

УДК 004.9: (504.03 + 620.9)

DOI: 10.25729/ESI.2023.29.1.010

Технология оценки загрязнений окружающей среды объектами энергетики с применением информационно-вычислительной системы WICS

Кузьмин Владимир Русланович

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН,

Россия, Иркутск, *kuzmin_vr@isem.irk.ru*

Аннотация. В статье рассмотрено развитие технологии оценки загрязнения окружающей среды объектами энергетики с применением информационно-вычислительной системы (ИВС) WICS, основанной на авторских методическом подходе и инструментальных средствах. Описан предложенный оригинальный алгоритм пост-обработки результатов расчёта рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Представлена подсистема IS EDC, предназначенная для проведения оценки экономического ущерба окружающей среде, наносимого в результате выбросов объектов энергетики в атмосферу. В статье также описаны результаты развития встроенных в ИВС WICS средств визуализации полученных результатов.

Ключевые слова: информационно-вычислительная система, объекты энергетики, окружающая среда, оценка загрязнений, визуализация

Цитирование: Кузьмин В.Р. Технология оценки загрязнений окружающей среды объектами энергетики с применением информационно-вычислительной системы WICS / В.Р. Кузьмин // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2023. – № 1(29). – С. 111-122. – DOI: 10.25729/ESI.2023.29.1.010.

Введение. В отделе Систем искусственного интеллекта в энергетике ИСЭМ СО РАН в рамках работы по интеграции исследований устойчивости энергетических, экологических и социальных систем ведётся разработка информационно-вычислительной системы ИВС WICS для оценки загрязнения окружающей среды объектами энергетики и поддержки принятия решений по снижению их вредного воздействия. Предложена технология оценки загрязнения окружающей среды объектами энергетики и поддержки принятия решений по снижению их вредного воздействия с применением ИВС WICS, основанной на авторском методическом подходе, интегрирующем разрозненные методики с применением семантических технологий, который был подробно описан в [1]. Под объектами энергетики в статье понимаются энергоисточники, работающие на органическом топливе.

В 2022 году было выполнено развитие технологии, основанное на продолжении разработки ИВС WICS. Одним из результатов стал алгоритм пост-обработки результатов расчётов рассеивания. Разработка этого алгоритма потребовалась в связи с тем, что используемая методика для расчёта рассеивания загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферном воздухе позволяет рассчитать максимальную разовую концентрацию ЗВ, а также рассчитать средне-периодную концентрацию ЗВ в атмосферном воздухе, однако, в ней отсутствуют методы для построения полей концентрации ЗВ от источников выбросов в течение временного промежутка. Разработанный алгоритм позволяет решить эту проблему.

При оценке загрязнения окружающей среды объектами энергетики важно не только выполнить расчёты количественных показателей выбросов ЗВ и рассчитать их рассеивание в атмосферном воздухе, но и оценить экономический ущерб, наносимый окружающей среде. С этой целью в ИВС WICS был добавлен компонент IS EDC, который позволяет оценить экономический ущерб, нанесённый окружающей среде, а именно, атмосферному воздуху, на основе количественных показателей выбросов ЗВ с использованием утверждённых нормативных методик.

В прошедшем году также велось улучшение средств визуализации полученных результатов с использованием картографических сервисов. В связи с выявленными проблемами,

которые подробно описаны в соответствующем разделе статьи, была выполнена замена картографического сервиса Яндекс.Карты с модулем «Тепловая карта» на сервис OpenStreetMap с использованием библиотеки с открытым исходным кодом OpenLayers. Смена картографического сервиса позволила улучшить как качество, так и информативность визуализации результатов. Также в компонент IS SMP, отвечающего за работу с результатами анализа проб снега, была добавлена поддержка интерполяции результатов. Необходимость интерполяции связана с тем, что процесс снегосъёмки является затратным как с точки зрения времени, так и финансов. Таким образом, для оценки загрязнения окружающей среды представляется разумным использование методов интерполяции полученных результатов.

Алгоритм пост-обработки результатов расчётов рассеивания. Одним из компонентов ИВС WICS является подсистема IS EMS. IS EMS предназначена для расчёта рассеивания ЗВ в атмосферном воздухе на основе результатов, полученных с использованием подсистемы IS PEF, отвечающей за расчёт количественных показателей выбросов от объектов энергетики. Работа IS EMS основана на утверждённой нормативной методике МРР-2017 [2]. Однако, как было сказано во введении, в МРР-2017 отсутствуют методы для построения полей концентрации ЗВ от источников выбросов в течение временного промежутка. Необходимость наличия такого инструмента объясняется тем, что хотя МРР-2017 и обладает средствами для расчёта полей долгопериодных средних концентраций, при расчёте долгопериодных концентраций используются «... осредненная мощность M выброса ЗВ, осредненная скорость w_0 выхода ГВС из устья источника и ее вертикальной составляющей w_s , объемного расхода V_l ГВС и осредненный перегрев ГВС относительно окружающего атмосферного воздуха ΔT », а направление ветра в рассматриваемый период берется в виде розы ветров. Использование усредненных значений может привести к некорректным итоговым значениям полей, поэтому для построения полей концентрации ЗВ от источников выбросов в течение временного промежутка был предложен алгоритм пост-обработки результатов расчётов рассеивания ЗВ в атмосферном воздухе (рис. 1).

Концентрации загрязняющих веществ агрегируются в рамках одного загрязняющего вещества, то есть агрегация концентраций загрязняющих веществ различных типов (например, оксида азота и оксида серы) не проводится. Рассмотрим алгоритм (рис. 1) подробнее на примере одного загрязняющего вещества.

Алгоритм включает тройной цикл. Сначала инициализируется массив итоговых результатов (*total_result_elements*), в который в процессе заносятся результаты пост-обработки. В цикле первого уровня выполняется последовательный обход всех элементов результата расчёта рассеивания (массив *result_elements*). Элемент результата содержит в себе информацию о типе загрязняющего вещества и массив с результатами расчёта концентрации загрязняющего вещества на различном расстоянии от объекта (обозначим как *cmu_datum*).

В цикле второго уровня выполняется последовательный перебор массива *cmu_datum* (обозначим элемент как *cmu_data*). Если значение концентрации в точке *cmu_data* не превышает минимальное значение загрязняющего вещества (обозначаемого как $\varepsilon_{MIN_CONC_I}$), то такое значение отбрасывается как незначительное и выполняется переход к следующему значению. Значение $\varepsilon_{MIN_CONC_I}$ задаётся при создании расчёта (по умолчанию устанавливается равным 0.00001 мг/м^3).

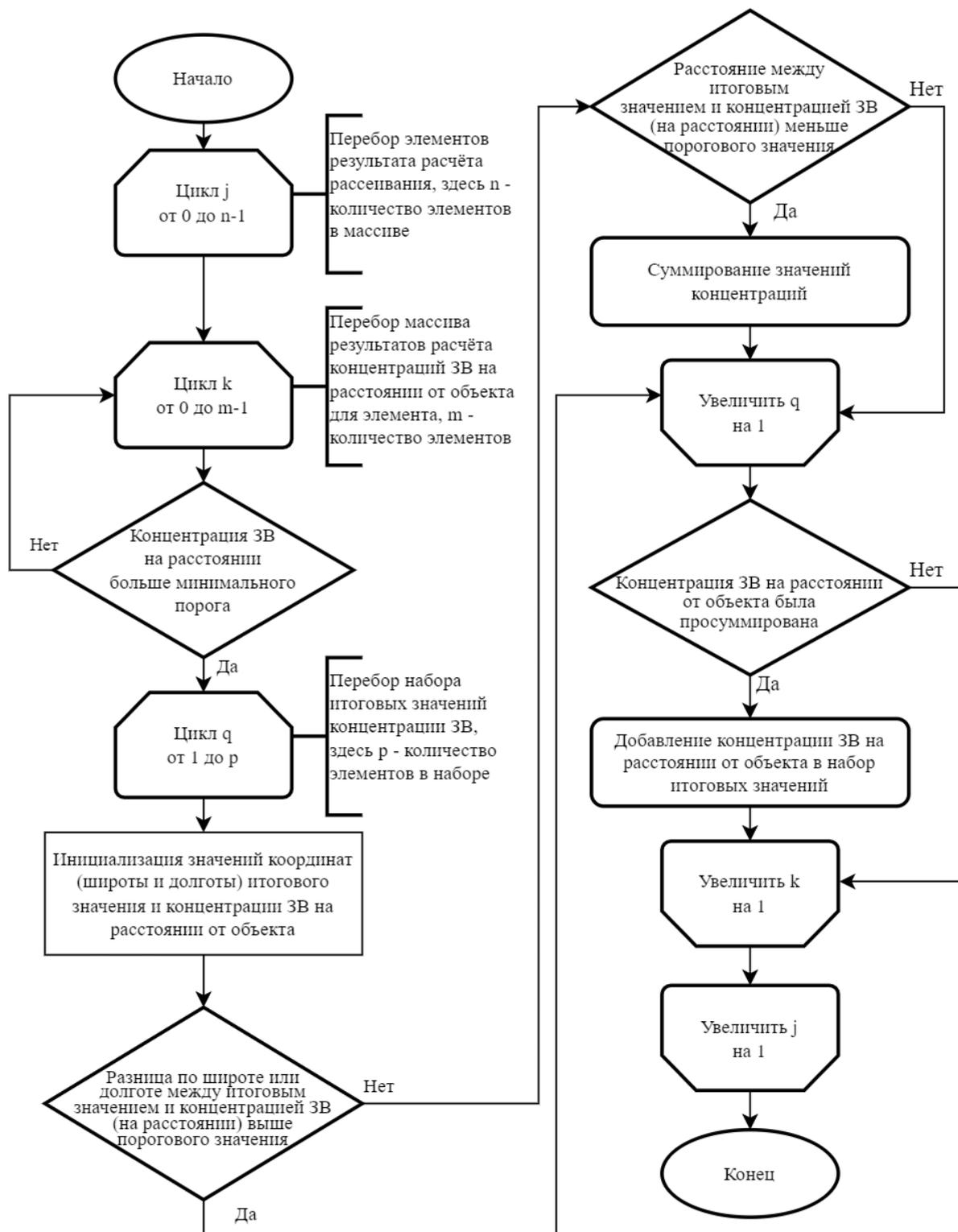


Рис. 1. Блок-схема алгоритма пост-обработки результатов расчётов рассеивания

В цикле третьего уровня выполняется обход массива *total_result_elements* (обозначим элемент как *total_result_element*). На данном этапе выполняется оценка возможности агрегации результатов расчёта в точке. Для этого точка должна удовлетворять следующим критериям:

- Разница между координатами точек *result_element* и *ctm_data* не должна превышать $\epsilon_{CRD_DIST_MAX}$. Если разница между координатами больше, то такие точки признаются удалёнными друг от друга и выполняется переход к следующему элементу массива *result_element*. $\epsilon_{CRD_DST_MAX}$ задаётся при создании расчёта, по умолчанию оно установ-

ливается равным 0.01. Такое значение приблизительно соответствует расстоянию между рассматриваемыми точками в один километр. Этот критерий был введен, так как количество элементов в *cmu_datum* для всех результатов одного расчёта может превышать несколько миллионов. Данная проверка позволяет быстро оценить возможность агрегации точек и ускорить работу алгоритма.

- Если точка *cmu_data* удовлетворяет предыдущему условию, выполняется расчёт расстояния между *total_result_element* и *cmu_data*. Если расстояние между точками меньше, чем ε_{DST_MAX} (по умолчанию равно 0.1 км, может быть задано при создании расчёта), то производится суммирование значений концентрации и полученное значение записывается в *result_element*.

Если в результате, после завершения работы цикла третьего уровня, *cmu_data* не может быть суммирован ни с одним *total_result_element*, а значение концентрации в *cmu_data* превышает $\varepsilon_{MIN_CONC_I}$, то выполняется внесение *cmu_data* в *total_result_elements*.

После завершения работы всех циклов выполняется дополнительная фильтрация значений массива итоговых результатов *total_result_elements* с целью исключения точек с незначительными итоговыми значениями. Из массива удаляются точки, в которых значение концентрации не превысило $\varepsilon_{TOTAL_MIN_CONC_I}$ – минимальной итоговой концентрации *i*-го загрязняющего вещества в мг/м³, по умолчанию задаётся равной 1 и может быть установлена пользователем при создании расчёта. Результаты пост-обработки затем записываются в базу данных и используются для визуализации результатов расчётов рассеивания загрязняющих веществ.

Подсистема IS EDC для оценки экономического ущерба. Для оценки экономического ущерба, нанесённого атмосферному воздуху, была разработана подсистема IS EDC. IS EDC основана на утверждённых нормативных методиках [3] и [4], и использует авторский способ организации процесса оценки экономического ущерба от загрязнения окружающей среды объектами энергетики. Основные шаги процесса:

1. Выполнить расчёт количественных показателей выбросов ЗВ от объектов энергетики.
2. На основании временного периода, для которого будет выполняться оценка ущерба, выбрать подходящую нормативную методику.
3. Внести дополнительные сведения об объекте энергетики (температура уходящих газов) и ряд дополнительных сведений в зависимости от выбранной нормативной методики для оценки (коэффициента инфляции, плотности населения и других).
4. Выполнить оценку экономического ущерба, наносимого объектами энергетики окружающей среде.

В предложенном способе необходимо обратить внимание на второй этап. В январе 2021 года в Российской Федерации вступила в действие методика [3], которая заменила собой методику [4]. Эти методики требуют различных наборов данных для выполнения расчётов, однако, главным отличием этих методик является их применимость к времени оценки. Как сказано в пункте 7 главы 1 методики [3], «Настоящая Методика не применяется при исчислении размера вреда, причиненного атмосферному воздуху, как компоненту природной среды, до ее принятия». Поэтому, для проведения оценок экономического ущерба в период до вступления методики в силу (28 января 2021 года) следует использовать старую методику.

Разработанная подсистема IS EDC позволяет выполнить расчёты как для оценки текущей ситуации, так и оценить экономическую эффективность мероприятий, направленных на снижение выбросов ЗВ от объектов энергетики.

В рамках исследований влияния объектов энергетики, расположенных в Центральной экологической зоне Байкальской природной территории, на окружающую среду была выполнена апробация разработанной подсистемы IS EDC. Расчёт был выполнен для 48 котель-

ных, использующих различные виды угля, данные взяты по состоянию на 2015 год. Результаты расчёта представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты расчёта экономического ущерба

Объект энергетики	Ущерб от твердых веществ, руб	Ущерб от SO ₂ , руб	Ущерб от NO ₂ , руб	Общий ущерб, руб
Еланцы, центральная котельная	1 700 000	737 000	1 400	2 438 400
Выдрино, котельные №1-4	3 178 000	1 378 000	2 500	4 558 500
Северобайкальск, котельная №10	370 000	81 000	3 300	454 300

Общий ущерб составил около 68 миллионов рублей.

Также была выполнена оценка сценария по реализации мероприятий, направленных на снижение выбросов загрязняющих веществ. В рамках сценария предусматривалась установка систем очистки со степенью фильтрации 90% на рассматриваемых объектах энергетики с установленной мощностью свыше 1 Гкал/ч. Результат представлен в таблице 2.

Таблица 2. Результаты расчёта экономического ущерба

Объект энергетики	Ущерб от твердых веществ, руб	Ущерб от SO ₂ , руб	Ущерб от NO ₂ , руб	Общий ущерб, руб
Еланцы, центральная котельная	170 000	737 000	1 400	908 000
Выдрино, котельные №1-4	317 000	1 370 000	2 500	1 689 000
Северобайкальск, котельная №10	37 000	81 000	3 300	121 300

В случае реализации рассмотренного сценария общий ущерб снижается на 43 миллиона рублей (до 25 миллионов рублей).

Развитие средств визуализации. Также была выполнена работа по развитию средств визуализации, встроенных в ИВС WICS.

Ранее в ИВС WICS для геовизуализации полученных результатов использовался сервис Яндекс.Карты с подключенным модулем «Тепловая карта». Этот сервис позволял визуализировать полученные результаты на карте, однако, в процессе разработки были выявлены существенные недостатки в работе модуля, связанные, во-первых, с некорректным отображением результатов расчётов рассеивания, а во-вторых, с невозможностью точной настройки отображения полученных результатов. Пример визуализации результатов расчётов рассеивания с использованием модуля «Тепловая карта», показан на рисунке 2. Чем выше концентрация загрязняющего вещества в точке, тем краснее будет её представление на карте (цвета изменяются от зелёного к красному). Синими маркерами на карте обозначены объекты энергетики.

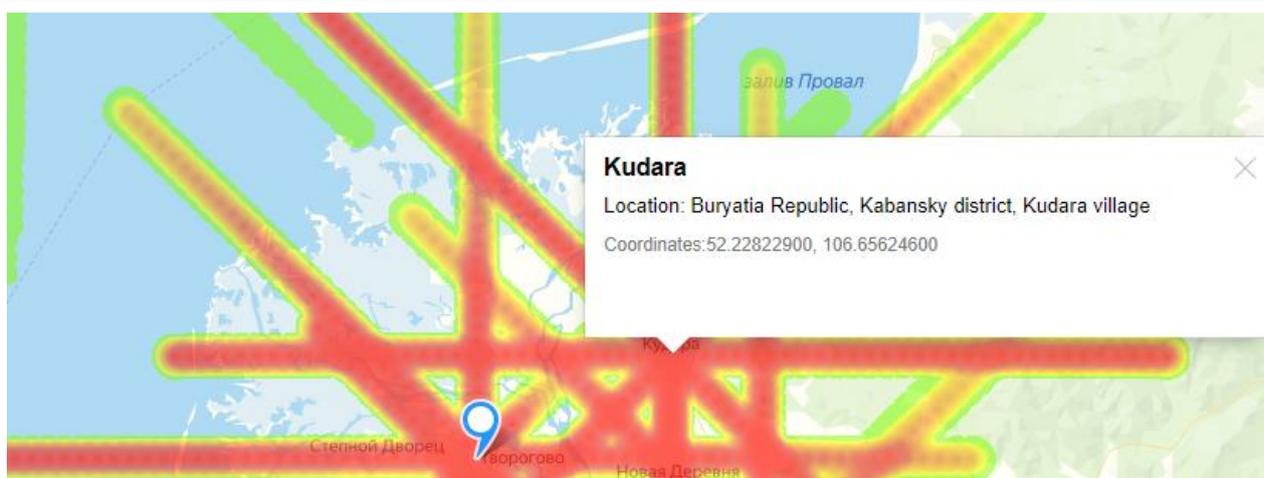


Рис. 2. Визуализация результатов расчётов рассеивания с использованием сервиса Яндекс.Карты и модуля «Тепловая карта»

Как можно видеть из представленного рисунка, модуль «Тепловая карта» некорректно отображает данные, так как, на некоторых из направлений рассеивания загрязняющих веществ, их концентрация визуально не снижается, хотя реальные количественные показатели в точках на этом направлении могут существенно различаться, в том числе, на порядки.

В связи с этим было принято решение о переходе на другой картографический сервис. В результате анализа существующих сервисов был выбран сервис OpenStreetMap и библиотека с открытым исходным кодом OpenLayers. После подключения данного сервиса в ИВС WICS результаты визуализации расчёта рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе стали выглядеть следующим образом (рисунок 3). Чем выше концентрация загрязняющего вещества в точке, тем краснее будет её представление на карте (изменение цвета идёт от голубого к красному). Синими маркерами на карте обозначены объекты энергетики.

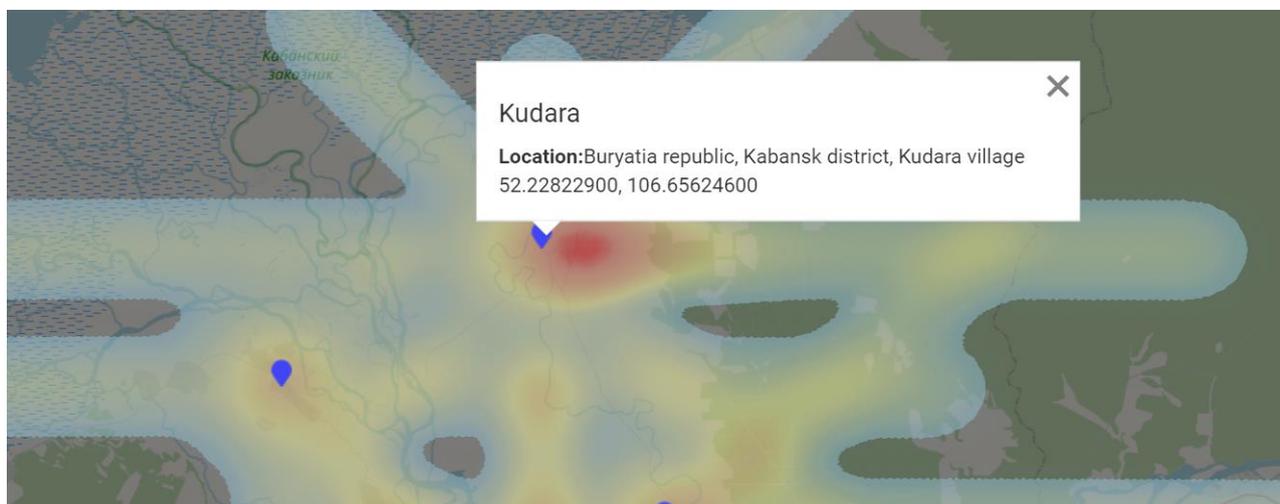


Рис. 3. Визуализация результатов расчётов рассеивания с использованием сервиса OpenStreetMap и библиотеки OpenLayers

Представленное на рисунке геовизуальное отображение результатов соответствует количественным показателям, полученным в результате расчёта.

Также в ИВС WICS в рамках подсистемы IS SMP, предназначенной для работы с результатами анализа проб снега, была реализована поддержка интерполяции полученных результатов. Для выполнения интерполяции были выбраны два метода: метод эмпирического байесовского кригинга и метод обратных взвешенных расстояний.

Эмпирический байесовский кригинг (ЭБК) – это метод геостатистической интерполяции, автоматизирующий наиболее трудоемкие аспекты построения корректной модели кригинга. ЭБК отличается от других методов кригинга тем, что учитывает ошибку, связанную с оценкой основной вариограммы. Другие методы кригинга рассчитывают вариограмму на основе известных местоположений данных и используют эту единственную вариограмму для прогнозирования в неизвестных местоположениях; ЭБК неявно предполагает, что расчетная вариограмма является истинной для региона интерполяции [5-7]. ЭБК используется для различных задач: от поиска неоднородностей в распределении органического углерода [8] до анализа качества воды [9] и предсказания уровня никеля в почве [10].

Результаты, полученные с использованием этого метода интерполяции, оказались некорректными. Основной ошибкой было предсказание крайне высоких показателей для точек, находящихся на значительном удалении друг от друга, в ряде случаев в точке было предсказано отрицательное значение.

Для сравнения приведен рисунок 4, отображающий не интерполированные результаты анализа проб снега на содержание SO_4^{2-} – синими маркерами обозначены объекты энергетики, красными – места взятия проб снега. Сведения для результатов анализа проб снега взяты по состоянию на 2015 год из публикаций ЛИН СО РАН, ФГБУ «Иркутское УГМС», ИГ СО РАН, и Государственных докладов [11-15]. Рисунок 5 показывает результат интерполяции этих результатов методом ЭБК.

Комментарий к рисунку 5. Содержание данного рисунка было получено на этапе перехода от сервиса Яндекс.Карты к OpenStreetMap и добавления поддержки интерполяции результатов, поэтому цветовая гамма, использованная для отображения, отличается от гаммы, представленной на рисунках 4 и 6. Также на данном рисунке красными маркерами обозначены объекты энергетики, а синими – места взятия проб.

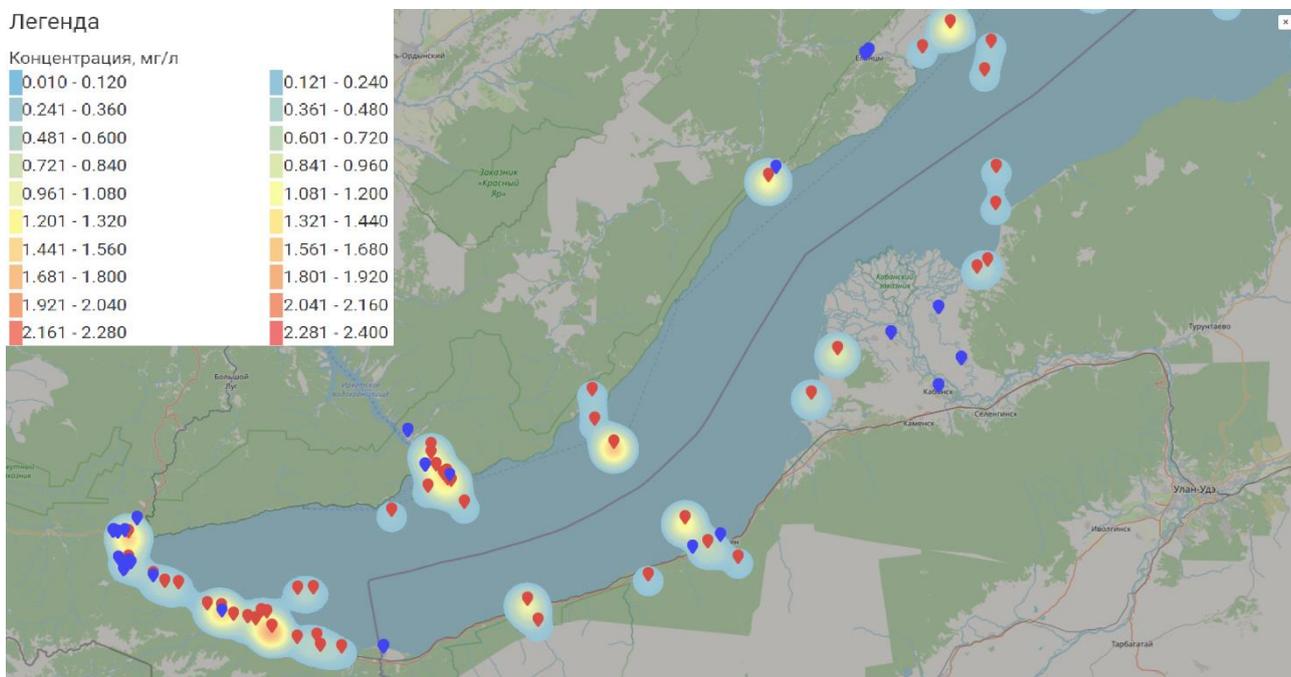


Рис. 4. Геовизуализация результатов анализа проб снега на содержание SO_4^{2-}

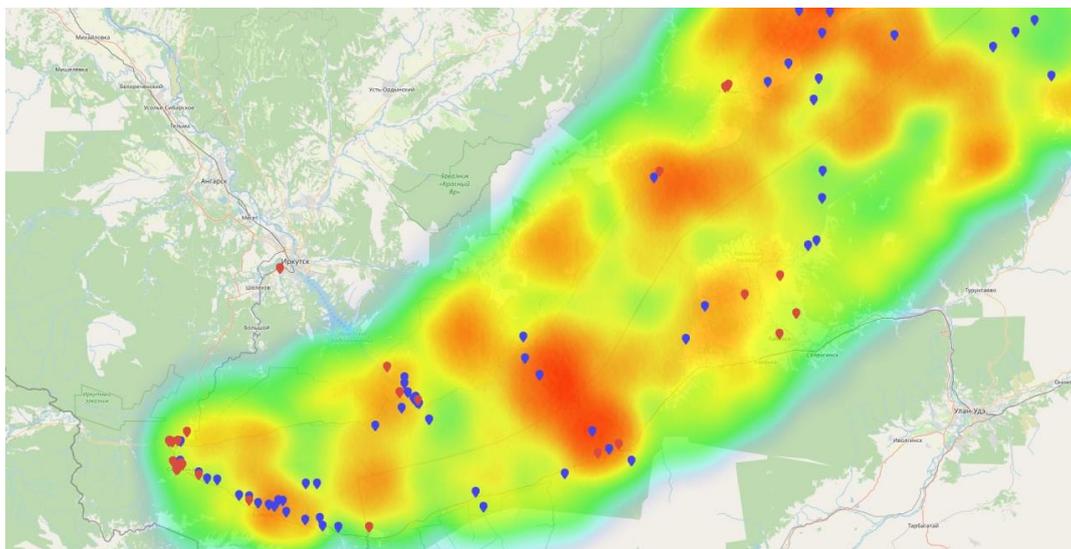


Рис. 5. Геовизуализация интерполяции результатов анализа проб снега на содержание SO_4^{2-} методом эмпирического байесовского кригинга

Также, для интерполяции результатов анализа проб снега был использован метод обратных взвешенных расстояний (англ. Inverse Distance Weighting (IDW)). IDW – метод интерполяции, в основе которого лежит предположение, что объекты, которые находятся поблизости, более подобны друг другу, чем объекты, удаленные друг от друга. Для выполнения интерполяции значений для ещё не просчитанных точек метод использует известные значения вокруг точки. Наиболее близкие значения оказывают большее влияние на прогнозируемое значение, чем те, которые находятся на значительном расстоянии. При работе метода предполагается, что измеренные точки обладают локальным влиянием, которое снижается при увеличении расстояния. Таким образом, точки, расположенные ближе к интерполируемому месту, имеют больший вес [16-18]. Метод используется, в частности, для восстановления частично определённых изображений (то есть часть изображения отсутствует) [18], для создания цифровых моделей рельефа [19-20] и для оценки местоположений концентраций выбросов твёрдых частиц.

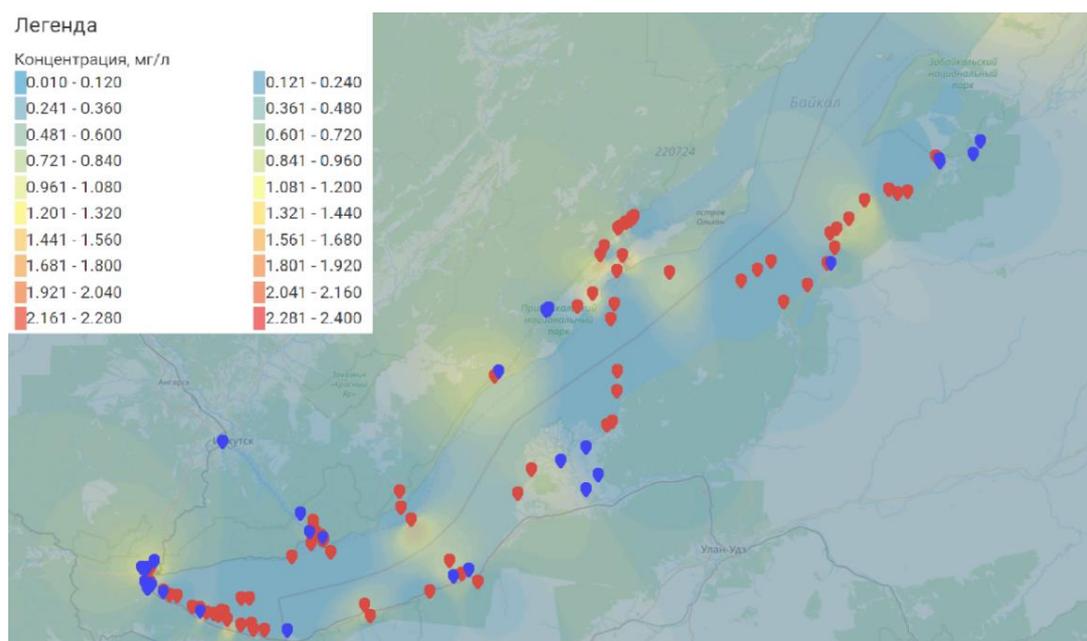


Рис. 6. Геовизуализация интерполяции результатов анализа проб снега на содержание SO_4^{2-} методом обратных взвешенных расстояний

На рисунке 6 представлена интерполяция результатов анализа проб снега на содержание SO_4^{2-} . Как можно видеть из представленного рисунка, метод IDW показывает лучшие результаты по сравнению с методом ЭБК, в частности, уменьшено количество некорректных предсказанных значений.

Заключение. В статье рассмотрено развитие технологии для оценки загрязнения окружающей среды объектами энергетики, основанной на применении информационно-вычислительной системы ИВС WICS. Показана блок-схема и приведено описание оригинального алгоритма пост-обработки результатов расчёта рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, позволяющего провести оценку рассеивания загрязняющих веществ от объектов энергетики, находящихся на удалении друг от друга. В дальнейшем планируется доработка алгоритма с целью учёта процесса трансформации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе уже после их выброса. В статье также представлена подсистема IS EDC для оценки экономического ущерба, наносимого выбросами объектов энергетики атмосферному воздуху, как компоненту окружающей среды, показаны результаты расчётов, полученные с её применением. Разработанная подсистема может быть использована как для оценки текущей ситуации, так и для оценки экономической эффективности мероприятий, направленных на снижение выбросов загрязняющих веществ. Также в статье показаны результаты развития встроенных в ИВС WICS средств визуализации полученных результатов, связанных с представлением результатов расчёта рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и результатов анализа проб снега.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-21-00841.

Список источников

1. Kuzmin V.R., Massel L.V. Methodical Approach for impact assessment of energy facilities on environment. Proc. of Second International Conference "Information Systems and Design" (ICID 2021). In Communications in Computer and Information Science, Springer, 2022, vol. 1539, pp. 265-276, DOI: 10.1007/978-3-030-95494-9_22.
2. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 06.06.2017 № 273. Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201708110012> (дата обращения: 01.02.2022).
3. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 28.01.2021 № 59. Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202102050023> (дата обращения: 01.12.2022).
4. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды (одобрена Постановлением Госплана СССР, Госстроя СССР, Президиума АН СССР от 21.10.1983 N 254/284/134). – КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_94300/ (дата обращения: 02.12.2022).
5. Krivoruchko K., Gribov A. Evaluation of empirical Bayesian kriging. Spatial Statistics, 2019, vol. 32, 100368, DOI: 10.1016/j.spasta.2019.100368.
6. Gribov A., Krivoruchko K. Empirical Bayesian kriging implementation and usage. Science of The Total Environment, 2020, vol. 722, 137290, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.137290.
7. Что такое эмпирический байесовский кригинг? Справка ArcGIS Pro. – URL: <https://pro.arcgis.com/ru/proapp/latest/help/analysis/geostatistical-analyst/what-is-empirical-bayesian-kriging-.htm> (дата обращения: 02.12.2022).
8. Samsonova V.P., Blagoveshchenskii Y.N., Meshalkina Y.L. Use of empirical Bayesian kriging for revealing heterogeneities in the distribution of organic carbon on agricultural lands. Eurasian Soil Sc., 2017, vol. 50, issue 3, 305-311, DOI:10.1134/S1064229317030103.
9. Senoro D.B., de Jesus K.L.M., Mendoza L.C., Apostol E.M.D., Escalona K.S., Chan E.B. Groundwater quality monitoring using in-situ measurements and hybrid machine learning with empirical bayesian kriging interpolation method. Appl. Sci. 2022, 12, 132, DOI:10.3390/app12010132.

10. Agyeman P.C., Kebonye N.M., John K. Prediction of nickel concentration in peri-urban and urban soils using hybridized empirical bayesian kriging and support vector machine regression. *Sci Rep* 12, 3004 (2022), DOI:10.1038/s41598-022-06843-y.
11. Государственный доклад «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2015 году». – Иркутск: ИНЦХТ, 2016. – 372 с.
12. Белозерцева И.А. Загрязнение атмосферы и содержание фтора в снеге на акватории оз. Байкал / И.А. Белозерцева, И.Б. Воробьева, Н.В. Власова [и др.] // *Современные проблемы науки и образования*, 2015. – № 2-2. – С. 735. – EDN UZJITD.
13. Белозерцева И.А. Химический состав снега акватории озера Байкал и прилегающей территории / И. А. Белозерцева, И. Б. Воробьева, Н. В. Власова [и др.] // *География и природные ресурсы*, 2017. – № 1. – С. 90-99. – DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2017-1(90-99). – EDN YIXIEN.
14. Аюджанаев А.А. Изменение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу Байкальской природной территории / А.А. Аюджанаев, С.Н. Аюшеева, В.С. Батомункуев [и др.] // *География и природные ресурсы*, 2016. – № S5. – С. 225-233. – DOI 10.21782/GIPR0206-1619-2016-5(225-233). – EDN XQRYPI.
15. Денисова В.И. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2015 год / В.И. Денисова, П.М. Свидский, А.Д. Голубев [и др.] // Москва: Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, 2016. – 204 с. – ISBN 978-5-906644-57-2. – EDN WZEEZJ.
16. How inverse distance weighted interpolation works. ArcGIS Pro, available at: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/geostatistical-analyst/how-inverse-distance-weighted-interpolation-works.htm>.
17. Watson D.F., Philip G.M. A refinement of inverse distance weighted interpolation. *Geo- Processing*, 1985, vol. 2, pp. 315-327.
18. Выборнова Ю.Д. Исследование методов пространственной интерполяции в задаче восстановления частично определенных изображений / Ю.Д. Выборнова // *Информационные технологии и нанотехнологии: Сборник трудов ИТНТ-2018, Самара, 24–27 апреля 2018 года / Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева*. – Самара: Предприятие "Новая техника", 2018. – С. 683-690.
19. Maleika W. Inverse distance weighting method optimization in the process of digital terrain model creation based on data collected from a multibeam echosounder. *Appl Geomat* 12, 397-407 (2020), DO: 10.1007/s12518-020-00307-6.
20. Павлова А.И. Анализ методов интерполирования высот точек для создания цифровых моделей рельефа / А.И. Павлова // *Автометрия*, 2017. – Т. 53. – № 2. – С. 86-94. – DOI: 10.15372/AUT20170210.
21. Choi K., Chong K. Modified inverse distance weighting interpolation for particulate matter estimation and mapping. *Atmosphere*, 2022, 13, 846, DOI: 10.3390/atmos13050846.

Кузьмин Владимир Русланович. Младший научный сотрудник Института систем энергетики им Л.А. Мелентьева СО РАН. Основные научные интересы: семантические технологии, системы поддержки принятия решений, информационно-вычислительные системы, оценка воздействия объектов энергетики на окружающую среду. AuthorID: 935726, SPIN: 1712-6910, ORCID: 0000-0001-5749-4441, kuzmin_vr@isem.irk.ru, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова 130.

UDC 004.9: (504.03 + 620.9)

DOI: 10.25729/ESI.2023.29.1.010

Technology for assessing environmental pollution by energy facilities with the use of information and computing system WICS

Vladimir R. Kuzmin

Melentiev Energy Systems Institute SB RAS, Russia, Irkutsk, kuzmin_vr@isem.irk.ru

Abstract. The article considers the development of technology for assessing environmental pollution by energy facilities using the information and computing system (ICS) WICS, based on the author's methodological approach and tools. The proposed original algorithm for post-processing the results of calculating the spreading of pollutants in the atmospheric air is described. The IS EDC subsystem is presented, designed to assess the economic damage to the environment caused by emissions of energy facilities into the atmosphere. The article also describes the results of the development of the tools for visualizing the results obtained built into the ICS WICS.

Keywords: information and computing system, pollution impact assessment, environment, energy facilities

Acknowledgements: The study was funded by the Russian Science Foundation, the research project no. 22-21-00841.

References

1. Kuzmin V.R., Massel L.V. Methodical Approach for impact assessment of energy facilities on environment. Proc. of Second International Conference "Information Systems and Design" (ICID 2021). In Communications in Computer and Information Science, Springer, 2022, vol. 1539, pp. 265-276, DOI: 10.1007/978-3-030-95494-9_22.
2. Prikaz Ministerstva prirodnnykh resursov i ekologii Rossiyskoy Federatsii ot 06.06.2017 № 273 · Ofitsial'noye opublikovaniye pravovykh aktov. · Ofitsial'nyy internet-portal pravovoy informatsii [Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation dated June 6, 2017 No. 273 · Official publication of legal acts. · Official Internet portal of legal information]. Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201708110012> (access: 02/01/2022).
3. Prikaz Ministerstva prirodnnykh resursov i ekologii Rossiyskoy Federatsii ot 28.01.2021 № 59. Ofitsial'nyy internet-portal pravovoy informatsii [Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation dated January 28, 2021 No. 59. Official Internet portal of legal information]. Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202102050023> (access: 12/01/2022).
4. Vremennaya tipovaya metodika opredeleniya ekonomicheskoy effektivnosti osushchestvleniya prirodokhrannyykh meropriyatiy i otsenki ekonomicheskogo ushcherba, prichinyayemogo narodnomu khozyaystvu zagryazneniyem okruzhayu-shchey sredy" (odobrena Postanovleniyem Gosplana SSSR, Gosstroya SSSR, Prezidiuma AN SSSR ot 21.10.1983 N 254/284/134) [Temporary standard methodology for determining the economic efficiency of the implementation of environmental measures and assessing the economic damage caused to the national economy by environmental pollution (approved by the Decree of the USSR State Planning Committee, the USSR State Construction Committee, the Presidium of the USSR Academy of Sciences dated 10.21.1983 N 254/284/134)]. KonsultantPlyus [Consultant Plus], available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_94300/ (access: 12/02/2022).
5. Krivoruchko K., Gribov A. Evaluation of empirical Bayesian kriging. Spatial Statistics, 2019, vol. 32, 100368, DOI: 10.1016/j.spasta.2019.100368.
6. Gribov A., Krivoruchko K. Empirical Bayesian kriging implementation and usage. Science of The Total Environment, 2020, vol. 722, 137290, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.137290.
7. Chto takoye empiricheskii bayesovskiy kriging? Spravka ArcGIS Pro [What is empirical Bayesian kriging? ArcGIS Pro help]. Available at: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/latest/help/analysis/geostatistical-analyst/what-is-empirical-bayesian-kriging-htm>.
8. Samsonova V.P., Blagoveshchenskii Y.N., Meshalkina Y.L. Use of empirical Bayesian kriging for revealing heterogeneities in the distribution of organic carbon on agricultural lands. Eurasian Soil Sc., 2017, vol. 50, issue 3, 305-311, DOI:10.1134/S1064229317030103.
9. Senoro D.B., de Jesus K.L.M., Mendoza L.C., Apostol E.M.D., Escalona K.S., Chan E.B. Groundwater quality monitoring using in-situ measurements and hybrid machine learning with empirical bayesian kriging interpolation method. Appl. Sci. 2022, 12, 132, DOI: 10.3390/app12010132.
10. Agyeman P.C., Kebonye N.M., John K. Prediction of nickel concentration in peri-urban and urban soils using hybridized empirical bayesian kriging and support vector machine regression. Sci Rep 12, 3004 (2022), DOI: 10.1038/s41598-022-06843-y.
11. Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii ozera Bajkal i merah po ego ohrane v 2015 godu» [State report "On the state of Lake Baikal and measures for its protection in 2015"]. Irkutsk: ISCST, 2016, 372 p.
12. Belozertseva I.A., Vorobyeva I.B., Vlasova N.V., Lopatina D.N., Yanchuk M.S. Zagryaznenie atmosfery i sodержanie ftora v snege na akvatorii oz. Bajkal [Snow pollution in lake Baikal water area in nearby land]. Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya [Modern problems of science and education], 2015, no. 2-2, 735 p., EDN: UZJITD.
13. Belozertseva I.A., Vorobyeva I.B., Vlasova N.V., Yanchuk M.S., Lopatina D.N. Himicheskij sostav snega akvatorii ozera Bajkal i prilegayushchej territorii [Chemical composition of snow in the water area of lake Baikal and on the adjacent territory]. Geografiya i prirodnye resursy [Geography and Natural Resources], 2017, no.1, pp. 90-99, DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2017-1(90-99), EDN YIXIEH.
14. Ayurzhanayev A.A., Ayusheeva S.N., Batomunkuev V.S., Belozertseva I.A., Beshentsev A.N., Darbalaeva D.A., Eremko Z.S., Mikheeva A.S., Sanzhieva S.G., Tsydypov B.Z. Change in atmospheric emissions of pollutants for the baikal natural territory. Geografiya i prirodnye resursy [Geography and Natural Resources], 2016, no. S5, pp. 225-233, DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2016-5(225-233), EDN: XQRYPI.
15. Denisova V.I., Svidskiy P.M. Obzor sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchey sredy v Rossijskoj Federacii za 2015 god [Review of the state and pollution of the environment in the Russian Federation for 2015], Moscow,

- Institut global'nogo klimata i ekologii Rosgidrometa i RAN [Institute of global climate and ecology of roshydromet and RAS], 2016, 204 c., ISBN: 978-5-906644-57-2, EDN: WZEEZJ.
16. How inverse distance weighted interpolation works. ArcGIS Pro, available at: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/geostatistical-analyst/how-inverse-distance-weighted-interpolation-works.htm>.
 17. Watson D.F., Philip G.M. A refinement of inverse distance weighted interpolation. *Geo- Processing*, 1985, vol. 2, pp. 315-327.
 18. Vybornova Yu.D. Issledovanie metodov prostranstvennoj interpolyacii v zadache vosstanovleniya chastichno opredelennyh izobrazhenij [Study of methods of spatial interpolation in the problem of restoring partially defined images]. *Informatsionnyye tekhnologii i nanotekhnologii, Sbornik trudov ITNT-2018 [Information technologies and nanotechnologies: Proceedings of ITNT-2018, Samara, April 24-27, 2018], SamarSKIY natsional'nyy issledovatel'skiy universitet imeni akademika S.P. Koroleva [Samara National Research University named after Academician S.P. Koroleva]*, 2018, pp. 683-690.
 19. Maleika W. Inverse distance weighting method optimization in the process of digital terrain model creation based on data collected from a multibeam echosounder. *Appl Geomat* 12, 397-407 (2020), DOI: 10.1007/s12518-020-00307-6.
 20. Pavlova A.I. Analiz metodov interpolirovaniya vysot toчек dlya sozdaniya cifrovyyh modelej rel'efa [Analysis of elevation interpolation methods for creating digital elevation models]. *Avtometriya [Avtometriya]*, 2017, vol. 53, no. 2, pp. 86-94. DOI: 10.15372/AUT20170210.
 21. Choi K., Chong K. Modified inverse distance weighting interpolation for particulate matter estimation and mapping. *Atmosphere*, 2022, 13, 846, DOI: 10.3390/atmos13050846.

Kuzmin Vladimir Ruslanovich. *Junior researcher at Melentiev Energy Systems Institute SB RAS. Main scientific areas of interest: semantic technologies, decision support systems, information and computing systems, energy facilities' environment impact. AuthorID: 935726, SPIN: 1712-6910, ORCID: 0000-0001-5749-4441, kuzmin_vr@isem.irk.ru, 664033, Irkutsk, Lermontova str., 130.*

Статья поступила в редакцию 02.03.2023; одобрена после рецензирования 23.03.2023; принята к публикации 23.03.2023.

The article was submitted 03/02/2023; approved after reviewing 03/23/2023; accepted for publication 03/23/2023.