеводородного сырья. Крупнейшие из них: Фёдоровское (нижнее течение), Тевлинско-Русскинское, Конитлорское и Котухтинское (среднее течение), Холмогорское, Выинтойское (верхнее течение) и др. В районах добычи создана развитая сеть коридоров коммуникаций, вахтовых посёлков, кустовых площадок.

На территории исследования расположены г. Когалым и г. Радужный, пос. Новооганск, нац. пос. Русскинская, Тром-Аган. Общая численность проживающих — более 74 тыс. чел.

На качество вод р. Тромъёган влияют полугидроморфные ландшафты водосборной территории, обуславливая малое количество взвешенных частиц, кислую водную среду (средний показатель Ph 6–6,3), низкую прозрачность вод, высокое содержание железа, большое количество органики и пониженное содержание кислорода.

По данным Ханты-Мансийского ЦГМС — филиала ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС» — среднегодовые концентрации нефтепродуктов равны 0,7 ПДК. УКИЗВ (удельный комбинаторный индекс загрязнённости воды) составляет 3,85, качество воды относится к классу 4А — «грязная».

Перед авторами статьи стояла задача подобрать и апробировать инструменты ArcGIS Pro для анализа многолетнего массива данных (2006–2018 гг.), которые позволяют определить и наглядно представить пространственно-временную динамику углеводородного загрязнения речного бассейна р. Тромъёган в районе нефтедобывающего комплекса.

Целью представленной работы является анализ пространственно-временных изменений в динамике углеводородного загрязнения в поверхностных водах с применением локального индекса Getis-Ord Gi*.

Углублённые исследования в области систем управления экологическими рисками, включая региональное экологическое планирование, экологический мониторинг чрезвычайных ситуаций и реагирование на чрезвычайные ситуации, являются на сегодняшний день актуальными задачами [Getis, Ord, 1996; Hart, Zandbergen, 2014; Peng et al., 2013]. Карты «горячих точек» являются наглядным инструментом в вопросах планирования и управления экологической политики [Crossman, Bryan, 2009; De Groot et al., 2010; Maes et al., 2013].

¹ Доклад «Об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре в 2018 году». Электронный ресурс: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/doklady-i-otchety/doklad-ob-ekologicheskoy-situatsii-v-khanty-mansiyskom-avtonomnom-okruge-yugre/2876367/2018-god>

В зарубежной научной литературе освещены многочисленные результаты практических и аналитических исследований, гл. обр. социально-демографических, где успешно был применён анализ горячих точек [Chaine, 2010; Griffith, Getis, 2017; Hart, Zandbergen, 2014; Wubuli et al., 2015].

В российской научной литературе встречаются отдельные исследования в области естественных наук с применением статистики Getis-Ord Gi*, например, при выявлении закономерностей распространения заболеваний сельскохозяйственных животных [Коренной и др., 2017]. Имеется опыт работы по анализу пространственно-временных кластеров заболеваемости в области онкологии [Архипова, Черногубова, 2017; 2019]. Исследований, связанных со статистической обработкой больших массивов экологических данных, не встречено. Отдельные аспекты в области мониторинга атмосферного воздуха рассматриваются в статье Н.М. Рашевского и др. [2019]. Группой авторов данной статьи ранее проведён анализ пространственных и временных тенденций загрязнения углеводородами бассейна р. Большой Балык за период 2006–2017 гг. [Добрякова и др., 2020].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Информационную основу исследования составляют данные локального экологического мониторинга лицензионных участков недр Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Единицами исследования являются 27 445 проб воды бассейна р. Тромъёган на территории Югры, отобранные за период с 2006 по 2018 г.

Анализ пространственно-временных изменений концентрации углеводородов в поверхностных водах бассейна р. Тромъёган за период 2006–2018 гг. выполнен с помощью двух инструментов ArcGIS Pro: «Создать куб Пространство-Время» и «Анализ возникновения горячих точек».

Инструмент «Создать куб Пространство-Время» создаёт многомерную структуру данных (трёхмерный куб, netCDF) из пространственно-временных бинов, где x-, y-измерения представляют пространство, а t-измерение представляет время. В пределах каждого бина подсчитывается количество точек и обобщённые статистические показатели для указанного атрибута (у нас — среднее по концентрации углеводородов).

Для определения размера основания бина рассчитывалось максимальное расстояние до соседних точек (инструмент «Вычислить диапазон расстояний до числа соседних объектов»). Инструмент применялся ко всем точкам наблюдений за весь период. По итогам выбран размер ячейки в основании бина 13 км, высота бина — 1 год.

Инструмент «Анализ возникновения горячих точек» использует созданный куб в качестве входных данных и на его основе выявляет статистически значимые тренды анализируемого показателя во времени.

Алгоритм работы инструмента следующий:

- расчёт пространственно-временной статистики Getis-Ord Gi*; каждому бину на основе пространственно-временных отношений с другими бинами присваивается квалификационная категория;
- проверка «столбца» бинов на наличие временного тренда с использованием статистики Манна-Кендалла [Теория статистики, 2005];
- классификация «столбцов» бинов в соответствии с выявленным трендом.

Важный параметр для работы инструмента — величина окрестности бина, используемая для расчёта статистики. Она определяется двумя параметрами: временным шагом окрестности и интервалом расстояния. В нашем исследовании временной шаг, высота бина — 1 год, окрестность бина — 27 км.

Определение тренда значений куба выполнено по результатам сравнения рассчитанного среднего по концентрации загрязнителя для окрестности конкретного бина с глобальным средним (рассчитанным для всей территории за весь период времени).

Результаты работы инструмента представлены на рис. 3.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для формирования первоначального представления о распределении углеводородов в бассейне р. Тромъёган построены карты среднегодовых концентраций в пробах за период 2006–2018 гг.

Чтобы продемонстрировать динамику изменений, на карту вынесены данные трёхлетних периодов со следующими границами — 2006, 2009, 2012, 2015, 2018 гг. Выбор диапазона отображения данных основан на сравнении с нормативным показателем предельно-допустимой концентрации (ПДК) — 0.05 мг/дм^3 (рис. 1).

Максимальные концентрации фиксируются в период с 2006 по 2009 г. в долине р. Тромъёган и на его правых притоках. Кратность превышения установленных нормативов достигает 4–6 р. Повышенные концентрации нефтепродуктов в 2012 г. сосредоточены в среднем течении р. Аган, с кратностью превышения ПДК в 4–6 р.

В последующие годы наблюдений (2015–2018 гг.) превышения предельно допустимых концентраций отмечаются в верховьях правых притоков р. Аган, у северной границы автономного округа. При этом значения превышают ПДК в 2–3 р.

Рис. 1. Изменение среднегодовой концентрации углеводородов в поверхностных водах бассейна р. Тромъёган за период 2006–2018 гг.

Fig. 1. Changing of annual average hydrocarbon concentration in surface water of Tromjegan river basin for the period 2006–2018

Рис. 2. График изменения среднегодовой концентрации углеводородов в поверхностных водах бассейна р. Тромъеган за период 2006–2018 гг.
Fig. 2. Chart of changes of hydrocarbons annual average concentration in the surface waters of Tromjegan river basin for the period 2006–2018

Отмечается снижение среднегодовых концентраций углеводородов в бассейне р. Тромъеган за анализируемый период. В качестве дополнительной информации для анализа построен график изменения среднегодовой концентрации углеводородов (рис. 2).

На большей части бассейна р. Тромъеган отмечается разнонаправленная динамика содержания углеводородов в воде (рис. 3).

В бассейне р. Аган концентрации углеводородов снижены, в сравнении со средними значениями на территории исследования. Анализ временных рядов позволяет проследить динамику непрерывной серии бинов с более низкими значениями (последовательные и постоянные холодные точки). В этом же районе отмечаются спорадические холодные точки, в которых фиксируются значения в интервале среднего или ниже, но никогда выше среднего.

В долинах рр. Сукуръяун, Лимпас, Ортъягун и в устьевой части р. Тромъеган картируются колеблющиеся холодные точки, регистрирующие снижение средних

показателей за последний период при относительно высоких значениях предыдущих лет наблюдений.

В целом анализ временных рядов среднегодовых концентраций в бассейне р. Тромъёган показывает чёткую тенденцию к снижению содержания углеводородов.

Рис. 3. Результаты пространственно-временного анализа среднегодовой концентрации углеводородов в поверхностных водах бассейна р. Тромъёган за период 2006–2018 гг.

Fig. 3. Results of space-time analysis of annual average hydrocarbon concentration in surface water of Tromjegan river basin for the period 2006–2018

ВЫВОДЫ

Представленная работа — результат обработки накопленного за более чем 12-летний период объёма статистической экологической информации с помощью динамического пространственно-временного анализа и определения многолетних трендов с использованием инструментов ArcGI Pro.

Временной кластерный срез среднегодовой концентрации углеводородов по показателю Getis-Ord G_i^* позволил выявить стабильную тенденцию к снижению содержания загрязнителя.

По результатам ежегодного анализа зафиксированы наиболее высокие значения содержания углеводородов в период с 2006 по 2009 гг. — с превышением предельно допустимой концентрации (ПДК) в 4–6 р. В последующие годы отмечено снижение среднегодовой концентрации загрязняющего вещества, за исключением истоков правых притоков р. Аган в 2012 г., где фиксируется разовое повышение.

Пространственно-временной анализ выявил разнонаправленную динамику содержания углеводородов на большей части бассейна исследования. При этом в бассейне

р. Аган, в долинах притоков и в устье р. Тромъёган концентрации углеводородов снижены в сравнении со средними значениями территории исследования, и тенденция к снижению сохраняется.

Полученные выводы могут служить основой для принятия управленческих решений в области экологического мониторинга на лицензионных участках распределённого фонда недр. Результаты исследования свидетельствуют о достаточно грамотной и стабильной политике в области управления экологическими рисками, ведущей к улучшению экологического состояния территории Ханты-Мансийского автономного округа — Югры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Архипова О.Е., Черногубова Е.А.* «Горячие точки» заболеваемости злокачественными новообразованиями в Ростовской области: пространственно-временной анализ. Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. Ростов-на-Дону: ФГБУН «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук», 2019. Т. 1. № 4. С. 207–211.
2. *Архипова О.Е., Черногубова Е.А.* Пространственно-временной анализ распределения рака предстательной железы (РПЖ) в районах Ростовской области. Материалы III Всероссийской конференции по молекулярной онкологии. Успехи молекулярной онкологии. М.: АБВ-пресс, 2017. Т. 4. № S4. С. 14.
3. *Добрякова В.А., Москвина Н.Н., Жегалина Л.Ф.* Статистика Getis-Ord Gi* при обработке многолетних данных содержания углеводородов в бассейне реки Большой Балык. Геодезия и картография, 2020. Т. 81. № 5. DOI:10.22389/0016-7126-2020-959.
4. *Коренной Ф.И., Петрова О.Н., Гуленкин В.М., Караулов А.К.* Применение аналитических инструментов ArcGIS для выявления пространственно-временных закономерностей распространения особо опасных заболеваний сельскохозяйственных животных. ГИС и здоровье обществ, 2017. № 1 (80). Электронный журнал: https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=24666&SECTION_ID=1098.
5. *Лёзин В.А.* Реки Ханты-Мансийского автономного округа. Справочное пособие. Тюмень: Вектор Бук, 1999. 160 с.
6. *Москвина Н.Н., Козин В.В.* Ландшафтное районирование Ханты-Мансийского автономного округа. Ханты-Мансийск: Полиграфист, 2001. 40 с.
7. *Рашевский Н.М., Санжеев Б.Х., Синицин А.А., Барихашвили В.Р.* Поддержка принятия решений при мониторинге качества атмосферного воздуха на селитебной территории. Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура, 2019. Вып. 2 (75). С. 206–214.
8. Теория статистики: Учебник. М.: Инфра, 2005. 476 с.
9. *Chainey S.* Advanced hotspot analysis: spatial significance mapping using Gi*. UCL Jill Dando Institute of Crime Science. London: University College London, 2010.
10. *Crossman N.D., Bryan B.A.* Identifying cost-effective hotspots for restoring natural capital and enhancing landscape multifunctionality. Ecological Economics, 2009. No 68 (3). P. 654–668. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2008.05.003.
11. *De Groot R.S., Alkemade R., Braat L. Hein L., Willemsen L.* Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. Ecological Complexity, 2010. No 7(3). P. 260–272. DOI: 10.1016/j.ecocom.2009.10.006.
12. *Ding L., Chen K.L., Liu T., Chen S.G., Wang X.* Spatial-temporal hotspot pattern analysis of provincial environmental pollution incidents and related regional sustainable management in China in the period 1995–2012. Sustainability, 2015. No 7. P. 14385–14407. DOI:10.3390/su71014385.

13. *Getis A., Ord J.K.* Local spatial statistics: An overview. In *Spatial Analysis: Modeling in GIS Environment*. New York, NY, USA: John Wiley & Sons Inc., 1996. P. 261–278.
14. *Griffith D., Getis A.* Spatial filtering. *Encyclopedia of GIS*. Springer, Cham impacts of urban patterns on aquatic ecosystems: an empirical analysis in Puget lowland sub-basins. *Landscape and Urban Planning*, 2017. No 80. P. 345–361.
15. *Hart T.C., Zandbergen P.A.* Kernel density estimation and hotspot mapping: Examining the influence of interpolation method, grid cell size, and bandwidth on crime forecasting. *Policing: An International Journal of Police Strategies and Management*, 2014. V. 37. P. 305–323.
16. *Maes J., Teller A., Erhard M., Lique C., Braat L., Berry P., Egoh B., Puydarrieux P., Fiorina C., Santos F., Paracchini M.L., Keune H., Wittmer H., Hauck J., Fiala I., Verburg P.H., Conde S., Schagner J.P., San Miguel J., Estreguil C., Ostermann O., Barredo J.I., Pereira H.M., Stott A., Laporte V., Meiner A., Olah B., Royo Gelabert E., Spyropoulou R., Petersen J.E., Maguire C., Zal N., Achilleos E., Rubin A., Ledoux L., Brown C., Raes C., Jacobs S., Vandewalle M., Connor D., Bidoglio G.* Mapping and assessment of ecosystems and their services: An analytical framework for ecosystem assessments under action 5 of the EU biodiversity strategy to 2020. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013. 57 p. DOI:10.2788/720519.
17. *Peng J.F., Song Y.H., Yuan P., Xiao S.H., Han L.* A novel identification method of the environmental risk sources for surface water pollution accidents in chemical industrial parks. *Journal of Environmental Sciences – China*, 2013. No 25. P. 1441–1449.
18. *Wubuli A., Xue F., Jiang D., Yao X., Upur H., Wushouer Q.* Socio-demographic predictors and distribution of pulmonary tuberculosis (TB) in Xinjiang, China: A spatial analysis. *PLoS One*, 2015. V. 10. P. 1–22.

REFERENCES

1. *Arkhipova O.E., Chernogubova E.A.* “Hot spots” of the incidence of malignant neoplasms in the Rostov region: spatio-temporal analysis. *Ecology. Economy. Computer science. Series: System analysis and modeling of economic and ecological systems*. Rostov-on-Don: Federal State Budgetary Institution “Federal Research Center Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”, 2019. V. 1. No 4. P. 207–211 (in Russian).
2. *Arkhipova O.E., Chernogubova E.A.* Spatial-temporal analysis of the distribution of prostate cancer (PCa) in the regions of the Rostov region. *Proceedings of the III All-Russian Conference on Molecular Oncology. Advances in Molecular Oncology*. Moscow: ABV-Press, 2017. V. 4. No S4. P. 14 (in Russian).
3. *Chainey S.* Advanced hotspot analysis: spatial significance mapping using Gi*. UCL Jill Dando Institute of Crime Science. London: University College London, 2010.
4. *Crossman N.D., Bryan B.A.* Identifying cost-effective hotspots for restoring natural capital and enhancing landscape multifunctionality. *Ecological Economics*, 2009. No 68 (3). P. 654–668. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2008.05.003.
5. *De Groot R.S., Alkemade R., Braat L., Hein L., Willemsen L.* Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*, 2010. No 7(3). P. 260–272. DOI: 10.1016/j.ecocom.2009.10.006.
6. *Ding L., Chen K.L., Liu T., Chen S.G., Wang X.* Spatial-temporal hotspot pattern analysis of provincial environmental pollution incidents and related regional sustainable management in China in the period 1995–2012. *Sustainability*, 2015. No 7. P. 14385–14407. DOI:10.3390/su71014385.
7. *Dobryakova V.A., Moskvina N.N., Zhegalina L.F.* Statistics Getis-Ord Gi* in adaptation of perennial hydrocarbon content data in river Bolshoy Balyk basin. *Geodesy and Cartography*, 2020. V. 81. No 5. DOI:10.22389/0016-7126-2020-959 (in Russian).

8. *Getis A., Ord J.K.* Local spatial statistics: An overview. In *Spatial Analysis: Modeling in GIS Environment*. New York, NY, USA: John Wiley & Sons Inc., 1996. P. 261–278.
9. *Griffith D., Getis A.* Spatial filtering. *Encyclopedia of GIS*. Springer, Cham impacts of urban patterns on aquatic ecosystems: an empirical analysis in Puget lowland sub-basins. *Landscape and Urban Planning*, 2017. No 80. P. 345–361.
10. *Hart T.C., Zandbergen P.A.* Kernel density estimation and hotspot mapping: Examining the influence of interpolation method, grid cell size, and bandwidth on crime forecasting. *Policing: An International Journal of Police Strategies and Management*, 2014. V. 37. P. 305–323.
11. *Korennoy F.I., Petrova O.N., Gulenkin V.M., Karaulov A.K.* The use of ArcGIS analytical tools to identify spatial and temporal patterns of the spread of especially dangerous diseases of farm animals. *GIS and Public Health*, 2017. No 1 (80). Electronic journal: https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=24666&SECTION_ID=1098 (in Russian).
12. *Lezin V.A.* The rivers of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug. Reference guide. Tyumen: Vector Book, 1999. 160 p. (in Russian).
13. *Maes J., Teller A., Erhard M., Liquele C., Braat L., Berry P., Egoh B., Puydarrieux P., Fiorina C., Santos F., Paracchini M.L., Keune H., Wittmer H., Hauck J., Fiala I., Verburg P.H., Conde S., Schagner J.P., San Miguel J., Estreguil C., Ostermann O., Barredo J.I., Pereira H.M., Stott A., Laporte V., Meiner A., Olah B., Royo Gelabert E., Spyropoulou R., Petersen J.E., Maguire C., Zal N., Achilleos E., Rubin A., Ledoux L., Brown C., Raes C., Jacobs S., Vandewalle M., Connor D., Bidoglio G.* Mapping and assessment of ecosystems and their services: An analytical framework for ecosystem assessments under action 5 of the EU biodiversity strategy to 2020. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013. 57 p. DOI:10.2788/720519.
14. *Moskvina N.N., Kozin V.V.* Landscape zoning of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug. Khanty-Mansiysk: Polygraphist, 2001. 40 p. (in Russian).
15. *Peng J.F., Song Y.H., Yuan P., Xiao S.H., Han L.* A novel identification method of the environmental risk sources for surface water pollution accidents in chemical industrial parks. *Journal of Environmental Sciences – China*, 2013. No 25. P. 1441–1449.
16. *Rashevsky N.M., Sangepov B.Kh., Sinitsyn A.A., Barikhashvili V.R.* Decision support for monitoring atmospheric air quality in residential areas. *Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture*, 2019. Iss. 2 (75). P. 206–214 (in Russian).
17. *Theory of statistics: Textbook.* Moscow: Infra, 2005. 476 p. (in Russian).
18. *Wubuli A., Xue F., Jiang D., Yao X., Upur H., Wushouer Q.* Socio-demographic predictors and distribution of pulmonary tuberculosis (TB) in Xinjiang, China: A spatial analysis. *PLoS One*, 2015. V. 10. P. 1–22.