

УДК 303.732.4

DOI: 10.22213/2410-9304-2022-2-96-105

Автоматизированная система классификации экологических ситуаций на основе анализа состояний экологических объектов

И. М. Янников, доктор технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия
М. В. Телегина, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия
Р. А. Галиакберов, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Статья посвящена вопросам создания автоматизированных систем классификации экологических ситуаций на основе анализа состояний экологических объектов.

В статье проводится анализ существующих экологических проблем, порядок их выявления, определения степени их остроты. Даются основные положения экологического картографирования.

На основе показателей результатов влияния друг на друга социума и окружающей среды показаны этапы оценивания экологических ситуаций по разным градациям их остроты. Приведен порядок выполнения необходимых действий при создании карт ландшафтов, антропогенной нагрузки на территории, карт отдельных экологических проблем.

Исходя из необходимости принятия решений по улучшению экологической ситуации рассматриваются и обосновываются вопросы количественного и качественного анализа экологической обстановки.

Авторами предлагается автоматизированная система визуализации распространения экологических проблем с применением четких и нечетких пространственных данных, с дальнейшим созданием на их основе карт экологических ситуаций. Для классификации ситуаций разработаны правила экспертного анализа.

Приводятся подробное описание основных функций системы классификации экологических ситуаций, входящих в систему модулей, диаграмма потоков данных и алгоритм работы программного обеспечения.

Рассмотрено создание карт экологических ситуаций путем применения топологического наложения слоев – полученных экологических карт и применения разработанной базы правил классификации ситуаций. Выделено шесть категорий экологических ситуаций исходя из их остроты, приводится их математическое описание.

В статье показан результат разработки и математического описания структуры хранения правил и алгоритма поиска правил в базе знаний, определения класса ситуации.

Реализованная система совместима с форматами ГИС MapInfo и Quantum GIS. Представлены направления ее дальнейшего использования на практике.

Ключевые слова: экологические проблемы, экологическое картографирование, комбинации экологических ситуаций, классификация экологических ситуаций, нечеткие данные, анализ состояния экологических объектов, оценка остроты экологических ситуаций.

Введение

Продолжающаяся деградация общего состояния природной среды в результате воздействия антропогенных факторов требует создания новых методов отображения и оценки складывающейся экологической обстановки. Указанной цели в наибольшей степени соответствует метод создания экологических карт, позволяющий наиболее полно оценивать состояние окружающей среды на конкретных территориях с учетом влияния на экологическую обстановку различных факторов антропогенного воздействия.

Экологическое картографирование отличается от других видов картографирования сложностью определения предметной отрасли в связи с отсутствием единого общепринятого объекта картографирования, в качестве которого приме-

няются: различные экосистемы, экологические ситуации, масштабы антропогенного воздействия на окружающую среду [1].

Задача усложняется недостаточной проработанностью классификаций, частым отсутствием четких признаков границ территорий с напряженной экологической обстановкой и высокой динамикой изменений ее состояния

В последнее время для обеспечения безопасности жизнедеятельности человека, мест его проживания, общества в целом актуальным становится анализ пространственно распределенных данных с целью сбора, систематизации, интеграции и принятия обоснованных решений.

Комплексное экологическое картографирование применяется достаточно давно и к настоящему времени накоплен определенный опыт картографирования проблем и ситуаций

экологического характера. Чтобы определить (классифицировать) экологическую ситуацию, необходимо собрать пространственные данные, характеризующие отдельные экологические проблемы. К таким данным относятся данные наземного объектового мониторинга, аэрокосмического мониторинга и накопленные на различных уровнях управления статистические данные.

В работе [2] указывается, что «основным элементом комплексных оценочных карт является оценка экологической ситуации, характеризующая состояние как отдельных компонентов, так и природной среды в целом». При этом под экологической ситуацией принято понимать «пространственно-временное сочетание опреде-

ленных условий и факторов, создающих на какой-либо территории экологическую обстановку разной степени благополучия (неблагополучия)» [3].

Составление карт экологических ситуаций строго методически описано и базируется на нормативно-утвержденной системе оценки экологических ситуаций. При этом в процессе оценивания должны быть как можно более полно учтены все направления и результаты взаимодействия общества и окружающей среды. Данный процесс выполняется поэтапно с определением показателей такого взаимодействия [4–7]. На рис. 1 в качестве примера приведен алгоритм создания карт природных компонентов и ландшафтов.



Рис. 1. Алгоритм создания карт природных компонентов и ландшафтов
Fig. 1. Algorithm for creating maps of natural components and landscapes

В процессе взаимовлияния общества и окружающей среды выделяют следующую последовательность:

- антропогенные воздействия влияют на природу;
- результатом влияния на окружающую среду становятся изменения в природе;

– изменения в природе порождают последствия.

Каждый из этих процессов оценивают по определенным утвержденным критериям, и результатом оценивания будет являться совокупность их показателей.

Критериями при этом являются признаки, на основании которых оцениваются результаты

жизнедеятельности человека. Показатели – это качественные значения и количественные выражения признаков критериев.

Исходя из анализа результатов исследования экологического состояния территорий можно утверждать, что первопричиной возникновения экологических проблем является антропогенный прессинг на природные системы, проявляющийся в изменениях геосистемной структуры территории [8].

В конце прошлого века стали широко распространяться геоинформационные системы (ГИС). Именно ГИС позволяют наглядно представить в цифровом виде и решать самые разнообразные задачи с пространственно-координированной информацией. И для решения задачи визуализации распространения экологических проблем, создания карт экологических ситуаций в режиме автоматического выполнения операций данные системы подходят как нельзя лучше.

Человек в процессе принятия решений, визуального анализа руководствуется не только количественной, но и качественной информацией, представляющей собой результат процесса оценивания экологического состояния территории проживания в автоматическом режиме в ГИС.

Поэтому разрабатываемая система наряду с четкими (количественными) оценками должна уметь оценивать и нечеткие данные, такие как «сильное превышение», «высокий уровень загрязнения» и т. п.

Могут быть ситуации, когда сама исходная информация об экологическом состоянии территории может носить нечеткий характер. Поэтому для составления проблемных карт должны быть использованы показатели, имеющие количественное и качественное выражение.

В соответствии с нормативами и санитарными правилами степень остроты экологических ситуаций определяют по совокупности сочетания экологических проблем в рамках рассматриваемой территории. На карте совмещаются ареалы распространения отдельных экологических проблем, и в соответствии с правилами по совокупности экологических проблем определяются экологические ситуации [9].

В работе [10] используются начальные количественные (четкие) данные. Конечный результат представляет собой территорию города, окрашенную в один из трех цветов, при этом каж-

дый цвет характеризует качественную (нечеткую) оценку экологической обстановки в городе. В данной работе информация соответствует точкам в пространстве и с применением интерполяции строятся экологические карты.

Например, в предложенной авторами настоящей статьи методике оценки экологических ситуаций загрязненных территорий процедура оценки разбита на три этапа: сбора входной информации, анализа существующих методик, создания карт экологических проблем [11].

Однако существуют ситуации, когда экологические проблемы изначально представлены в качественном (нечетком) виде, и чаще всего локализация проблем может занимать некоторую площадь [12, 13].

Если представить экологическую проблему в виде площадного объекта с соответствующим ареалом распространения, то, как правило, функция анализа совокупности площадных объектов в существующих геоинформационных системах имеется. Это так называемая функция оверлея (топологического наложения слоев). Но как показал анализ, в ГИС отсутствуют функции построения экологических карт по нечетким данным [14–17].

Предлагаемое решение

Предлагается система с возможностью создания и визуализации карт экологических проблем по известным заранее заданным четким и нечетким пространственным данным. По совокупности экологических проблем определяются экологические ситуации с применением правил экспертного анализа, позволяющих отнести набор экологических проблем к одному из классов остроты ситуации [18].

Правила экспертного анализа являются правилами продукционного типа с заданием условий «ЕСЛИ» и следствия «ТО». В качестве условия выступают наборы комбинаций экологических проблем разной степени проявления. В качестве следствия – степень остроты экологической ситуации. Комбинации экологических проблем и вытекающий из их совокупности результат оценки ситуации задаются экспертами – специалистами соответствующих областей знаний. В качестве примера приведены правила продукционного анализа для оценки экологической ситуации в Приаралье [19] (табл. 1 и 2).

Таблица 1. Пример правила для оценки напряженной экологической ситуации
Table 1. Example of a rule for assessing a tense environmental situation

	ЕСЛИ		ТО
	Показатель	Степень проявления	
	Овражная эрозия	Выше первой степени	Ситуация напряженная и приводит к снижению природно-ресурсного потенциала и активизации негативных природных процессов
И	Деградация пастбищ	Выше первой степени	
И	Хлоридное засоление почв	Выше первой степени	
И	Эрозия почвогрунтов	Выше первой степени	

Таблица 2. Пример правила для оценки катастрофической экологической ситуации
Table 2. Example of a rule for assessing a catastrophic environmental situation

	ЕСЛИ		ТО
	Показатель	Степень проявления	
	Солевая дефляция	Выше третьей степени	Ситуация катастрофическая и приводит к снижению природно-ресурсного потенциала и активизации негативных природных процессов
И	Возникновение эпизоотий	Выше третьей степени	
И	Истощение рыбных ресурсов	Выше третьей степени	
И	Потеря наземных охотничье-промысловых видов	Выше третьей степени	
И	Снижение биопродуктивности кормовых и лекарственных растений	Выше третьей степени	

Основные функции системы классификации экологических ситуаций на основе анализа состояний экологических объектов:

- импорт, экспорт и ручной ввод данных;
- построение по точечным данным изолиний, областей, соответствующих экологической проблеме и ареалу ее распространенности;
- классификация экологических ситуаций по совокупности экологических проблем;
- редактирование базы знаний (правил для классификации ситуаций).

Диаграмма потоков данных системы представлена на рис. 2.

На ней изображены основные процессы системы, потоки, объекты и хранилища данных. С точки зрения обмена данными система включает 4 основных модуля:

1) импорт данных из внешних геоинформационных систем. В данный модуль включается загрузка внешних файлов, их считывание, разбор и преобразование во внутренний формат, с которым работает система;

2) визуализация экологической ситуации – модуль системы, отвечающий за построение карты экологической ситуации;

3) анализ экологической ситуации – звено системы, которое анализирует экологическую ситуацию, а именно, выполняет поиск по базе знаний на наличие в ней аналогичной экологической ситуации, а затем извлекает класс данной ситуации и присваивает его ситуации на карте;

4) экспорт данных во внешние системы. Данный модуль преобразует получившийся результат в форматы, пригодные для существующих геоинформационных систем и формирует файл.

Общий алгоритм работы программы показан на рис. 3. Как видно из алгоритма, после импорта в систему или ручного ввода данных происходит расчет и визуализация данных.

Выполняются операции: интерполяция пространственных значений; построение изолиний и областей на карте; получение площадных объектов, соответствующих ареалам распространения экологических проблем.

Расчет и визуализация экологических карт выполняются в интерактивном режиме взаимодействия пользователя и системы, при необходимости используется руководство пользователя системой.

Интерполяция значений используется для расчета промежуточных значений величины по дискретному набору имеющихся у пользователя известных значений – полученных результатов замеров экологических параметров. Совокупность интерполированных точек, полученная в результате выполнения операции, соединяется изолиниями. Площадные объекты, соответствующие ареалам распространения экологической проблемы, формируются по изолиниям.

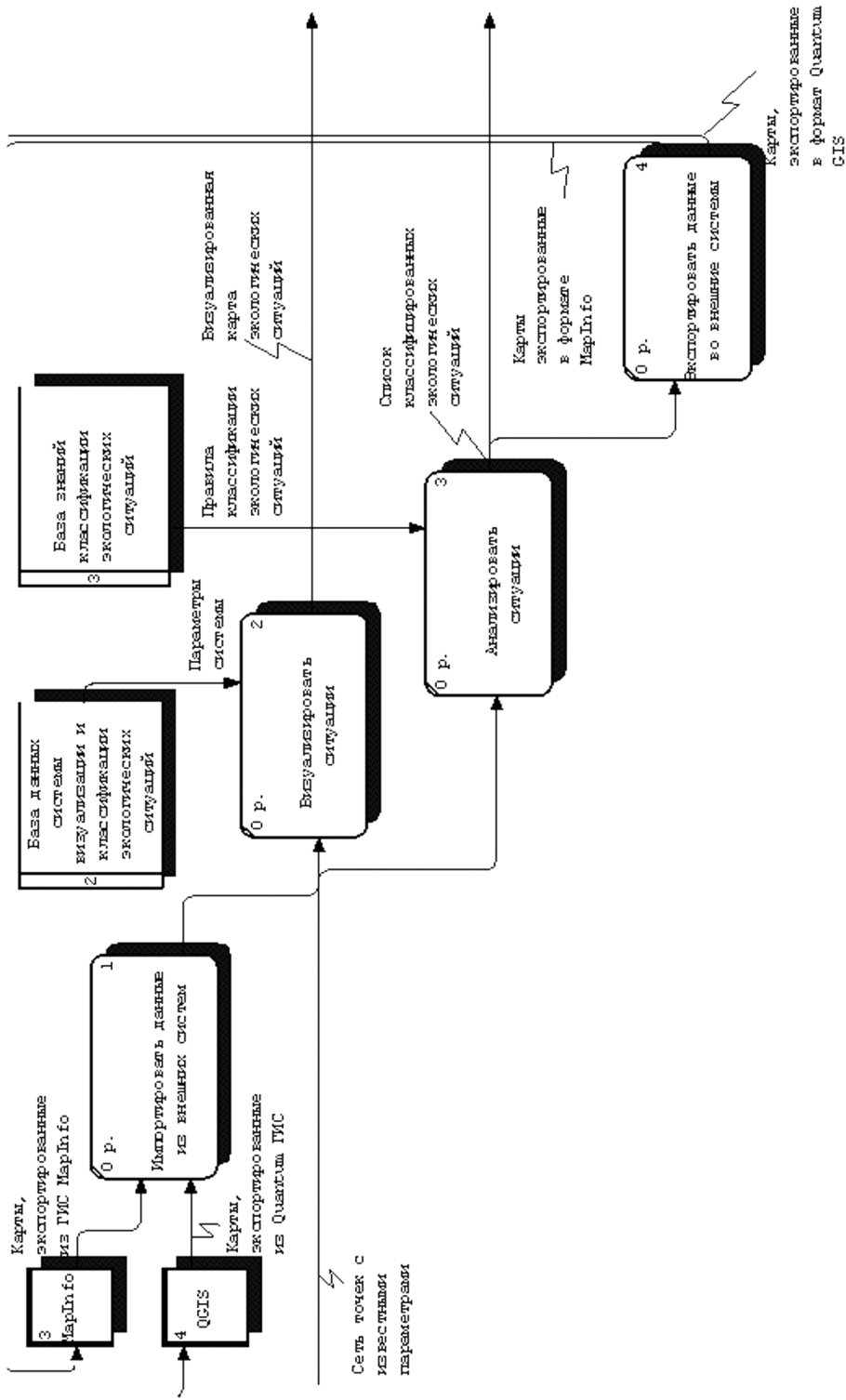


Рис. 2. Диаграмма потоков данных системы
 Fig. 2. Diagram of system data flows



Рис. 3. Алгоритм работы программы
Fig. 3. The algorithm of the program

Операции создания карты экологических ситуаций и ее сохранение как результирующего слоя выполняются на заключительном этапе работы системы.

На основе полученных экологических карт и сформированной базы правил выполняется создание карты экологических ситуаций. Применяются на данном этапе следующие методы пространственного анализа площадных объектов:

- создание оверлея;
- бинарные операции над площадными объектами.

Как в стандартных операциях топологического наложения слоев в ГИС объекты результирующего слоя (оверлея) наследуют атрибуты каждого из исходных слоев.

Контуры ареалов экологических ситуаций определяют, используя наложение и совместный анализ карт ландшафтов, использования

земель, плотности населения и синтеза всех отдельных проблемных карт. По совокупности атрибутов полученных площадных объектов (вид проблемы, степень ее проявления) оценивается острота ситуаций.

В соответствии с нормативной документацией территориальные сочетания экологических проблем условно разделяют на шесть категорий по остроте экологических ситуаций. Первая – условно удовлетворительная ситуация, вторая – конфликтная. Далее по степени напряженности – напряженная, критическая, кризисная и катастрофическая ситуации [4]. В автоматизированном режиме определения ситуации правила продукционного анализа (табл. 1 и 2) должны быть формализованы, т. е. записаны в соответствующем для понимания машины (программы) виде. На примере определения катастрофической остроты ситуации математическое описание приведено в табл. 3.

Таблица 3. Математическое описание на примере определения катастрофической остроты ситуации
Table 3. Mathematical description on the example of determining the catastrophic severity of the situation

Множество экологических ситуаций, приводящих к катастрофической степени остроты	Правила
$M = \{M_1, M_2, \dots, M_n\}$, где M – множество экологических ситуаций, приводящих к определенной степени остроты, n – количество правил классификации экологических ситуаций, $M_1 = \{П_{Hg}^4, \dots, П_{Zn}^4\}$ $M_2 = \{\dots\}$ $M_3 = \{\dots\}$ \dots $M_{10} = \{\dots\}$	$F = \{F_{M1}, F_{M2}, \dots, F_{Mn}\}$, где F – классы анализируемых экологических ситуаций. $(F_{M1} \vee F_{M2} \vee \dots \vee F_{M10}) \Rightarrow Sit_{kaT}$, где Sit_{kaT} – ситуация катастрофическая; $F_{M1} = C_{7\kappa}^{k1}$, $\kappa_1 \geq 3$, где C_n^k – количество сочетаний из n по k , $C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)}$ $F_{M2} = C_{17}^{k2}$, $k_2 \geq 5$ $F_{M3} = П_{Fe}^3 \wedge П_{Fe}^2 \wedge П_S^3 \wedge П_S^2 \wedge П_{pH}^{-2} \wedge П_Y^3$ $F_{M4} = П_Y^3 \wedge П_{Fe}^3 \wedge П_{Hg}^3$ $F_{M5} = C_7^{k3}$, $k_3 \geq 3$ $F_{M6} = C_7^{k4}$, $k_4 \geq 3$ $F_{M7} = C_{18}^{k5}$, $k_5 \geq 5$ $F_{M8} = C_{18}^{k6}$, $k_6 \geq 5$ $F_{M9} = C_{18}^{k7}$, $k_7 \geq 3$ \dots

Выводы и заключение

В целях решения поставленных задач было проведено исследование экологических проблем почв Удмуртии для разработки базы правил системы. Совместно с экспертами были составлены правила для классификации экологических ситуаций.

Для решения задачи автоматизации классификации экологических ситуаций была разработана, математически описана структура хранения правил и алгоритм поиска правил в базе знаний и определения класса ситуации. Выполнена реализация системы, совместимая с форматами ГИС MapInfo и Quantum GIS.

Разработанную систему можно использовать для предварительной оценки остроты экологических ситуаций с последующим зонированием территорий по качеству окружающей среды.

Полученные результаты можно использовать для более детального исследования с целью выработки обоснованных решений по реабилитации загрязненной территории.

Разработанные методы могут применяться также в качестве основы для планирования мероприятий оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) и использоваться организациями, разрабатывающими соответствующий раздел на стадии обоснования инвестиций в строительство.

При необходимости в разработанной системе классификации экологических ситуаций на основе анализа состояний экологических объектов можно использовать как данные экологического мониторинга зон влияния потенциально опасных объектов, так и данные санитарно-гигиенического мониторинга населения этих зон для достоверной оценки складывающейся ситуации в зоне влияния потенциально опасных объектов.

Библиографические ссылки

1. Стурман В. И. Экологическое картографирование: учеб. пособие. М. : Аспект Пресс, 2003. 251 с.
2. Лешан И. Ю., Брехова И. Н. Комплексное экологическое картографирование. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnoe-ekologicheskoe-kartografirovanie> (дата обращения 15.02.2022).
3. Словари и энциклопедии на Академике. Википедия. URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/194906> (дата обращения 7.03.2022).
4. Природопользование и геоэкология Удмуртии : монография / под ред. В. И. Стурмана. Ижевск : Удмуртский университет, 2013. 384 с.
5. Егоренков Л. И., Кочуров Б. И. Геоэкология : учеб. пособие. М. : Финансы и статистика, 2005. 320 с.
6. Бакуменко Л. П., Коротков П. А. Интегральная оценка качества и степени экологической устойчивости окружающей среды региона (на примере Республики Марий Эл) // Прикладная эконометрика. 2008. № 1 (9). С. 73–92.
7. Геоэкологическая оценка территории и реабилитация : учебное пособие / под ред. Н. Г. Курамшиной ; [Н. Г. Курамшина и др.] ; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. Уфа : УГАТУ, 2021. URL: https://www.ugatu.su/media/uploads/MainSite/Ob%20universitete/Izdateli/El_izd/2021-33.pdf (дата обращения 7.03.2022 г.).
8. Антипова А. В., Кочуров Б. И., Костовска С. К. Предвидение экологических ситуаций на базе прогноза экологического развития // История и современность. 2007. № 2. С. 3–25. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/predvidenie-ekologicheskikh-situatsiy-na-baze-prognoza-istoricheskogo-razvitiya>.
9. Кочуров Б. И., Жеребцова Н. А. Картографирование экологических ситуаций (состояние, методология, перспективы) // География и природные ресурсы. 1995. № 3.
10. Целых А. Н., Тимошенко Р. П. Принятие решений в экологической геоинформационной системе на основе нечеткой модели классификации. URL: <http://bibliofond.ru/view.aspx> (дата обращения: 12.03.2022).
11. Янников И. М., Телегина М. В., Шабардин М. В. Оценка экологической ситуации загрязненных территорий // Интеллектуальные системы в производстве. 2019. Т. 17, № 2. С. 100–104.
12. Создание карт экологических ситуаций с использованием нечетких данных / М. В. Телегина, Е. Н. Исенбаева, Н. А. Караваев, А. Н. Саввинова // Вестник ИжГТУ. 2014. № 2 (62). С. 143–146.
13. Природопользование и геоэкология Удмуртии : монография / под ред. В. И. Стурмана. Ижевск : Удмуртский университет, 2013. 384 с.
14. Алексеев В. А., Телегина М. В., Янников И. М. Применение методов нечеткой логики в задачах анализа экологических данных // Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск «Интеллектуальные САПР». 2009. № 12. С. 143–148.
15. Шокин Ю. И., Потапов В. П. ГИС сегодня: состояние, перспективы, решения // Вычислительные технологии. 2015. Т. 20, № 5. URL: <http://www.ict.nsc.ru>.
16. Геоинформационная система. TADVISER Государство. Бизнес. Технологии. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Геоинформационная_система (дата обращения: 24.02.2022).
17. Разработка функциональной модели. URL: https://sites.google.com/site/anisimovkhv/learning/prislecture/tema6/tema6_3.
18. Караваев Н. А., Телегина М. В., Янников И. М. Автоматизированная система классификации экологических ситуаций на основе анализа состояний экологических объектов в пределах определенной территории : Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2015660250 от 25.09.2015 г.
19. Егоренков Л. И., Кочуров Б. И. Геоэкология : учеб. пособие. М. : Финансы и статистика, 2005. 320 с.

References

1. Sturman V.I. *Ekologicheskoe kartografirovanie* [Ecological mapping: textbook]. allowance. Moscow: Aspect Press, 2003. 251 p. (in Russ.).
2. Leshan I.Yu., Brekhova I.N. Integrated ecological mapping. [Website]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnoe-ekologicheskoe-kartografirovanie> (accessed 02/15/2022) (in Russ.).
3. *Slovari i entsiklopedii na Akademike. Vikipediya* [Dictionaries and encyclopedias at Academician. Wikipedia]. Available at: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/194906> (accessed 03/07/2022) (in Russ.).
4. *Prirodopol'zovanie i geoekologiya Udmurtii : monografiya* [Nature management and geoecology of Udmurtia: monograph] / ed. IN AND. Sturman. Izhevsk: Udmurt University Publ., 2013. 384 p.
5. Egorenkov L.I., Kochurov B.I. *Geoekologiya : ucheb. posobie* [Geoecology: Textbook]. Moscow: Finance and statistics, 2005. 320 p. (in Russ.).
6. Bakumenko L.P., Korotkov P.A. [Integral assessment of the quality and degree of environmental sustainability of the region's environment (on the example of the Republic of Mari El)]. *Applied Econometrics*. 2008. No. 1. Pp. 73-92 (in Russ.).
7. *Geoekologicheskaya otsenka territorii i reabilitatsiya : uchebnoe posobie* [Geoecological assessment of the territory and rehabilitation: textbook] / ed. N. G. Kuramshina; [N. G. Kuramshina and others]. Ufa : UGATU, 2021. Available at: https://www.ugatu.su/media/uploads/MainSite/Ob%20universitete/Izdateli/El_izd/2021-33.pdf (Accessed 03/07/2022) (in Russ.).

8. Antipova A.V., Kochurov B.I., Kostovska S.K. [Prediction of environmental situations based on the forecast of environmental development]. *History and Modernity*. 2007. No. 2. Pp. 3-25. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/prevision-ekologicheskikh-situatsiy-na-baze-prognoza-istoricheskogo-razvitiya> (in Russ.).
9. Kochurov B.I., Zherebtsova N.A. [Mapping of ecological situations (state, methodology, prospects)]. *Geography and natural resources*. 1995. No. 3 (in Russ.).
10. Tselykh A.N., Timoshenko R.P. *Prinyatie reshenii v ekologicheskoi geoinformatsionnoi sisteme na osnove nechetkoi modeli klassifikatsii* [Decision making in an ecological geoinformation system based on a fuzzy classification model]. Available at: [http:// bibliofond.ru/view.aspx](http://bibliofond.ru/view.aspx) (accessed 03/12/2022) (in Russ.).
11. Yannikov I.M., Telegina M.V., Shabardin M.V. [Assessment of the ecological situation of polluted territories]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2019. Vol. 17, no. 2. Pp. 100-104 (in Russ.).
12. Telegina M.V., Isenbaeva E.N., Karavaev N.A., Savvinova A.N. [Creating maps of environmental situations using fuzzy data]. *Vestnik IzhGTU*. 2014. No. 2. Pp. 143-146 (in Russ.).
13. *Prirodopol'zovanie i geoekologiya Udmurtii : monografiya* [Nature management and geocology of Udmurtia: monograph] / ed. IN AND. Sturman. Izhevsk: Udmurt University Publ., 2013. 384 p. (in Russ.).
14. Alekseev V.A., Telegina M.V., Yannikov I.M. [Application of fuzzy logic methods in the problems of environmental data analysis]. *Izvestiya SFU. Technical science. Thematic issue "Intellectual CAD"*. 2009. No. 12. Pp. 143-148 (in Russ.).
15. Shokin Yu.I., Potapov V.P. [[GIS today: state, prospects, solutions]. *Computational technologies*. 2015. Vol. 20, no. 5. Available at: <http://www.ict.nsc.ru> (in Russ.).
16. *Geoinformatsionnaya sistema. TADVISER Gosudarstvo. Biznes. Tekhnologii* [Geoinformation system. TADVISER State. Business. Technologies]. Available at: [https://www.tadviser.ru/index.php/Geoinformation system](https://www.tadviser.ru/index.php/Geoinformation%20system) (accessed 24.02.2022) (in Russ.).
17. *Razrabotka funktsional'noi modeli* [Development of a functional model]. Available at: https://sites.google.com/site/anisimovkhv/learning/pris/lecture/tema6/tema6_3 (in Russ.).
18. Karavaev N.A., Telegina M.V., Yannikov I.M. *Avtomatizirovannaya sistema klassifikatsii ekologicheskikh situatsii na osnove analiza sostoyanii ekologicheskikh ob"ektov v predelakh opredelennoi territorii* [Automated system for classifying environmental situations based on the analysis of the states of environmental objects within a certain territory : Certificate of registration of computer programs No. 2015660250 dated 09/25/2015].
19. Egorenkov L.I., Kochurov B.I. *Geoekologiya* [Geocology: Textbook]. Moscow: Finance and statistics, 2005. 320 p. (in Russ.)

Automated System for Classification of Environmental Situations Based on the Analysis of the State of Environmental Objects

I. M. Yannikov, DrSc in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

M. V. Telegina, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

R. A. Galiakberov, Postgraduate, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

The article is devoted to the creation of automated systems for classification of environmental situations based on the analysis of the states of environmental objects.

The article analyzes the existing environmental problems, the procedure for their identification, determining the degree of their severity. The main provisions of ecological mapping are given.

Based on the indicators of the results of the influence of society and the environment on each other, the stages of assessing environmental situations according to different gradations of their severity are shown. The procedure for performing the necessary actions when creating maps of landscapes, anthropogenic load on the territory, maps of individual environmental problems is given.

Based on the need to make decisions to improve the environmental situation, the issues of quantitative and qualitative analysis of the environmental situation are considered and substantiated.

The authors propose an automated system for visualizing the spread of environmental problems using clear and fuzzy spatial data, with further creation of maps of environmental situations based on them. Rules for expert analysis have been developed to classify situations.

A detailed description of the main functions of the system for classifying environmental situations, included in the system of modules, a diagram of data flows and an algorithm for the operation of the software are given.

The creation of maps of ecological situations by applying a topological overlay of layers - obtained ecological maps and using the developed base of rules for classifying situations is considered. Six categories of environmental situations are identified based on their severity, and their mathematical description is given.

The article shows the result of the development and mathematical description of the structure of storing rules and the algorithm for searching for rules in the knowledge base, determining the class of the situation.

The implemented system is compatible with the MarInfo and Quantum GIS GIS formats. the directions of its further use in practice are presented.

Keywords: environmental problems, environmental mapping, combinations of environmental situations, classification of environmental situations, fuzzy data, analysis of the state of environmental objects, assessment of the severity of environmental situations.

Получено: 16.03.22