

ВЕКТОРНО-ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ СЛОЁВ ПРИЛОЖЕНИЙ ГИС ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ТОЧЕК ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПЛОТИН

Родригес Васкес¹ С., Мокрова² Н.В.

Национальный Исследовательский Московский Государственный Строительный Университет,

Адресс: 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,

¹solrusita@gmail.com; ²natali_vm@mail.ru

Аннотация. Использование географических информационных систем (ГИС) широко распространено в управлении водными ресурсами. Одним из этапов разработки в этой области было использование информации ГИС не только для сопоставления и выполнения запросов, но и для анализа тенденций и принятия решений с помощью приложений, предоставляющих пространственный анализ. ГИС обеспечивают возможности для обработки пространственной информации и ее представления с помощью аналогичной модели реальности, которая представляет пространственные объекты из точки, линии и многоугольника, и тематической информации. Пространственный анализ в ГИС включает в себя набор процедур, используемых для изучения структуры и территориальных отношений на основе знания положения и характеристик географических объектов соответствующих переменных.

Предмет исследования: разграничение областей для возможных местоположений плотин с использованием геопространственных алгоритмов расстояния. Исследования основаны на гипотезе, что из геопространственного анализа расстояний между вершинами, извлеченными из слоев .shp рек и районов, имеющих большое значение для защиты, можно разграничить потенциальные районы для строительства плотин.

Материалы и методы: проанализированы литературные источники и результаты предварительных экспериментальных исследований, выполнено планирование эксперимента.

Результаты: в настоящем исследовании рассматривается использование алгоритмов обработки расстояний между точками, используемых в области географии услуг, в связи с использованием моделей локализации и распределения. Для этого выполняется сравнение алгоритмов с использованием таких критериев, как: время обработки, возможность создания новых слоев, а также создание таблиц расстояний между объектами, принадлежащими различным слоям.

Выводы: такая оценка проводится с целью выбора наиболее подходящего алгоритма для выбора подходящих точек, которые могут быть оценены в будущем анализе локализации и строительства плотин.

Ключевые слова: анализ местоположения, анализ расстояния, векторный пространственный анализ, вычислительная геометрия, вычислительные затраты, строительство плотин.

ВВЕДЕНИЕ

По словам Ю.К. Королева [1] Географическая Информационная Система (ГИС) является информационной системой, которая обрабатывает данные с географической привязкой. Она обрабатывает информацию о событиях или геопространственных объектах для создания новой информации с помощью операций манипулирования и анализа, которые помогают принимать решения. Пространственный анализ позволяет решать сложные проблемы, связанные с местоположением. Он выходит за рамки простого картографического представления, позволяя изучать характеристики различных мест и связанных между ними. Это приносит новые перспективы для принятия решений, что представляет один из наиболее заметных аспектов использования ГИС. Анализ даёт возможность объединить информацию из многих источников и получить новые наборы информации, применяя ряд пространственных операторов.

Набор инструментов пространственного анализа расширяет шансы ответить на сложные аналитические вопросы. Статистический анализ может определить, являются ли шаблоны значимых или нет. Можно проанализировать несколько слоев, чтобы вычислить пригодность места для конкретной деятельности. Кроме того, анализ изображений позволяет обнаруживать изменения с течением времени. Эти инструменты позволяют решать вопросы и принимать важные решения, выходящие за рамки простого визуального анализа [2]. Геопространственный анализ объединяет и манипулирует данными, хранящимися в ГИС, для создания новой информации. Такая информация может быть проиллюстрирована картами и обобщена в виде записей для изучения пользователями, с целью обоснования выбора, является ли принятая модель правдоподобным решением или нет. ГИС включают измерение расстояний и областей, анализ близости (буферы), операции растворения и слияния полигонов, перекрытие, анализ поверхности и анализ сети.

Целью работы является разграничение потенциальных областей для возможного строительства плотин посредством геопространственного анализа между реками и областями, важными для их защиты.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Векторный пространственный анализ вычисления расстояний в ГИС-системах.

Пространственный анализ включает в себя набор инструментов, которые расширяют возможности традиционного статистического анализа для решения тех круга задач, когда пространственное распределение данных влияет на измеряемые переменные и это считается важным. Географическая привязка данных позволяет обрабатывать набор новых понятий, таких как расстояние (между двумя точками), смежность (между двумя мультиполигонами или двумя линиями), взаимодействие и соседство (между точками) [3]. Практически все вычисления, выполняемые в векторной ГИС, основаны на положении и топологических отношениях между объектами:

Расстояние между двумя точками, почти во всех процедурах пространственного анализа включено это понятие. Хотя было определено несколько типов расстояний, в основном с евклидовым расстоянием работают как наиболее подходящим для пространственной реальности [4]. Расстояние между точками i и j также является длиной прямого сегмента между ними.

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

Расстояние между любыми двумя объектами вычисляется как минимальное расстояние между ними; характеризуя их ближайшее расположение по отношению друг к другу. Эта логика действует во всех инструментах геообработки, которые вычисляют расстояние, включая такие инструменты, как Ближайший объект, Построить таблицу ближайших объектов и Пространственное соединение (с опцией ближайших совпадений CLOSEST).

Измерения расстояние имеют наибольшую точность, если входные данные используют систему координат равнопромежуточной проекции. Хотя вычисление расстояния может быть выполнено независимо от системы координат, результат может оказаться неточным или даже бессмысленным, если данные используют географическую систему координат или система координат задана неправильно [5].

Анализ для определения расстояния всегда призван найти минимальный интервал между двумя объектами (Рис. 1).

Несколько объектов могут оказаться на одинаковом удалении от другого объекта. В таком случае один из равноудаленных объектов будет

выбираться в качестве ближайшего случайным образом.

Если один из объектов содержит другой или находится внутри другого объекта, расстояние между ними равно 0.

Это означает, что если один объект находится внутри полигона, расстояние между ним и окружающим его полигоном равно 0.

Расстояние между двумя объектами равняется нулю всякий раз, когда у них имеется хотя бы одна общая координата x, y .

Это означает, что при пересечении, перекрытии или касании двух объектов, расстояние между ними равняется 0.

Расстояние всегда вычисляется до границы полигонального объекта, не до центра или центроида полигона.

Как отмечено выше, если объект полностью находится внутри полигона, расстояние между ним и окружающим его полигоном равно 0.

Расстояние между двумя объектами (любого типа) не меняется в зависимости от направления измерения.

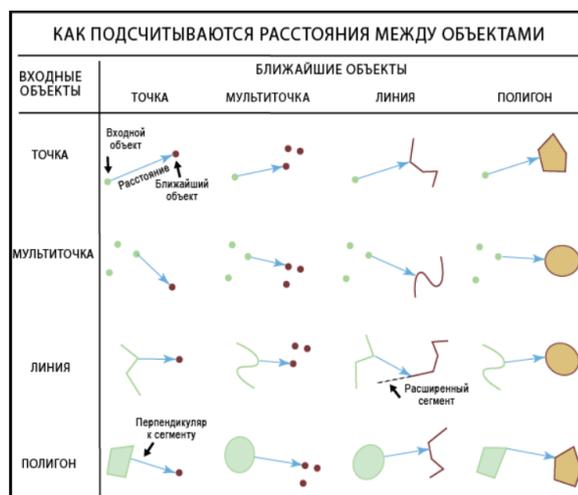


Рис. 1. Обзор процедуры вычисления расстояний между различными типами объектов и положением ближайших местоположений [5]

Fig. 1. Overview of the procedure for calculating distances between different types of objects and the position of the nearest locations [5]

Вычисление расстояния зависит от типа геометрии объектов, и также от других факторов, таких как система координат. Однако есть три основных правила, подробнее описанные ниже, которые определяют способ вычисления расстояния.

1. Расстояние между двумя точками является прямой линией, соединяющей их.

2. Расстояние от точки до линии измеряется либо как перпендикуляр, либо как расстояние до ближайшей вершины.

3. Расстояние между полилиниями определяется вершинами сегментов.

Алгоритмы вычислительной геометрии для вычисления расстояния между точками и полигонами между слоями систем ГИС.

Point distance (Расстояние точки) – ArcGIS (Рис. 2): Определяет расстояния от объектов точки входа до всех точек близлежащих объектов в пределах заданного радиуса поиска [6].

- Инструмент создает таблицу с расстояниями между двумя наборами точек. При использовании радиуса поиска по умолчанию, исчисляются расстояния от всех точек входа до всех близлежащих точек. Таблица результатов может быть довольно большой. Например, если как входные, так и близлежащие объекты имеют 1000 точек, выходная таблица может содержать миллион записей.

- Используется значительный радиус поиска, чтобы ограничить размер вывода и повысить производительность инструмента. Выходная таблица содержит только те записи, которые имеют близкую точку в радиусе поиска.

- Результаты записываются в таблицу вывода, которая содержит следующую информацию:

- INPUT_FID: идентификатор объекта входных объектов.

- NEAR_FID: идентификатор объекта близлежащих объектов.

- DISTANCE: расстояние от входного объекта до соседнего. Значение этого поля находится в линейной единице системы координат входных объектов.

- Как входные, так и предстоящие объекты могут находиться в одном наборе данных (*dataset*). В этом случае, когда входные и предстоящие объекты находятся в одной записи, результат будет опущен, чтобы избежать сообщения о том, что каждый объект находится на расстоянии 0 единиц от себя.

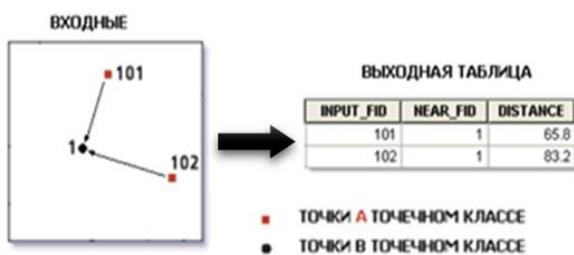


Рис. 2. Демонстрация функционирования алгоритма Point distance [6]

Fig. 2. Demonstration of the functioning of the Point distance algorithm [6]

ArcGIS Spatial Analyst: Предоставляет несколько инструментов картирования расстояний для измерения расстояния по прямой (Евклидовой) линии и расстояния, измеренного с точки зрения других факторов, таких как наклон, текущая дорожная инфраструктура и землепользование [7][8]. Вычисление совокупной стоимости поездки или расстояния картирования может предоставить

пользователю дополнительные данные, чтобы принять решение. С помощью *ArcGIS Spatial Analyst* пользователи также могут вычислять взвешенное по стоимости расстояние, самый дешёвый маршрут и кратчайшее расстояние маршрута.

В примере (Рис. 3) прямой поверхности есть только одно местоположение источника. Каждое значение ячейки указывает расстояний до источника. Расстояние (x) от ячейки *A* до источника измеряется по прямой [9].

- *Distance (Straight Line) o Euclidean Distance:* Функция *Straight Line* измеряет расстояние по прямой линии от каждой ячейки или точки территории до ближайшего источника. Измеряет расстояние между ячейками от центра каждой ячейки на поверхности до центра исходной ячейки. Хотя может быть более одного источника, каждое значение ячейки – это расстояние по прямой линии только до одного ближайшего источника [10].

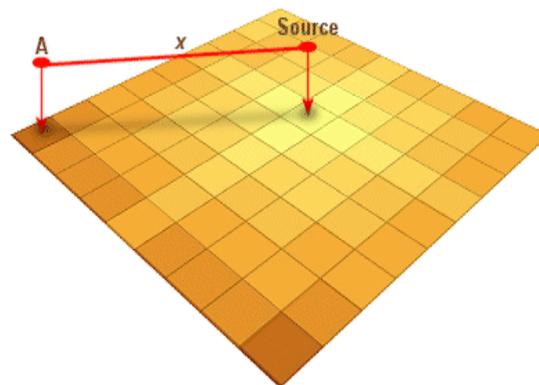


Рис. 3. Демонстрация функции расстояния
Fig. 3. Demonstration of the distance function

- *Distance (Allocation):* Вычисляет источник, ближайший к каждой ячейке, на основе нижней совокупной стоимости на поверхности затрат при учёте расстояния от поверхности и вертикальных и горизонтальных факторов затрат. Инструменты *Distance (Allocation)* сравниваются с инструментами *Distance (Cost Weighted)*, поскольку они определяют минимальную совокупную стоимость поездки от источника к каждому местоположению растровой поверхности. Однако инструменты *Distance (Allocation)* добавляют больше сложности анализу, поскольку они способны регулировать текущее расстояние поверхности, и также другие вертикальные и горизонтальные факторы. [11]

В ближайшем соседнем пространственном соединении каждый объект входного набора данных присоединяется к объекту выходного набора данных, геометрия которого находится ближе всего к геометрии объекта входного набора данных. Результатом слияния является набор данных, который содержит атрибуты входных и комбинированных наборов данных и, как правило,

геометрию входного набора данных. Часто расстояние между характеристиками добавляется как атрибут выходного набора данных. Пространственные индексы могут использоваться для ускорения процесса.

Слой точек, линий и полигонов:

- *v.distance* в GRASS¹: Ищет ближайший элемент на векторной карте (A) для элементов, которые находятся на векторной карте (B). Позволяет импортировать в систему различную информацию о соотношениях векторов (расстояние, категория и т.) в таблице атрибутов, прикрепленную к первой векторной карте, или распечатать в 'stdout'. Позволяет создать новую векторную карту, где записываются линии, соединяющие ближайшие точки в объектах. *dmin* и/или *dmax*, они параметры алгоритма для ограничения радиуса поиска (в местоположении широты и долготы в метрах, поскольку они вычисляются как геодезические расстояния в сфере). В настоящее время этот алгоритм не работает независимо от обработки QGIS, поэтому он должен выполняться через дополнение GRASS. Ближайшее соседнее расстояние включается в таблицу атрибутов выходного слоя. [12][13]

- *NNjoin* – QGIS: NNjoin объединяет два векторных слоя (входной и соединительный слой) на основе ближайших соседних отношений. Поддерживаются все комбинации типов геометрии. Объект входного слоя присоединяется к ближайшему объекту в соединительном слое. Результатом соединения является новый векторный слой с тем же типом геометрии и системой координат, что и входной слой. Объединение слоев с различными системами координат (Coordinate reference system, CRS) поддерживается при условии, что система координат соединительного слоя является проецируемым CRS. Вычисление соединения и расстояния выполняются с использованием слоя соединения CRS. Поддерживаются автономные соединения. Для автономных соединений каждый объект в слое присоединяется к своему ближайшему соседу внутри слоя. Пространственный индекс (*QgsSpatialIndex*) используется в соединительном слое для ускорения соединения слоев с типом, отличными от множественной геометрии. [14][15]

Слой результатов – это слой памяти, которая будет содержать все атрибуты слоёв ввода и соединения, а также новый атрибут, содержащий расстояние между объединёнными объектами (название по умолчанию атрибута расстояния является «Distance», но может быть изменено пользователем). Если геометрия входного слоя

отсутствует, атрибут расстояния будет установлен на очень большое отрицательное значение, а все атрибуты слоя соединения будут установлены на NULL. Атрибуты слоя соединения получают префикс (по умолчанию «join_», но пользователь может установить его). Если префикс слияния не используется, атрибуты слоя слияния, которые имеют то же название, что атрибуты входного слоя, не будут включены в выходной слой.

Слой точек:

- *Distance matrix (Vector, Analysis tools)*: Это алгоритм измеряет расстояния между двумя точечными слоями и получает такие результаты, как:

- 0 — Linear ($N^{k \times 3}$) distance matrix: для каждой входной точки сообщает расстояние до каждой из k ближайших целевых точек. Выходная матрица состоит из до k строк на входную точку, и каждая строка имеет три столбца: *InputID*, *TargetID* and *Distance*.

- 1 — Standard ($N \times T$) distance matrix.

- 2 — Summary distance matrix (*mean, std. dev., min, max*): для каждой входной точки выводится статистика расстояний до её целевых точек.

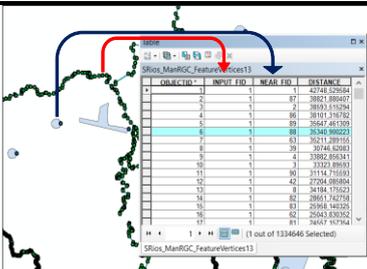
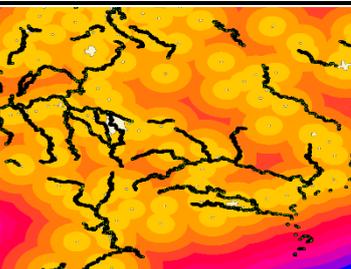
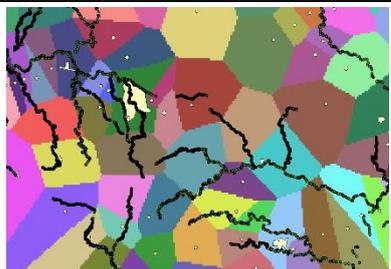
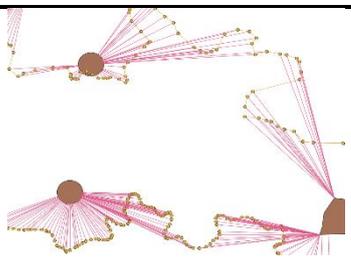
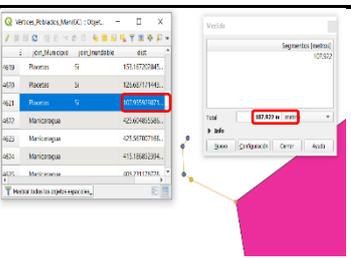
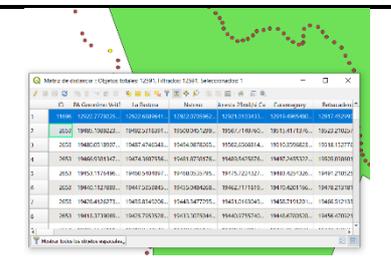
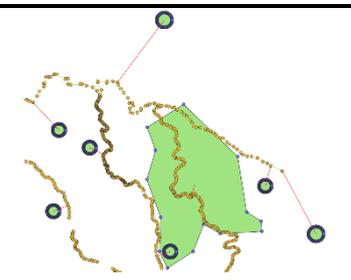
Можно ограничить расстояние до ближайших k характеристик. Чтобы предоставить только ближайших соседей, пользователь должен отметить *Использовать только ближайшие целевые точки (k)* и установить k на 1 (по умолчанию) [16][17]. Матрица расстояния не создает векторный слой, а только матрицу в виде файла .csv. Матрица связывает пользовательские идентификаторы от входного и соединительного слоя и предоставляет расстояния между точками.

Hub Distance (MMQGIS, Create): Можно использоваться для поиска ближайших соседей слоя точек. Если соединительный слой не является точечным слоем, для вычислений используется аппроксимация (центроид) геометрии соединительного слоя. Инструмент создает линию радиуса от конечных точек до центральных. Такие слои полезны для визуализации областей сбора или распределения или оценки расстояния. Линии концентратора добавляются в выходной файл со всеми атрибутами связанных точек радиуса. Он не включает в себя какой-либо сетевой анализ, поэтому, если реальные маршруты к центрам нелинейны (например, когда речь идет о городских блоках и других типах транспортных сетей), ближайшее расстояние от большого круга или Евклида может быть неправильным с точки зрения пространственного распространения данных [18].

¹ (англ. *Geographic Resources Analysis Support System* — система для обработки пространственной информации;

аббревиатура складывается в английское слово *grass* — трава)

Таблица 1. Обработка алгоритмов пространственного анализа вычисления расстояния
Table 1. Processing algorithms for spatial analysis and distance calculation

ArcGIS		
<i>Point distance</i>	<i>Distance (Straight Line)</i>	<i>Distance (Allocation)</i>
		
QGIS		
<i>v.distance</i>	<i>NNjoin</i>	<i>Distance matrix</i>
		
Hub Distance		
		

РЕЗУЛЬТАТЫ

Целью исследования является получение векторного слоя с вершинами рек, которые наиболее удалены от приоритетных объектов (городов, заводов, полевых, охраняемых районов) в соответствии с расстоянием, оцененным пользователем. Для этого, используя слой со всеми ранее извлеченными вершинами рек, оценивается ряд алгоритмов пространственного анализа и вычисления расстояний.

Проанализировав вышеупомянутые алгоритмы, решено не учитывать для следующей оценки алгоритмы, которые используют для обработки только векторные слои точек (*Point Distance*, *Distance matrix*, *Hub Distance*). Это связано с тем, что в исследовании предполагается использовать алгоритмы, позволяющие обрабатывать точечные и мультиполигональные слои. Преобразование мультиполигонального слоя в точки, с тем чтобы можно

было оценить расстояния, которые будут получены при использовании алгоритмов пространственного анализа, нецелесообразно, поскольку это не позволяет получить точки, которые на самом деле являются наиболее близкими к областям, подлежащим защите, как показано на рис. 4(а) и 4(б).

Анализ алгоритмов позволяет показать, что только два из четырех оцененных алгоритмов позволяют создавать новый слой вершин, а также таблицы расстояний между слоями объектов (мультиполигонов) и точечным слоем. При сравнении этих алгоритмов (*v.distance* и *NNjoin*) с вышеуказанными критериями, *NNjoin* представляет лучший ответ с точки зрения времени выполнения, а также алгоритм *v.distance* зависит от плагина GRASS из QGIS, поэтому алгоритм, который будет разработан в целях будущего исследования, также зависит от него. Вот почему, наконец, принято решение использовать алгоритм *NNjoin* для обработки расстояния между слоями.

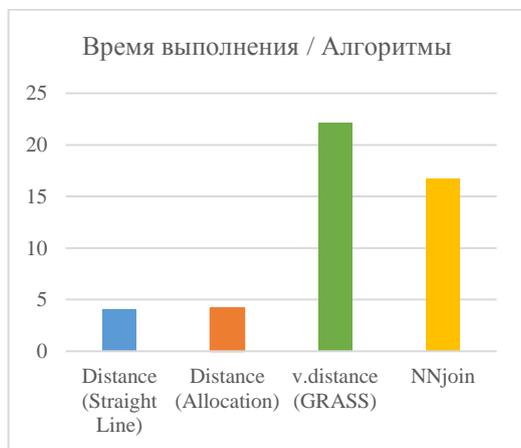


Рис. 4. Обработка пространственного анализа расстояния между слоями точка-точка (а) и слоями точка-мультиполигон (б)

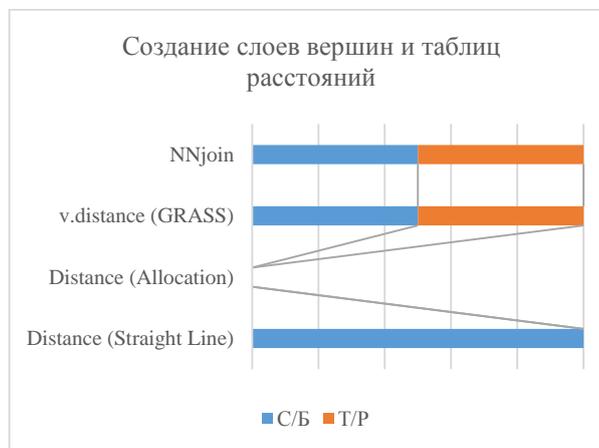
Fig. 4. Processing spatial analysis of the distance between point-to-point layers (a) and point-to-MultiPolygon layers (б)

Таблица 2. Оценка эффективности алгоритмов на основе вычислительных затрат
Table 2. Evaluating the effectiveness of algorithms based on computational costs

Алгоритмы	Время обработки	Создание нового слоя вершин (С/Б)	Таблица – Расстояние между точкой и мультиполигоном (Т/Р)
Distance (Straight Line) (ArcGIS)	04.01 (сек)	Да	Нет
Distance (Allocation) (ArcGIS)	04.18 (сек)	Нет	Нет
v.distance (GRASS) (QGIS)	22.11 (сек)	Да	Да
NNjoin (QGIS)	16.77 (сек)	Да	Да



(а)



(б)

Рис. 5. График сходимости для наилучшего выполнения для каждого алгоритма (а). Создание или нет вершинных слоев и таблиц расстояний для каждого из оцениваемых алгоритмов(б).

Fig. 5. Convergence graph for best execution for each algorithm (a). Creating or not vertex layers and distance tables for each of the evaluated algorithms(б).

ВЫВОДЫ

Строительство малых и крупных плотин обеспечивает фундаментальную поддержку экономике любой страны. Оно предназначено для повышения уровня рек, например, с целью отвода воды по ирригационным каналам для водоснабжения или орошения, для предотвращения

наводнений ниже по течению от плотины или для производства энергии. Решения о строительстве гидросооружений приводят к ряду различных последствий (демографических, экологических, социальных, культурных). Как и в случае любой структурной работы, существует риск того, что плотина выйдет из строя и затопит районы, представляющие промышленный интерес. Вот

почему пространственный анализ расстояния между потенциальными областями для строительства и областями, представляющими интерес для защиты, имеет большое значение для принятия решений.

В ходе настоящего исследования было проведено изучение литературы, и были критически разобраны наиболее часто используемые алгоритмы пространственного анализа расстояния в ГИС. Впоследствии была проведена оценка и сравнение критериев: время выполнения алгоритмов, создание вершинных слоев и создание таблиц расстояний. Выбор алгоритма учитывает не только то, что он имеет наименьшее время выполнения, но и то, что в качестве вывода выходной информации он позволяет получить допустимые значения остальных критериев.

В соответствии с основной идеей статьи решено использовать алгоритм *NNjoin* для будущих исследований, связанных с выявлением потенциальных участков рек для строительства плотин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Королев Ю.К.* Общая геоинформатика. Часть I. Теоретическая геоинформатика. Выпуск 1. СП ООО Дат. Москва, 1998. 121 с. ISBN 5-7312-0260-5.

2. *ESRI.* ArcGIS Pro [Электронный ресурс] // Пространственный анализ в ArcGIS Pro. 2020. URL: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/help/analysis/introduction/spatial-analysis-in-arcgis-pro.htm>.

3. *Mearns B.* QGIS Blueprints // Chapter3: Discovering Physical Relationships. Birmingham, UK: Packt Publishing Ltd, 2015. С. 61–93. ISBN 978-1-78528-907-1.

4. *Midler J.-C.* Non-Euclidean Geographic Spaces: Mapping Functional Distances // *Geogr. Anal.* 2010. Т. 14, № 3. С. 189–203. DOI 10.1111/j.1538-4632.1982.tb00068.x.

5. *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>.

6. *ESRI.* ArcGIS Desktop [Электронный ресурс] // Расстояние между точками. 2020. URL: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/tools/analysis-toolbox/point-distance.htm>.

7. *ESRI.* ArcGIS Spatial Analyst [Электронный ресурс] // Distance Analysis. 2020. URL: <https://www.esri.com/software/arcgis/extensions/spatialanalyst/key-features/distance>.

8. *McCoy J. u др.* ArcGIS 9 (Using ArcGIS Spatial Analyst). 4th изд. / под ред. Esri Press. Нью-Йорк, США, 2004. 233 с. ISBN 978-1589481053.

9. *Department of Geography and Environmental Science* [Электронный ресурс] // Straight Line Distance function. 2020. URL: [http://www.geography.hunter.cuny.edu/~jochen/GTEC H361/lectures/lecture11/concepts/Straight Line Distance function.htm](http://www.geography.hunter.cuny.edu/~jochen/GTEC%20H361/lectures/lecture11/concepts/Straight%20Line%20Distance%20function.htm).

10. *Gottschalk L., Leblois E., Skøien J.O.* Distance measures for hydrological data having a support // *J. Hydrol.* 2011. № 402. С. 415–421. DOI 10.1016/j.jhydrol.2011.03.020.

11. *ESRI.* ArcGIS Desktop [Электронный ресурс] // Распределение по путевому расстоянию. 2020. URL: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/path-distance-allocation.htm>.

12. *GRASS Development Team.* GRASS GIS - Руководство [Электронный ресурс] // v.distance. 2020. URL: <https://grass.osgeo.org/grass78/manuals/v.distance.html>.

13. *Branger F. u др.* Use of open-source GIS for the pre-processing of distributed hydrological models // *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography: Geospatial Free and Open Source Software in the 21st Century.* Berlin, Heidelberg: Springer, Berlin, Heidelberg, 2012. № 199579. С. 35–48. DOI 10.1007/978-3-642-10595-1_3.

14. *Håvard Tveite.* NNJoin 3.1.3 документация [Электронный ресурс] // The QGIS NNJoin Plugin. 2019. URL: <http://arken.nmbu.no/~havatv/gis/qgisplugins/NNJoin/>.

15. *Alexander J.S. u др.* On the high trail: Examining determinants of site use by the Endangered snow leopard *Panthera uncia* in Qilianshan, China // *ORYX.* Cambridge University Press, 2016. Т. 50, № 2. С. 231–238. DOI 10.1017/S0030605315001027.

16. *QGIS project.* Quantum GIS [Электронный ресурс] // fTools Plugin. 2012. URL: https://qgis-documentation.readthedocs.io/en/latest/plugins/plugins_ftools.html.

17. *Titova T.S. u др.* Срок эксплуатации грунтовых плотин // *Инженерно-строительный журнал.* 2017. № 1. С. 34–43. DOI 10.18720/MCE.69.3.

18. *Minn M.* MMQGIS [Электронный ресурс] // Hub Lines / Distance. 2020. URL: <http://michaelminn.com/linux/mmqgis/>.

REFERENCES

1. Korolev Y. K. General Geoinformatics. Part I. Theoretical Geoinformatics. Issue 1. JV LLC DAT. Moscow, 1998. 121 p. ISBN 5-7312-0260-5.

2. ESRI. ArcGIS Pro [Electronic resource] // Spatial analysis in ArcGIS Pro. 2020. URL: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/help/analysis/introduction/spatial-analysis-in-arcgis-pro.htm>.

3. Mearns B. QGIS Blueprints // Chapter3: Discovering Physical Relationships. Birmingham, UK: Packt Publishing Ltd, 2015. P. 61–93. ISBN 978-1-78528-907-1.

4. Midler J.-C. Non-Euclidean Geographic Spaces: Mapping Functional Distances // *Geogr. Anal.* 2010. Vol. 14, № 3. P. 189–203. DOI 10.1111/j.1538-4632.1982.tb00068.x.

5. 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>.

6. ESRI. ArcGIS Desktop [Electronic resource] // Distance between points. 2020. URL: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/tools/analysis-toolbox/point-distance.htm>.
7. ESRI. ArcGIS Spatial Analyst [Electronic resource] // Distance Analysis. 2020. URL: <https://www.esri.com/software/arcgis/extensions/spatialanalyst/key-features/distance>.
8. McCoy J. et al. ArcGIS 9 (Using ArcGIS Spatial Analyst). 4th ed. / ed. Esri Press. New York, USA, 2004. 233 p. ISBN 978-1589481053.
9. Department of Geography and Environmental Science [Electronic resource] // Straight Line Distance function. 2020. URL: <http://www.geography.hunter.cuny.edu/~jochen/GTEC/H361/lectures/lecture11/concepts/Straight Line Distance function.htm>.
10. Gottschalk L., Leblois E., Skøien J.O. Distance measures for hydrological data having a support // J. Hydrol. 2011. № 402. P. 415–421. DOI 10.1016/j.jhydrol.2011.03.020.
11. ESRI. ArcGIS Desktop [Electronic resource] // The distribution of the path distance. 2020. URL: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/path-distance-allocation.htm>.
12. GRASS Development Team. GRASS GIS - Guide [Electronic resource] // v.distance. 2020. URL: <https://grass.osgeo.org/grass78/manuals/v.distance.html>
13. Branger F. et al. Use of open-source GIS for the pre-processing of distributed hydrological models // Lecture Notes in Geoinformation and Cartography: Geospatial Free and Open Source Software in the 21st Century. Berlin, Heidelberg: Springer, Berlin, Heidelberg, 2012. № 199579. P. 35–48. DOI https://doi.org/10.1007/978-3-642-10595-1_3.
14. Håvard Tveite. NNJoin 3.1.3 Documentation [Electronic resource] // The QGIS NNJoin Plugin. 2019. URL: <http://arken.nmbu.no/~havatv/gis/qgisplugins/NNJoin/>.
15. Alexander J.S. et al. On the high trail: Examining determinants of site use by the Endangered snow leopard *Panthera uncia* in Qilianshan, China // ORYX. Cambridge University Press, 2016. Vol. 50, № 2. P. 231–238. DOI 10.1017/S0030605315001027.
16. QGIS project. Quantum GIS [Electronic resource] // fTools Plugin. 2012. URL: https://qgis-documentation.readthedocs.io/en/latest/plugins/plugins_ftools.html.
17. Titova T.S. et al. The period of operation of earth dams // Civil engineering magazine. 2017. № 1. P. 34–43. DOI 10.18720/MCE.69.3.
18. Minn M. MMQGIS [Electronic resource] // Hub Lines / Distance. 2020. URL: <http://michaelminn.com/linux/mmqgis/>.

VECTOR-SPATIAL ANALYSIS OF GIS APPLICATION LAYERS FOR PLACING STRATEGIC POINTS IN DAM DESIGN

Rodríguez Vázquez¹ S., Mokrova² N. V.

Moscow State University of Civil Engineering (MGSU), 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation.
e-mail: ¹solrusita@gmail.com; ²natali_vm@mail.ru

Summary: The use of geographic information systems (GIS) is widespread in water resources management. One of the development stages in this area was the use of GIS information not only for matching and executing queries, but also for analyzing trends and making decisions using applications that provide spatial analysis. GIS provides the ability to process spatial information and represent it using a similar reality model that represents spatial features from a point, line, and polygon, and thematic information. Spatial analysis in GIS includes a set of procedures used to study the structure and territorial relations based on knowledge of the position and characteristics of geographical features of the corresponding variables.

Subject: delineation of areas for potential location of dams with the use of geospatial algorithms for distance. The research is based on the hypothesis that from geospatial analysis of the distances between peaks extracted from the .shp layers of rivers and areas of great importance for protection, it is possible to delineate potential areas for dam construction.

Materials and methods: literature sources and results of preliminary experimental studies are analyzed; experimental planning is carried out.

Results: This study examines the use of algorithms for processing distances between points used in the field of service geography, in connection with the use of localization and distribution models. To do this, algorithms are compared using criteria such as processing time, the ability to create new layers, and creating tables of distances between objects belonging to different layers.

Conclusions: This evaluation is performed in order to select the most appropriate algorithm for selecting suitable points that can be evaluated in future analysis of localization and dam construction.

Key words: location analysis, distance analysis, vector spatial analysis, computational geometry, computational cost, dam construction.