

Для цитирования: С. Родригес Васкес, Н.В. Мокрова. Гибридные алгоритмы геопространственного анализа точек расположения плотин в задачах защиты охраняемых районов. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2021; 48 (2): 40-49. DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-2-40-49

For citation: S. Rodriguez Vasquez, N.V. Mokrova. Hybrid algorithms for geospatial analysis of dam location points in protective tasks for protected areas. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2021; 48 (2): 40-49. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2021-48-2-40-49

**ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT**

УДК 519.6

DOI: 10.21822/2073-6185-2021-48-2-40-49

**ГИБРИДНЫЕ АЛГОРИТМЫ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА ТОЧЕК
РАСПОЛОЖЕНИЯ ПЛОТИН В ЗАДАЧАХ ЗАЩИТЫ ОХРАНЯЕМЫХ РАЙОНОВ**

С. Родригес Васкес, Н.В. Мокрова

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,

129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, Россия

Резюме. Цель. В последние десятилетия критерии определения потенциальных районов для строительства плотин развивались рука об руку с технологическими инструментами, такими как географические информационные системы (ГИС). Однако критерии сохранения охраняемых районов во многих случаях не учитываются, поэтому биоразнообразию окружающей среды наносится ущерб, который может стать непоправимым. В данной работе представлена оптимизация процесса обнаружения ключевых точек местности путем разработки гибридного алгоритма геопространственного анализа в QGIS. Цель состоит в том, чтобы ускорить вычислительное время, которое является критической переменной для всего процесса обнаружения ключевых точек, и предложить потенциальные области, которые не представляют опасности для биоразнообразия. **Метод.** Используемая стратегия базируется на двух фундаментальных предпосылках: выделении вершин пространственных объектов (рек) и анализе расстояний между пространственными объектами (реки и прилегающие территории). Извлечение вершин позволяет получить потенциальные точки, а анализ расстояния позволит выделить из них те точки, которые находятся в диапазоне, допустимом для расположения плотины при условии нанесения наименьшего возможного ущерба биологическому разнообразию прилегающей территории. Валидация алгоритма была проведена на примере гидрологической сети муниципалитета Маникарагуа, Куба. **Результат.** Полученные результаты сравнивались с точки зрения использованного времени расчета, количества извлеченных допустимых вершин и процента уменьшения общего числа областей. Это сравнение проводилось при использовании одного, двух и трех векторных слоев (.shp) с пространственными объектами, представляющими стратегические охраняемые территории. **Вывод.** Полученные результаты показали, что чем более репрезентативны используемые космические данные (.shp), тем эффективнее будут результаты, полученные алгоритмом по отношению к задачам охраны окружающей среды. Достигнуто снижение до 13% от первоначально обнаруженных ключевых точек.

Ключевые слова: алгоритм геопространственного анализа, анализ расстояний, гидрологическая сеть, ГИС, репрезентативные пространственных объекты

**HYBRID ALGORITHMS FOR GEOSPATIAL ANALYSIS OF DAM LOCATION
POINTS IN PROTECTIVE TASKS FOR PROTECTED AREAS**

S. Rodriguez Vasquez, N. V. Mokrova

*Moscow State University of Civil Engineering (National Research University),
26 Yaroslavskoye Broadway, Moscow 129337, Russia*

Abstract. Objective. In recent decades, criteria for identifying potential areas have evolved hand in hand with technological tools such as geographic information systems (GIS). However, the criteria for the preservation of protected areas are often not taken into account, thus causing damage to environmental biodiversity that can become irreparable. This paper presents the way of optimizing the process of locating key terrain points by developing a hybrid algorithm for geospatial analysis in QGIS. The goal is to speed up computational time, which is a critical variable for the entire key point detection process, and to suggest potential areas that do not pose a threat to biodiversity. **Methods.** The strategy used is based on two fundamental assumptions: identifying the tops of spatial objects (rivers) and analyzing the distances between spatial objects (rivers and adjacent territories). The tops extraction allows obtaining potential points, while the distance analysis allows selecting among them those points that are in the range acceptable for locating a dam, provided that the least possible damage to the biodiversity of the adjacent territory is caused. The algorithm was validated using the example of the hydrological network of Manicaragua, Cuba. **Results.** The results were compared in terms of the calculation time used, the number of valid tops extracted, and the percentage reduction in the total number of areas. This comparison was made using one, two and three vector layers (.shp) with spatial objects representing strategic protected areas. **Conclusion.** The results obtained show that the more representative the space data (.shp) used, the more effective the results obtained using the algorithm are in relation to environmental protection tasks. A reduction of up to 13% from originally detected key points has been achieved.

Keywords: geospatial analysis algorithm, distance analysis, hydrological network, GIS, representative spatial objects

Введение. Социально-экономическая динамика в настоящее время имеет тенденцию к чрезмерной эксплуатации экологических ресурсов и неизбежно приводит к крайне уязвимым экосистемам, которые не способны адаптироваться к прямым или косвенным последствиям действий человека, а это приводит к высоким рискам для сообществ, которые их эксплуатируют или населяют [1]. Экологическая уязвимость – понятие, которое относится к специфической восприимчивости или склонности окружающей среды и природных ресурсов к деградации либо по их физическим, либо по биологическим характеристикам [2,3]. Деградация почв усиливается при наличии экологических рисков, являющихся результатом взаимодействия экстремального природного явления и действий человека в данном пространстве и времени, оказывающих влияние на снижение продуктивности сельского хозяйства и водных ресурсов [4].

Водохранилища принято считать технологическим прорывом в управлении водными ресурсами, эффективными источниками генерации возобновляемой энергии. Однако очень мало говорится о воздействии плотин на окружающую среду, экосистемы и биоразнообразие. Существует множество экологических организаций, которые предупреждают об изменениях, которые происходят при организации крупных искусственных водоемов, в природе, в ландшафтах, в человеческих популяциях, в биологическом разнообразии рек и лесов.

Постановка задачи. Одним из первых шагов в принятии решения о строительстве плотины является выбор района, в котором она будет расположена. Существует множество критериев, которые принимаются во внимание: геологические, гидрологические, топографические, при этом экологические критерии обычно оцениваются как малозначимые, в худшем случае их обычно не принимают во внимание как один из фундаментальных критериев для такого рода процессов. Основной целью данной работы является разработка гибридного алгоритма, который используется при выборе участков для размещения плотин, но который, в свою очередь,

ограничивает обнаружение областями, влияющими как на экосистему, так и на биоразнообразие, окружающее проектируемую гидротехническую инфраструктуру.

Методы исследования. В рассматриваемом случае целью является строительство или расположение плотины в каком-либо районе, фундаментальной предпосылкой – защита окружающей среды и уменьшение ущерба, наносимого экосистеме, в результате получается выбор районов, которые так или иначе удалены от точек, предусмотренных нормативными документами в качестве защитных зон. ГИС-системы имеют определенные функции, которые в совокупности позволяют получить результат (рис. 1).



Рис. 1. Общая схема строительства плотин с целью защиты окружающей экосистемы
Fig. 1. A general scheme for the construction of dams to protect the surrounding ecosystem

Однако необходимость использовать функции взаимозаменяемо и раздельно, что делает процесс сложным и трудоемким, а также приводит к потере информации во время вычислительного процесса. В настоящем исследовании предлагается разработка гибридного алгоритма оптимизации, позволяющего ускорить вычислительно этот процесс за счет унификации некоторых из этих функций и их модификаций таким образом, чтобы они могли быть адаптированы к конечной цели, которую планируется достичь в части сохранения биоразнообразия и защиты экосистемы. Ниже приводится общая схема работы предлагаемого гибридного алгоритма (рис. 2).

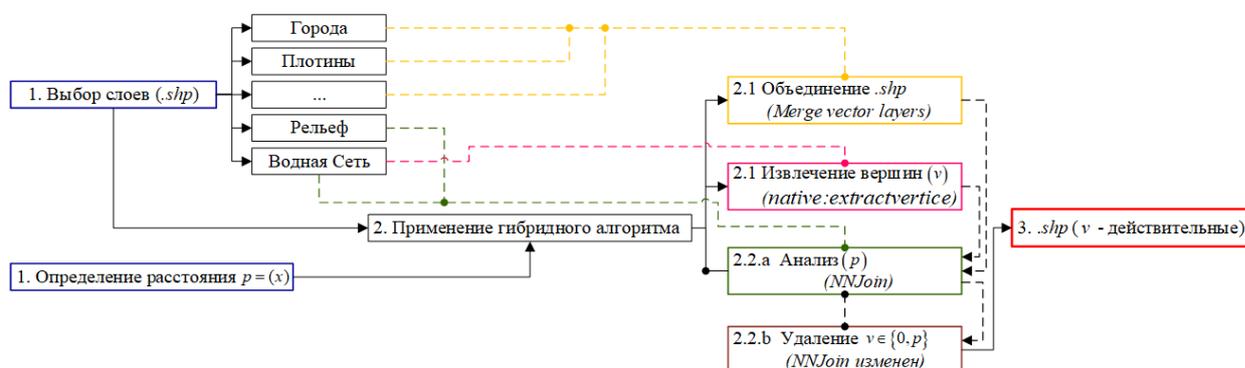


Рис. 2. Общая схема предлагаемого гибридного алгоритма выбора ключевых точек на реке
Fig. 2. The general scheme of the proposed hybrid algorithm for selecting key points on the river

Этот процесс состоит из трех основных этапов. Есть два действия, которые выполняет специалист, использующий алгоритм: выбор слоев и определение расстояния (x). Данное расстояние необходимо обеспечить между точкой, где предполагается разместить плотину, и участками, определенными как охраняемые территории. Для отбора слоев эксперт должен внести слой гидрологической сети анализируемого района, слой уровней кривых, а также слой или слои, которые, по его мнению, содержат районы, которые в соответствии с нормативными документами и региональной политикой предусмотрены в качестве охраняемых территорий (включая города, леса, а также отрасли промышленности и сельского хозяйства). Этот шаг очень важен, потому что его цель – избежать возможных катастроф в случае возникновения атмосферных явлений (наводнений при интенсивных дождях, циклонах, ураганах, землетрясениях) или при разрушении самой гидрологической инфраструктуры. Впоследствии специалист должен определить, на каком расстоянии должна располагаться точка локации по отношению к районам, считающимся охраняемыми. Как только этот первый шаг будет сделан, можно переходить к реализации предложенного гибридного алгоритма.

Алгоритм *Merge vector layers* используется для объединения слоев, содержащих пространственные объекты, представляющие охраняемые территории: (**Вход**: векторные слои охраняемых территорий, **Выход**: векторный слой пространственных объектов) (рис.3).

Merge vector layers: объединяет несколько векторных слоев одного и того же типа геометрии в один. Если таблицы атрибутов различны, то таблица атрибутов результирующего слоя содержит атрибуты всех входных слоев. В том случае, если поля в таблицах данных не совпадают, они добавятся в конец таблицы атрибутов [5]. Если какой-либо входной слой содержит значения z или m , то выходной слой также будет содержать эти значения. Аналогично, если какой-либо из входных слоев является многосоставным, выходной слой также будет многосоставным. При необходимости можно установить целевую систему координат (*CRS*) для комбинированного слоя. Если он не настроен, *CRS* будет взят из первого входного слоя. Все слои будут переработаны в соответствии с *CRS* [6,7].



Рис. 3. Алгоритм Merge vector layers
Fig. 3. Algorithm Merge vector layers

Параллельно с обработкой этого алгоритма выполняется алгоритм *native:extractvertices*: (**Вход**: векторный слой гидрологической сети (тип пространственного объекта: линия), **Выход**: векторный слой вершины $V = [v_1, v_2, \dots, v_n]$ гидрологической сети (тип пространственного объекта: точки)) (рис. 4).

Native:extractvertices: использует векторный слой и генерирует точечный слой с точками, представляющими вершины во входных геометриях. Атрибуты, связанные с каждой точкой, являются теми же, что и атрибуты, связанные с объектом, которому принадлежат вершины. К вершинам добавляются дополнительные поля, указывающие индекс вершин (начинающийся с 0), часть объекта и его индекс внутри части (а также его кольцо для полигонов), расстояние вдоль исходной геометрии и угол биссектрисы вершин для исходной геометрии. [8,9]



Рис. 4. Алгоритм Native:extractvertices
Fig. 4. Algorithm Native:extractvertices

После извлечения вершин слоя гидрологической сети проводится анализ расстояний между пространственными объектами, представляющими охраняемые территории, и вершинами, полученными из рек. Для выполнения этого анализа используется модифицированный алгоритм *NNJoin*: (**Вход**: векторный слой пространственных объектов и векторный слой вершин, **Выход**: векторный слой вершин (допустимый v)).

NNJoin: соединяет два векторных слоя (входной и соединительный) в зависимости от отношений ближайших соседей, алгоритм работает с евклидовым расстоянием, потому что оно наиболее подходит для расположения в пространстве (Рис. 5). Расстояние между точками i и j является длиной отрезка прямой между этими точками. Расстояние между любыми двумя объектами вычисляется как кратчайшее расстояние между ними. Любой инструмент геообработки, вычисляющий расстояние, будет применять эту логику, включая такие инструменты, как *Ближайший объект*, *Построить таблицу ближайших объектов*, *Расстояние точки* и *Пространственное соединение* (с опцией ближайших совпадений). [10–13]

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (1)$$

Алгоритм *NNJoin* оценивает только расстояния от каждой из вершин до каждого из репрезентативных пространственных объектов, поэтому становится необходимым внести модификация в алгоритм, чтобы он мог быть адаптирован к процессу, который необходимо выполнить. Внесены следующие модификации:

1. В пространственном анализе местности существует слой, представляющий кривые уровня, которые в зависимости от высот действуют как барьеры между двумя точками a и b . Принимая во внимание высоту кривых уровня (h_p) во время анализа расстояния, можно получить наиболее положительные v . Если $h_p \leq h_v$ анализ расстояния выполняется от вершины до пространственного объекта, если $h_p > h_v$ расстояние не анализируется, поскольку считается, что в случае наводнения высота местности в этой точке работает как барьер, и позволяет избежать катастрофических последствий.

2. Другой модификацией, внесенной в *NNJoin*, было удаление вершин, находящихся в диапазоне расстояния $p = (x)$, установленного специалистом в начале процесса. Если $0 \leq v_i \leq p$, то v_i удаляется из набора V . Этот анализ выполняется для каждого из полученных расстояний. После удаления вершин, находящихся в диапазоне расстояний от 0 до p , получается слой, который, наконец, содержит множество вершин, допустимых для возможного расположения плотин, на которых критерии охраны окружающей среды соответствуют своей цели, так как каждая из этих вершин удалена на безопасное расстояние, предотвращающее возникновение катастроф (гибель людей, экономические потери и пр.).

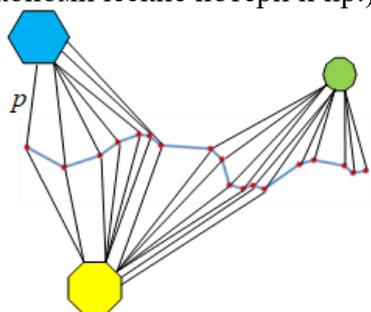


Рис. 5. Алгоритм NNJoin
Fig. 5. Algorithm NNJoin

Обсуждение результатов. Тематическое исследование. Провинциальной делегацией водных ресурсов Вилья-Клары была поставлена задача претворить в жизнь структурные меры, поднятые в Заключительном Докладе «Integrating management of Watersheds and Coastal Area in Caribbean small island developing states» [14] с целью уменьшения последствий стихийных бедствий, вызванных засухой и наводнениями, осуществить строительство новых плотин, в основном плотин и отводов, ректификацию каналов и т.д. Для проведения валидации предложенного гибридного алгоритма в качестве примера был взят муниципалитет Маникарагуа провинции Вилья-Клара, Куба (рис. 6).



Рис. 6. Карта Кубы, провинция Вилья-Клара, муниципалитет Маникарагуа
Fig. 6. Map of Cuba, Villa Clara province, Manicaragua Municipality

Муниципалитет Маникарагуа имеет площадь поверхности 1064,4 км², из которых 309 км² составляют горную зону с ограничениями для развития среды обитания, обусловленными различными факторами риска, которые имеет эта область. Только горная область муниципалитета составляет примерно 29 % от общей территории, выделяясь в провинциальной статистике Вилья-Клары. На севере он граничит с муниципалитетами Санта-Клара, Ранчуэло и Плачетас; на юге-с провинциями Сьенфуэгос и Санти-Спиритус; на востоке-с провинцией Санти-Спиритус; на западе – с муниципалитетом Ранчуэло и провинцией Сьенфуэгос. Его рельеф характеризуется речной равниной и слабо расчлененными предгорными высотами. В рамках своих гидрографических характеристик можно отметить, что муниципалитет представляет собой группу районов, считающихся подверженными риску затопления, выделяя район, включенный в долину Джибакоа, которая занимает площадь 12 км², где только сильные дожди приводят к изоляции района, что затрагивает 176 домов, и в общей сложности 486 человек должны быть эвакуированы по этим причинам.

Для оценки предложенного алгоритма были использованы следующие векторные слои: слой гидрологической сети (*SRivers_Man.shp*), слой охраняемых территорий (*Reservoirs_Man.shp*, *City_Man.shp*, *Dams_Man.shp*), слой рельефа (*Contours_Man.shp*). Расстояние, установленное специалистом, было $p = 2$ км. Обработка алгоритма осуществляется по рисункам 7, 8 и 9 соответственно с получением векторного слоя с ключевыми точками для возможного расположения плотин, отвечающих требованиям охраны окружающей среды, в соответствии с выбранными слоями.

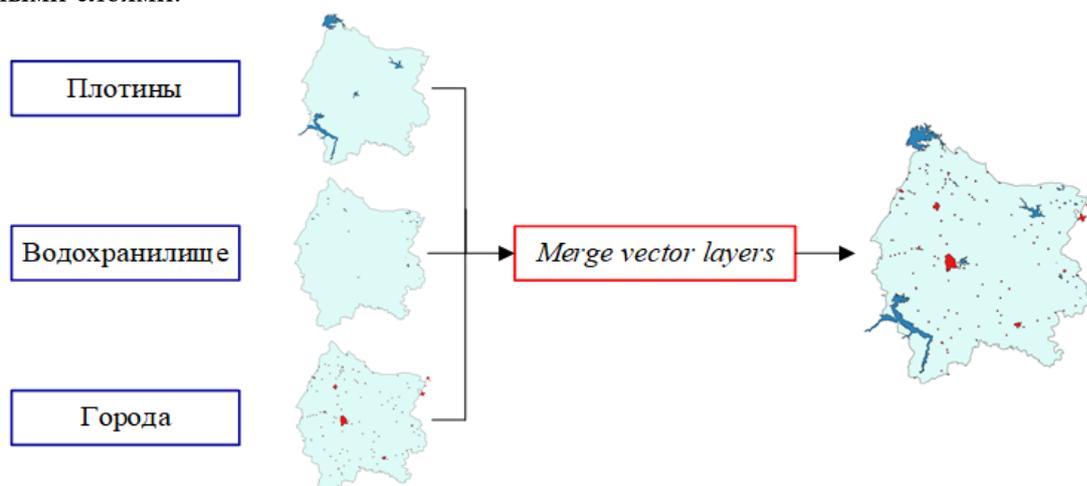


Рис. 7. Алгоритм Merge vector layers
Fig. 7. Algorithm Merge vector layers



Рис. 8. Алгоритм Native:extractvertices
Fig. 8. Algorithm Native:extractvertices

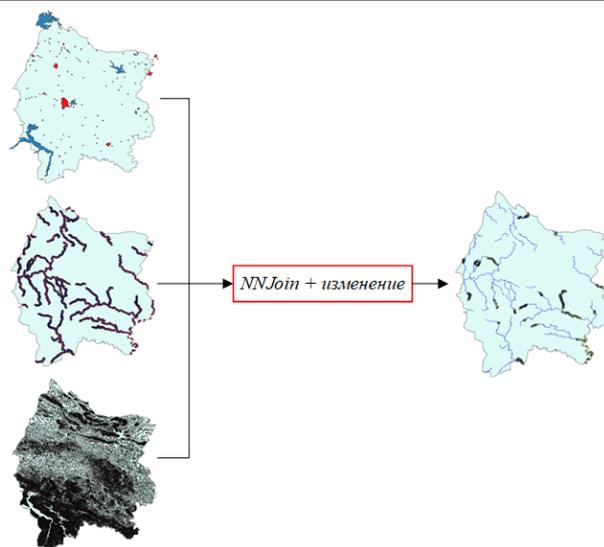


Рис. 9. Алгоритм NNJoin + NNJoin изменен
Fig. 9. Algorithm NNJoin + NNJoin modified

Проведено сравнение результатов, полученных при использовании одного, двух и трех векторных слоев, характеризующих пространственные объекты и представляющие охраняемые территории (табл. 1).

Таблица 1. Сравнение результатов, полученных с помощью гибридного алгоритма с использованием 1-го, 2-х и 3-х векторных слоев

Table 1. Comparison of the results obtained using a hybrid algorithm using the 1st, 2nd, and 3rd vector layers

Количество используемых слоев <i>Number of layers used</i>	<u>1</u> (Слой Городов)	<u>2</u> (Слой Городов, Слой Плотин)	<u>3</u> (Слой Городов, Слой Плотин, Слой Водохранилищ)
Расстояние, установленное специалистом <i>Distance set by a specialist</i>	2 km		
Всего полученных вершин (native:extractvertices) <i>Total received vertices</i>	12591		
Время вычислений <i>Computation time</i>	18 сек	23 сек	60 сек
Количество полученных вершин (NNJoin + NNJoin изменен) <i>Number of vertices obtained</i>	3009	1851	1637
% снижение decline	23,89%	14,70%	13%

Предсказуемо время вычислений при использовании большего числа слоев больше, так как чем больше репрезентативных космических данные должно быть проанализировано, тем больше время вычислений.

Кроме того, это время определяется обработкой расстояний от каждой из вершин, полученных на рис. 8, до каждого из пространственных объектов, присутствующих в слое, полученном на рис. 7.

Несмотря на это, результаты, полученные с точки зрения обнаружения вершин, допустимых для возможного местоположения, указывают на то, что чем более репрезентативные космические данные используются, тем точнее выполняется разграничение потенциальных областей алгоритмом.

Предлагаемый алгоритм обнаруживает только те области, в которых, если бы в нем была расположена плотина, ее строительство повлияло бы на существующую экосистему в этой области. Наконец, можно сказать, что полученные результаты подтверждают правильность предложенного алгоритма, а также его эффективность, позволяющую снизить до 13% количество ключевых точек для возможного расположения плотин.

Вывод. Возможность обнаружения зон расположения плотин и того, что проектируемые гидротехнические объекты в свою очередь не представляют опасности для стратегических охранных зон, является основой для защиты окружающей среды, региональных экосистем. Защита биологического разнообразия, является одной из фундаментальных целей, которые необходимо учитывать при строительстве плотины. В то время как гидротехнические сооружения обеспечивают социальные и экономические выгоды для страны, они также приводят к ущербу природной среде, экономическому ущербу.

Вот почему предложение алгоритма в этом исследовании, означает шаг вперед к сближению между строительством плотин и заботой об окружающей среде.

1. Предлагаемый гибридный алгоритм позволяет выделить районы, которые будут соответствовать правилам, установленными в Заключительном докладе, представленном среди политических и экономических руководящих принципов, установленных на Кубе на период 2016-2021 годов.

2. Результат, полученный при реализации алгоритма в районе Маникарагуа, соответствует предложенной предпосылке защиты окружающей среды и снижения ущерба экосистеме.

3. Алгоритм *Merge vector layers* позволил объединить в один слой пространственные объекты, представляющие стратегические зоны защиты, с целью использования при последующем анализе.

4. Алгоритм *Native:extractvertice* позволил преобразовать линейные объекты, представляющие гидрологическую сеть, в объекты вершинного типа, чтобы облегчить последующий анализ расстояний между объектами различных векторных слоев.

5. Алгоритм *NNJoin* облегчил анализ расстояний между пространственными объектами, представляющими охраняемые территории, и вершинами, представляющими ключевые точки над водными объектами. В этот алгоритм были внесены изменения, позволившие исключить вершины, находящиеся в пределах расстояния, установленного специалистом, выполнившим оценку рельефа.

6. Предложенный алгоритм позволил уменьшить количество установленных ключевых точек до 13%, окончательно обнаружив только те участки, которые не представляют опасности для окружающей экосистемы.

7. Рекомендуется унифицировать работу предложенного в настоящем исследовании алгоритма с использованием методов многокритериального анализа, поскольку считается, что полученный результат будет значительно более ценным для выбора участков для размещения плотин.

Библиографический список:

1. Pokhrel Y. и др. A Review of the Integrated Effects of Changing Climate, Land Use, and Dams on Mekong River Hydrology // Water. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2018. Т. 10, № 3. С. 266 DOI:10.3390/w10030266.
2. Всемирный фонд дикой природы (WWF). Плотины и развитие: новая методическая основа для принятия решений // Отчет всемирной комиссии по плотинам. Москва, 2009. 200 с.
3. Абдразаков Ф., Панкова Т., Орлова С. Прогнозирование вероятности и возможных последствий аварий на плотине // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. Т. 4, № 1. С. 65–72 DOI:10.12737/article_5c50620ee70624.66669200.
4. Azimi Sardari M.R. и др. Modeling the Impact of Climate Change and Land Use Change Scenarios on Soil Erosion at the Minab Dam Watershed // Sustainability. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2019. Т. 11, № 12. С. 3353 DOI:10.3390/su11123353.

5. QGIS project. QGIS Documentation v: 3.4 [Эл. ресурс] //Vector general: Merge vector layers. 2020.URL: https://docs.qgis.org/3.4/en/docs/user_manual/processing_algs/qgis/vectorgeneral.html?highlight=merge#merge-vector-layers.
6. Baghdadi N., Mallet C., Zribi M. QGIS and Generic Tools // QGIS and Generic Tools. 1-е изд. / под ред. Wiley. 2018. Т. 1. С. DOI:10.1002/9781119457091.
7. Kim Y.-K. A Study on Urban Land Cover Classification Using Object-based Image Analysis (OBIA) Techniques // J. Korean Cadastre Inf. Assoc. The Korean Cadastre Information Association, 2020. Т. 22, № 1. С. 122–144 DOI:10.46416/JKCIA.2020.04.22.1.122.
8. QGIS project. QGIS Documentation v:3.4 [Электронный ресурс] // Vector geometry: Extract vertices. 2020.URL: https://docs.qgis.org/testing/en/docs/user_manual/processing_algs/qgis/vectorgeometry.html#id180.
9. Vazquez S.R., Mokrova N. V. Comparison of Applicability of Different Computational Geometry Algorithms for the Detection of Vertices in River Layers in GIS Systems // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). IEEE, 2020. С. 1–4 DOI:10.1109/FarEastCon50210.2020.9271660.
10. Vázquez S.R., Mokrova N. V. Vector-spatial analysis of gis application layers for placing strategic points in dam design // Строительство и техногенная безопасность. 2021. № 20(72). С. 43–51 DOI:10.37279/2413-1873-2021-20-43-51.
11. ESRI. ArcGIS Pro [Электронный ресурс] // Как инструменты близости вычисляют расстояние. 2020. URL: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/tool-reference/analysis/how-near-analysis-works.htm>.
12. Bojarska K. и др. Winter severity and anthropogenic factors affect spatial behaviour of red deer in the Carpathians // Mammal Res. Springer, 2020. Т. 65, № 4. С. 815–823 DOI:10.1007/s13364-020-00520-z.
13. Hysa A. Classifying the Forest Surfaces in Metropolitan Areas by Their Wildfire Ignition Probability and Spreading Capacity in Support of Forest Fire Risk Reduction // Integrated Research on Disaster Risks. Springer, Cham, 2021. С. 51–70 DOI:10.1007/978-3-030-55563-4_4.
14. Cuban Environment Agency (AMA). Integrating management of watersheds and coastal area in caribbean small island developing states. Ciudad de la Habana, 2001. 40 с.

References:

1. Pokhrel Y. et. al. A Review of the Integrated Effects of Changing Climate, Land Use, and Dams on Mekong River Hydrology // Water. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2018. V. 10, № 3. P. 266. DOI:10.3390/w10030266.
2. Vsemirnyy fond dikoy prirody (WWF). Plotiny i razvitiye: novaya metodicheskaya osnova dlya prinyatiya resheniy // Otchet vseмирной komissii po plotinam. Moskva, 2009. 200 s. [World Wildlife Fund (WWF). Dams and development: A new framework for decision-making // Overview of the report by the World Commission on Dams. Moscow, 2009. P. 200. (In Russ)]
3. Abdrazakov F., Pankova T., Orlova S. Prognozirovaniye veroyatnosti i vozmozhnykh posledstviy avariya na plotine // Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova. 2019. Т. 4, № 1. С. 65–72 DOI:10.12737/article_5c50620ee70624.66669200. [Abdrazakov F., Pankova T., Orlova S. Prediction of probability and consequences of accidents on the dam // Bulletin of Belgorod State Technological University named after. V. G. Shukhov. 2019. Vol. 4, No. 1. P. 65–72. DOI:10.12737/article_5c50620ee70624.66669200. (In Russ)]
4. Azimi Sardari M.R. et. al. Modeling the Impact of Climate Change and Land Use Change Scenarios on Soil Erosion at the Minab Dam Watershed // Sustainability. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2019. V. 11, № 12. P. 3353. DOI:10.3390/su11123353.
5. QGIS project. QGIS Documentation v: 3.4 [El. resource] / Vector general: Merge vector layers. 2020. URL: https://docs.qgis.org/3.4/en/docs/user_manual/processing_algs/qgis/vectorgeneral.html?highlight=merge#merge-vector-layers.
6. Baghdadi N., Mallet C., Zribi M. QGIS and generic tools. 1st ed. / ed. Wiley. 2018. V. 1. P. 296. DOI:10.1002/9781119457091.
7. Kim Y.-K. A Study on Urban Land Cover Classification Using Object-based Image Analysis (OBIA) Techniques // J. Korean Cadastre Inf. Assoc. The Korean Cadastre Information Association, 2020. V. 22, № 1. P. 122–144. DOI:10.46416/JKCIA.2020.04.22.1.122.
8. QGIS project. QGIS Documentation v:3.4 [Electronic resource] // Vector geometry: Extract vertices. 2020. URL: https://docs.qgis.org/testing/en/docs/user_manual/processing_algs/qgis/vectorgeometry.html#id180.
9. Vazquez S.R., Mokrova N. V. Comparison of Applicability of Different Computational Geometry Algorithms for the Detection of Vertices in River Layers in GIS Systems // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). IEEE, 2020. P. 1–4. DOI:10.1109/FarEastCon50210.2020.9271660.
10. Vázquez S.R., Mokrova N. V. Vector-spatial analysis of gis application layers for placing strategic points in dam

- design // Construction and industrial safety. 2021. № 20(72). P. 43–51. DOI:10.37279/2413-1873-2021-20-43-51.
11. ESRI. ArcGIS Pro [Electronic resource] // How proximity tools calculate distance. 2020. URL: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/tool-reference/analysis/how-near-analysis-works.htm>.
12. Bojarska K. et. al. Winter severity and anthropogenic factors affect spatial behaviour of red deer in the Carpathians // Mammal Res. Springer, 2020. V. 65, № 4. P. 815–823. DOI:10.1007/s13364-020-00520-z.
13. Hysa A. Classifying the Forest Surfaces in Metropolitan Areas by Their Wildfire Ignition Probability and Spreading Capacity in Support of Forest Fire Risk Reduction // Integrated Research on Disaster Risks. Springer, Cham, 2021. P. 51–70. DOI:10.1007/978-3-030-55563-4_4.
14. Cuban Environment Agency (AMA). Integrating management of watersheds and coastal area in caribbean small island developing states. Ciudad de la Habana, 2001. 40 p.

Сведения об авторах:

Родригес Васкес Соланхель, аспирант, магистр информатики; solrusita85@gmail.com

Мокрова Наталия Владиславовна, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автоматизации и электроснабжения; natali_ym@mail.ru

Information about the authors:

Solangel Rodríguez Vázquez, postgraduate, Master of Computer Science; solrusita85@gmail.com

Nataliya V. Mokrova, Dr. Sci. (Technical), Prof., Prof. of the Department of Automation and Power Supply; natali_ym@mail.ru

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 22.05.2021.

Принята в печать 04.06.2021.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 22.05.2021

Accepted for publication 04.06.2021.