



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ ИНТЕРПОЛЯЦИИ

Цель работы: освоить алгоритм создания интерполированных поверхностей с использованием функциональных возможностей модуля Geostatistical Analyst.

Задачи работы: 1) выполнить извлечение центроидов из полигональных объектов; 2) выполнить построение интерполяционной поверхности (растра) по методу обратных взвешенных расстояний, локальных полиномов и радиальных базисных функций по одному из показателей; 3) выполнить перекрестную проверку и определить наиболее точный метод интерполяции; 4) построить изолинии по значениям растра, созданного с помощью одного из методов интерполяции; 5) создать и настроить макет полученного картографического изображения.

Исходные данные для выполнения работы: шейп-файл полигональных объектов с атрибутивной информацией о содержании гумуса, фосфора, калия и рН почвы в пределах территории сельскохозяйственного предприятия.

Методы детерминированной интерполяции создают поверхности из измеренных точек, основываясь или на степени схожести (обратные взвешенные расстояния), или на уровне сглаживания (радиальные базисные функции). Детерминированные методы интерполяции можно разделить на две группы: глобальные и локальные. Глобальные методы вычисляют проинтерполированные значения на основании всего набора данных. Локальные методы вычисляют проинтерполированные значения на основании измеренных точек в пределах окрестностей, которые являются меньшими пространственными областями внутри большей изучаемой территории. Детерминированная интерполяция создает результирующую поверхность, как проходящую, так и не проходящую через все значения данных. Метод интерполяции, который вычисляет значение, идентичное измеренному в опорном местоположении, называется жестким интерполятором. Нежесткий интерполятор вычисляет значение, которое отличается от измеренного. Последний можно использовать с целью избежать возникновения острых вершин или углублений на выходной поверхности. Обратные взвешенные расстояния и радиальные базисные функции являются точными интерполяторами, тогда как глобальный полином, локальный полином, интерполяция ядра с барьерами и интерполяция диффузии с барьерами – это нежесткие интерполяторы.

В результате выполненных преобразований будет создан новый шейп-файл точечных пространственных объектов, обозначающих значения содержания фосфора в пределах рабочих участков и получен слой точек с прикрепленной к нему атрибутивной информацией (рис. 3).

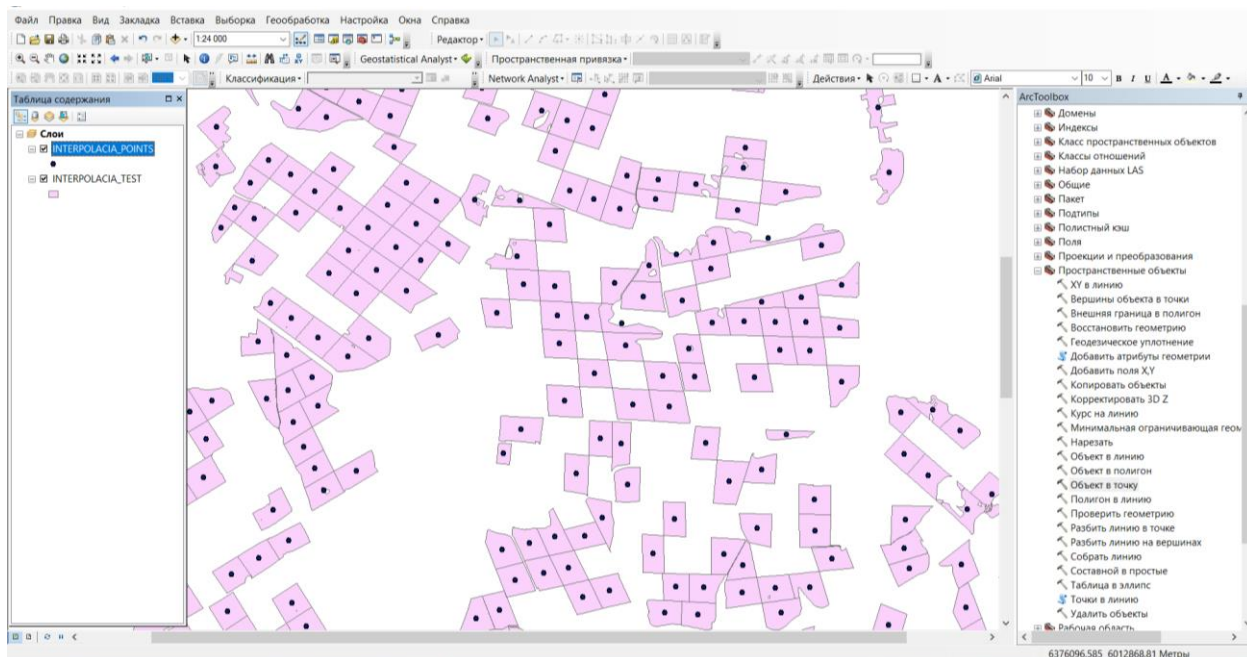


Рис. 3. Общий вид рабочего окна проекта с созданным шейп-файлом точечных пространственных объектов

3. Выполнение построения поверхности. Для построения интерполяционной поверхности используют функциональные возможности мастера операций геостатистики модуля Geostatistical Analyst (рис. 4).

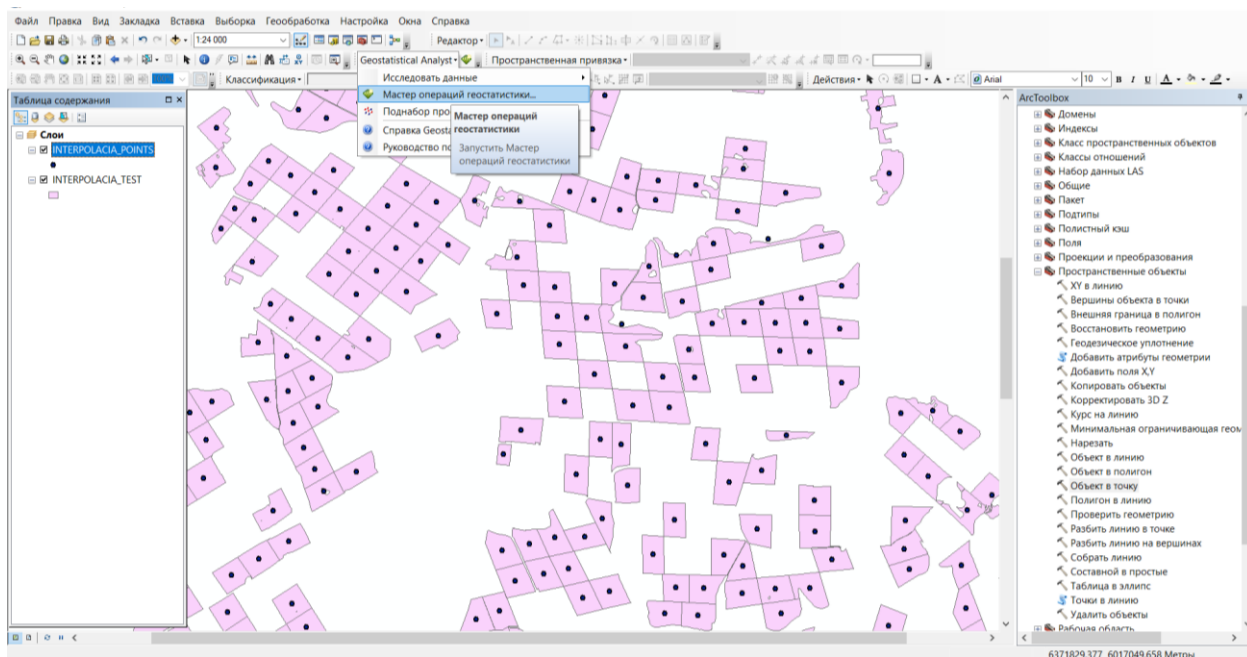


Рис. 4. Панель набора инструментов модуля Geostatistical Analyst

Интерфейс у мастера операций геостатистики следующий (рис. 5).

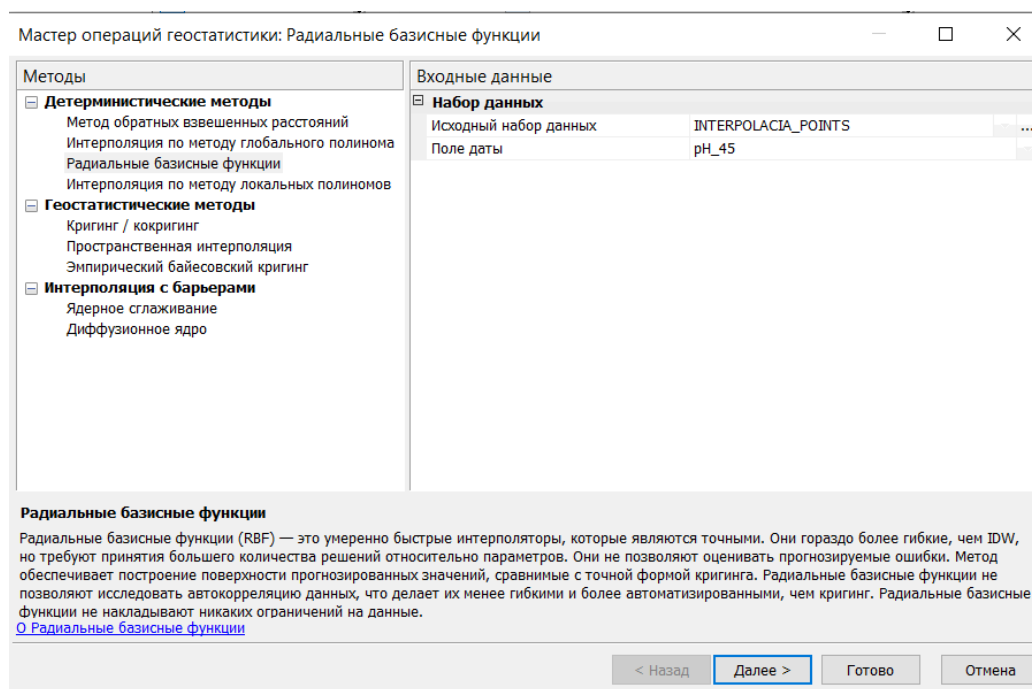


Рис. 5. Интерфейс мастера операций геостатистики

Выполнить построение интерполяционной поверхности с использованием метода обратных взвешенных расстояний (Inverse Distance Weights, IDW). IDW однозначно предполагает, что объекты, которые находятся поблизости, более подобны друг другу, чем объекты, удаленные друг от друга. Чтобы проинтерполировать значение для неизмеренного положения, IDW использует измеренные значения вокруг интерполируемого местоположения. Наиболее близкие к проинтерполированному местоположению измеренные значения оказывают большее влияние на прогнозируемое значение, чем удаленные от него на значительное расстояние. При этом предполагается, что каждая измеренная точка оказывает локальное влияние, которое уменьшается с увеличением расстояния. Это придает больший вес точкам, расположенным ближе всего к интерполируемому местоположению. Вес точки уменьшается как функция от расстояния, поэтому метод носит название обратных взвешенных расстояний.

Поскольку объекты, находящиеся поблизости друг от друга, более сходны, чем объекты, находящиеся на большом расстоянии, то по мере удаления от местоположений измеренные значения будут находиться в несущественных отношениях со значением проинтерполированного местоположения. В этой связи для увеличения скорости вычислений следует исключить большинство удаленных точек, которые оказывают незначительное влияние на интерполяцию, с помощью определения окрестности поиска. На рис. 62 представлены пять измеренных точек (соседи),

значения в которых используются для прогнозирования значения в точке, где измерения не проводились (показана желтым цветом).

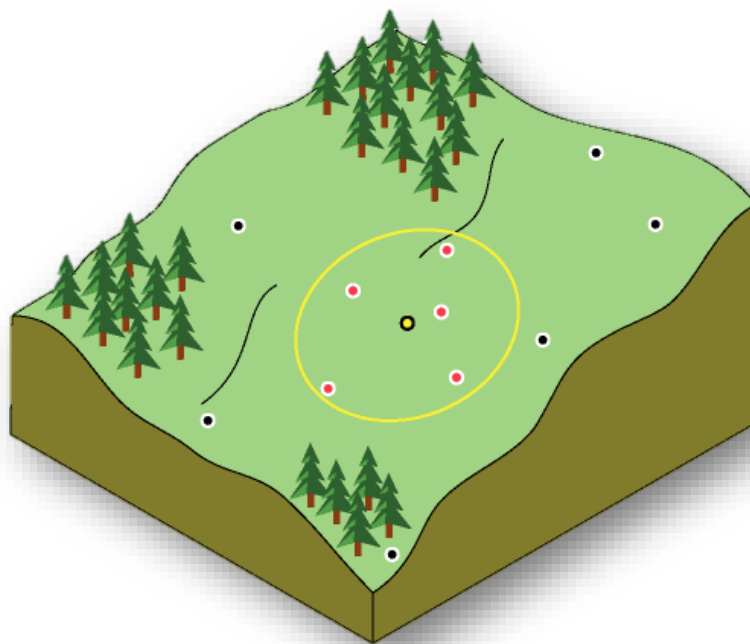


Рис. 6. Иллюстрация окрестности поиска

Форма окрестности накладывает ограничения на дальность и место поиска измеренных значений, используемых для интерполяции, а также оказывает влияние на входные данные и поверхность, которую необходимо создать. При отсутствии направленных воздействий на данные можно рассматривать точки одновременно во всех направлениях и определять окрестность поиска как окружность. Однако если присутствует направленное воздействие на данные, например преобладающий ветер, можно изменить форму окрестности поиска на эллипс с большой осью, параллельной направлению ветра.

Метод обратных взвешенных расстояний целесообразно использовать, когда набор точек достаточно плотный, чтобы фиксировать степень локального изменения поверхности, необходимую для анализа, а также если не предъявляются особые требования к точности интерполированной поверхности, а необходимо получить общее представление о характере распространения того либо иного показателя. При использовании этого метода на данные не накладываются никакие ограничения. Он хорошо подходит для первичной оценки интерполированной поверхности, однако не оценивает ошибку прогнозирования и может породить «бычьи глаза» вблизи точек данных

Для создания интерполированной поверхности по методу обратных взвешенных расстояний необходимо перейти на соответствующую вкладку, в поле даты ввести название соответствующего поля из атрибутивной таблицы (шаг 1) и перейти ко второму шагу мастера операций геостатистики, выполнив настройки, как показано на рис. 7.

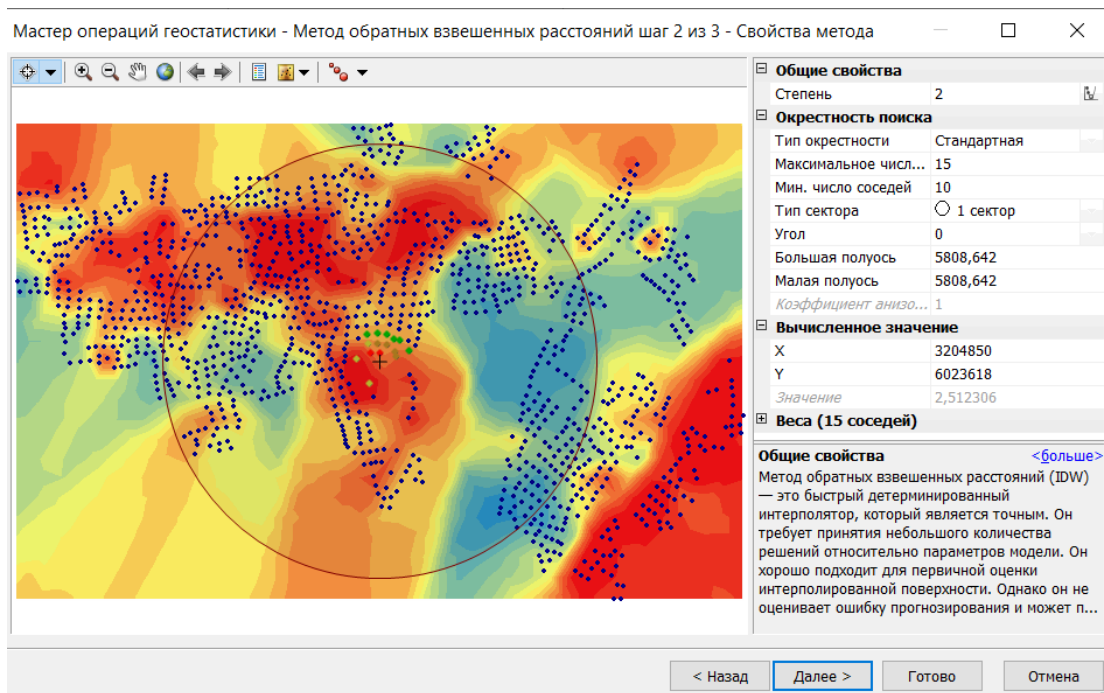


Рис. 7. Интерфейс мастера операций геостатистики (шаг 2)

В результате выполненных манипуляций будет осуществлен переход к третьему шагу мастера операций геостатистики и выполнено определение ошибок интерполяции (рис. 8).

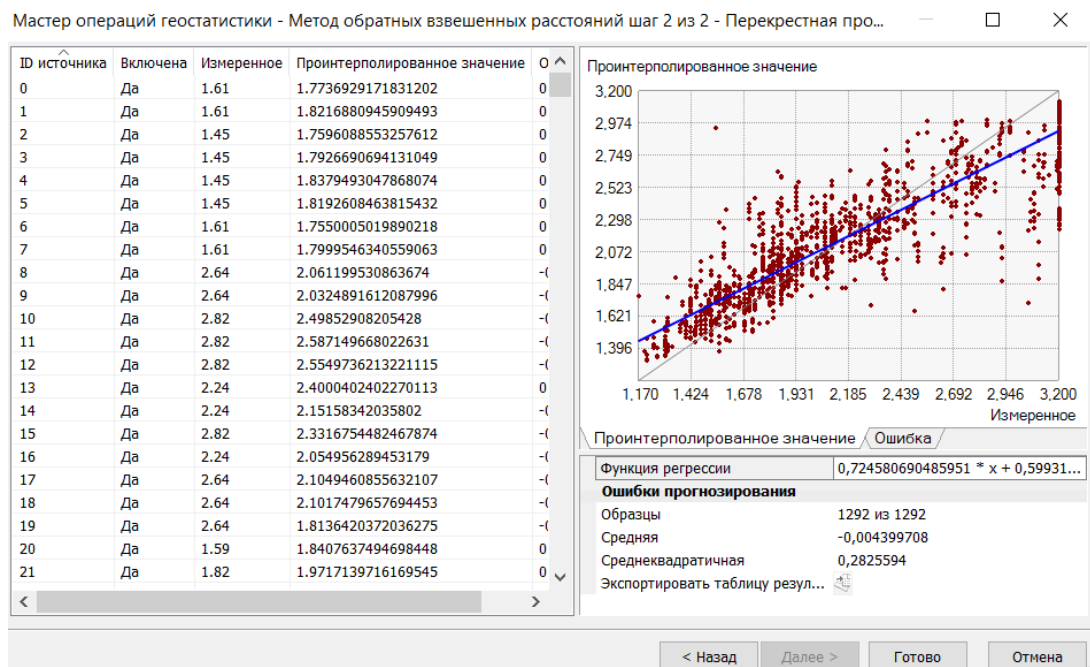


Рис. 8. Рабочее окно мастера операций геостатистики с рассчитанными ошибками интерполяции

В результате будет получена интерполяционная поверхность следующего вида (рис. 9).

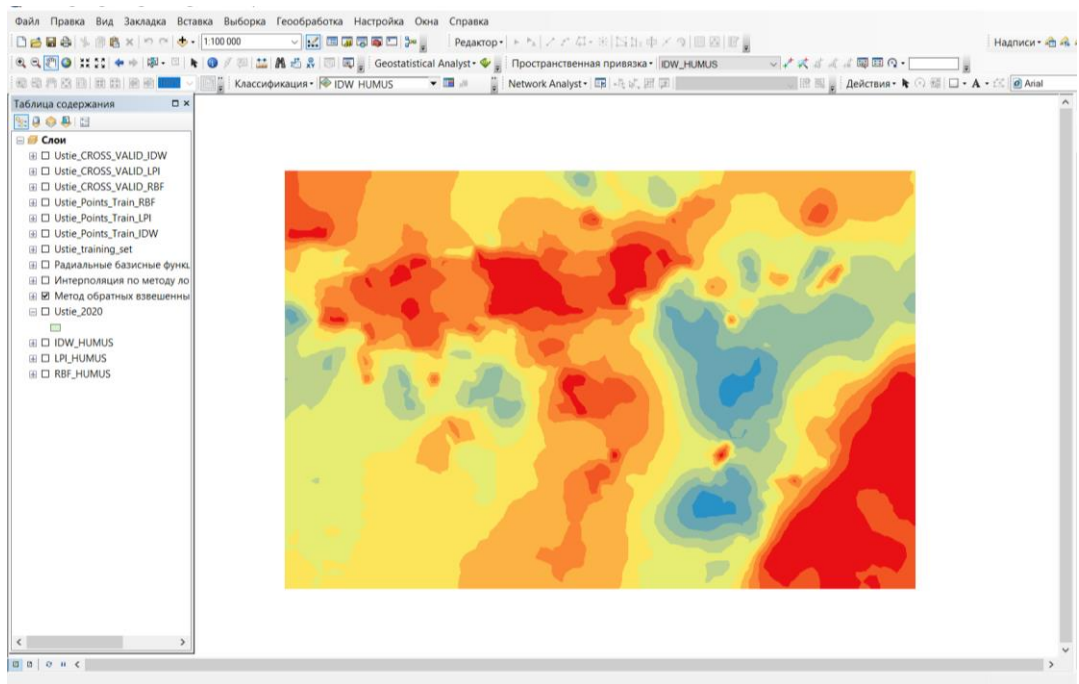


Рис. 9. Рабочее окно проекта с интерполяционной поверхностью, созданной по методу обратных взвешенных расстояний

Аналогичным способом необходимо построить растровые изображения с использованием метода локальных полиномов и радиальных базисных функций (рис. 10 и 13).

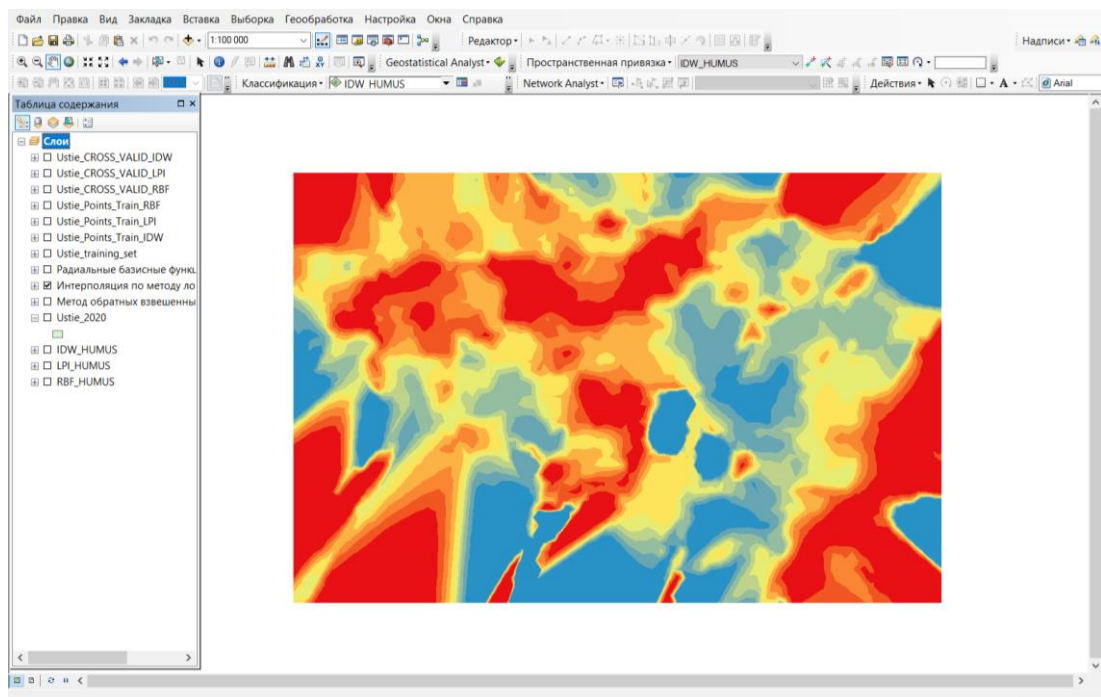


Рис. 10. Рабочее окно проекта с интерполяционной поверхностью, созданной по методу локальных полиномов

Метод локальных полиномов (Local Polynomial Interpolation, LPI) – это умеренно быстрый интерполятор, который является сглаженным (неточным). Данный метод интерполяции используется в случае необходимости создания сложных полиномиальных плоскостей. Если интерполяция по методу локального полинома согласовывает полином со всей поверхностью, то интерполяция по методу локальных полиномов подбирает множество полиномов, каждый из которых подбирается к определенной перекрывающейся окрестности (рис. 11).

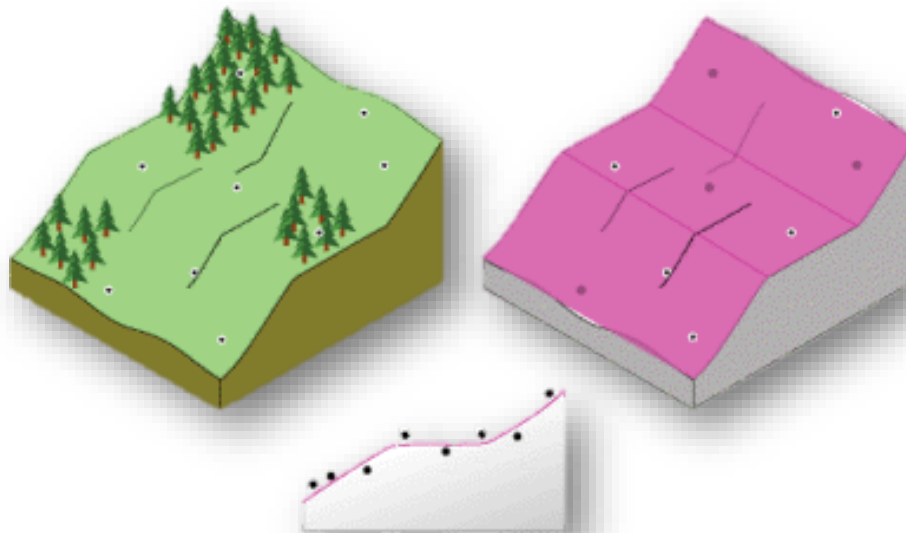


Рис. 11. Интерполяция по методу локального полинома

Обычно на практике для двумерного случая используют один из трех типов полиномов:

– плоскость: $P_1(x, y) = a + bx + cy$;

– квадратичный: $P_2(x, y) = a + bx + cy + dx^2 + fy^2$;

– кубический: $P_3(x, y) = a + bx + cy + dx^2 + fy^2 + gx^2y + hxy^2 + ix^3 + jy^3$.

Полиномиальный метод обеспечивает построение поверхности прогнозируемых значений, поверхности стандартной ошибки прогнозирования и числа обусловленности, которые сравнимы с ординарным кригингом по погрешностям измерения. Метод локальных полиномов не позволяет исследовать автокорреляцию данных, что делает его менее гибким и более автоматизированным, чем кригинг. На данные не накладываются никакие ограничения, однако более целесообразно использовать этот метод при наличии данных, полученных при отборе образцов по равномерной сетке опробования. Применение метода LPI целесообразно и в случае, когда присутствует территория с изменчивой формой рельефа, а величина интерполируемого показателя прямо пропорционально связана с характером рельефа, изменяясь в соответствии с его изменением.

Интерполяция по методу локальных полиномов чувствительна к размеру окрестности поиска, а небольшие окрестности поиска могут создать на интерполируемой поверхности пустые области.

Радиальные базисные функции (Radial Basis/Bias Functions, RBF) представляют собой жесткие интерполяторы, которые создают сглаженные поверхности, и, в отличие от интерполяции по методу глобального и локального полиномов, предусматривают прохождение интерполированной поверхности через все точки с измеренными значениями. Кроме того, в отличие от интерполяции по методу обратных взвешенных расстояний, также являющейся жестким интерполятором, радиальные базисные функции интерполируют значения выше максимального или ниже минимального измеренного значения (рис. 12).

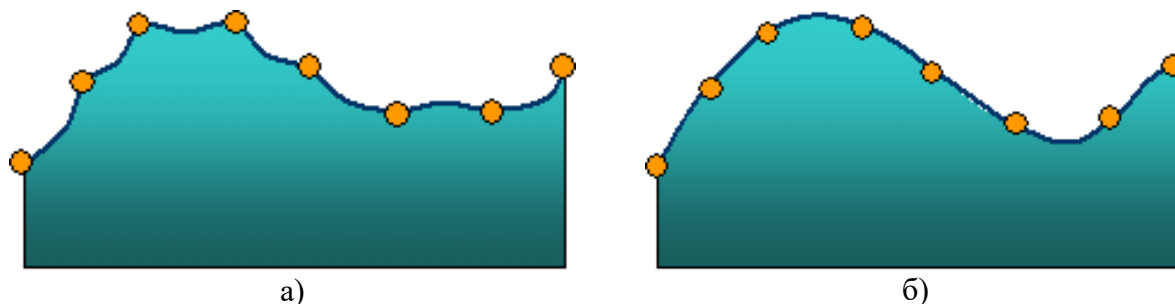


Рис. 12. Сравнение профиля поперечного сечения опорных данных (а– метод обратных взвешенных расстояний; б – метод радиальных базисных функций)

Поскольку интерполяторы являются жесткими, радиальные базисные функции могут быть локально чувствительны к выпадающим значениям (то есть поверхность будет содержать локально высокие или низкие значения). Метод RBF представляет собой семейство из пяти методов детерминированной точной интерполяции (h – расстояние; δ – сглаживающий параметр):

- тонкий сплайн (TPS): $B(h) = (h^2 + \delta^2) \lg (h^2 + \delta^2)$;
- сплайн с напряжением (SPT): $B(h) = (h^2 + \delta^2)^{1/2}$;
- полностью регуляризованный сплайн (CRS): $B(h) = \lg (h^2 + \delta^2)$;
- мультиквадратичная функция (MQ): $B(h) = \sqrt{h^2 + \delta^2}$;
- обратная мультиквадратичная функция (IMQ): $B(h) = \frac{1}{\sqrt{h^2 + \delta^2}}$.

Метод RBF подходит к поверхности через измеренные значения при минимизации общей кривизны поверхности и неэффективен, когда происходит резкое изменение значений поверхности на коротких расстояниях. RBF гораздо более гибкие, чем IDW, поскольку позволяют прогнозировать значения выше и ниже максимального и минимального соответственно, но требуют принятия большего количества решений относительно параметров и не позволяют оценивать прогнозируемые ошибки.

Интерполяция по методу RBF приближается к построению поверхности по измеренным значениям, минимизируя общую кривизну поверхности, и неэффективна, когда происходит резкое изменение значений показателя на коротких расстояниях. Радиальные базисные функции используют для создания сглаженных поверхностей из большого (несколько сотен) количества

исходных данных, которые не подвержены значительным изменениям в пределах коротких расстояний (рис. 13).

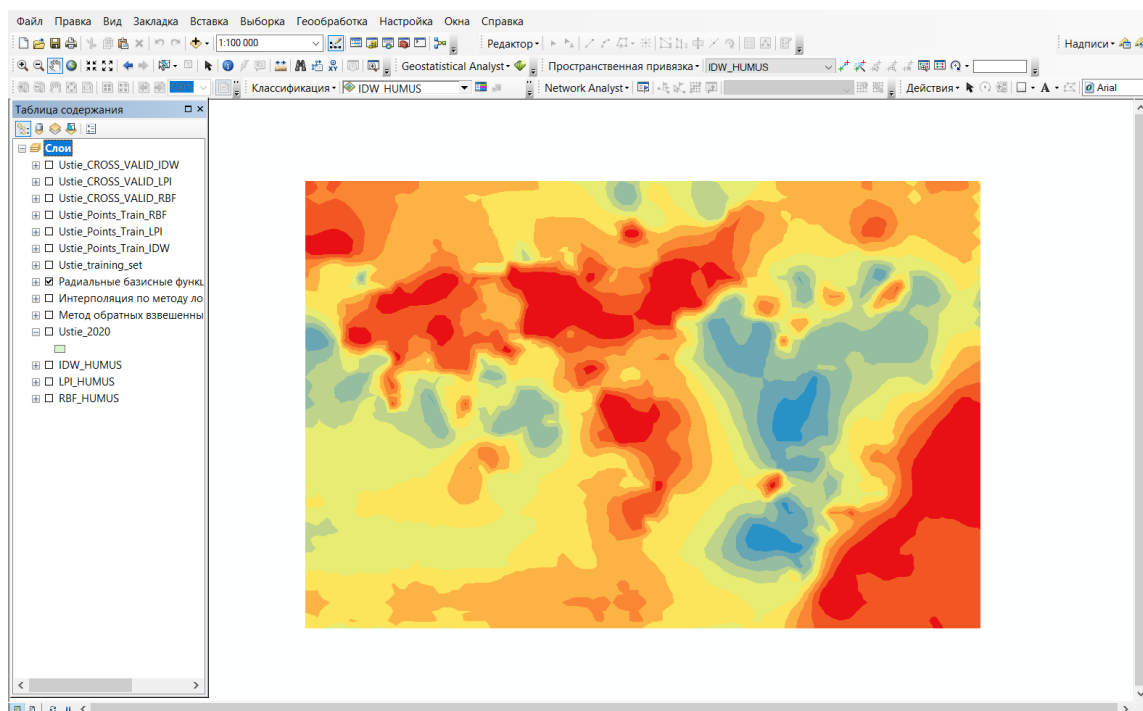


Рис. 13. Рабочее окно проекта с интерполяционной поверхностью, созданной по методу радиальных базисных функций

Наиболее оптимальным при интерполировании является выбор радиальной базисной функции мультиквадриков, однако возможно использовать и другие функции, определив наиболее оптимальную посредством выполнения перекрестной проверки. Каждая радиальная базисная функция содержит параметр, управляющий сглаженностью поверхности – параметр ядра (рис. 14).

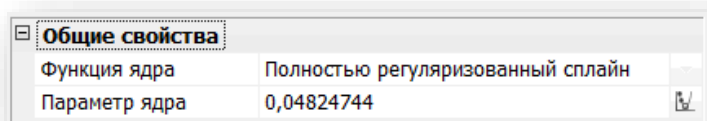


Рис. 14. Иллюстрация параметра, управляющего сглаженностью интерполяционной поверхности

Для всех радиальных базисных функций, кроме обратных мультиквадриков, чем выше значение параметра, тем более сглаженной будет поверхность; обратное верно для метода мультиквадриков. Каждая радиальная базисная функция имеет различную форму и позволяет получать разные интерполированные поверхности, а метод RBF – это специальный случай сплайнов.

4. Выполнить перекрестную проверку и определить наиболее точный метод интерполяции. Проверка точности интерполяции выполняется посредством сравнения результатов перекрестной проверки полученных с помощью различных методов интерполяции геостатистических слоев (рис. 15).

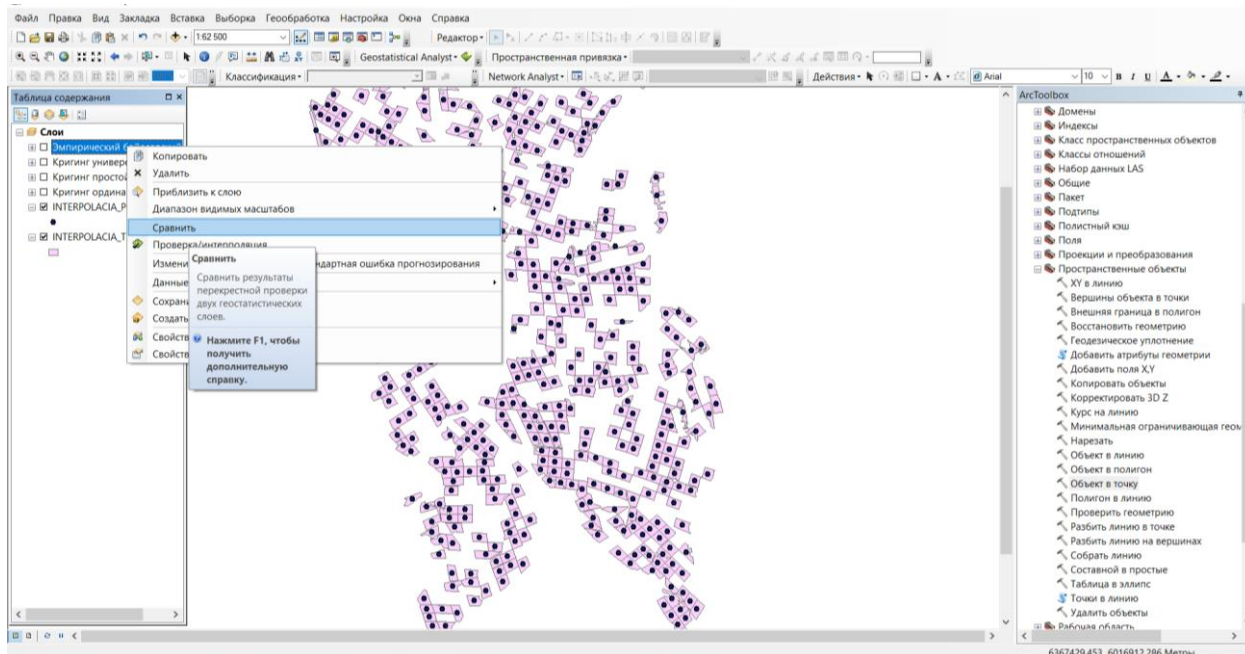


Рис. 15. Рабочее окно проекта с выбранной опцией сравнения геостатистических слоев

Целью перекрестной проверки является принятие обоснованного решения по поводу того, какая модель обеспечивает самые точные интерполяции. Это даст общие представления о том, насколько хорошо модели прогнозируют неизвестные значения. Перекрестная проверка последовательно пропускает точки в наборе данных и интерполирует значение для местоположения точки с помощью оставшихся данных. Затем сравнивает измеренное и проинтерполированное значение (разница между этими значениями называется ошибкой интерполяции). Статистические величины, рассчитанные по ошибкам интерполяции, используются для диагностики, определяющей правдоподобность модели для принятия решения и создания карты.

Для оценки точности модели необходимо проверить следующее:

- средняя ошибка интерполяции близка к нулю, что указывает на объективность прогноза;
- среднеквадратическая нормированная погрешность интерполяции близка к 1, что указывает на точность стандартных ошибок;
- среднеквадратическая ошибка интерполяции и средняя стандартная ошибка малы настолько, насколько это возможно, что указывает на то, что проинтерполированные значения несильно отклоняются от измеренных значений.

При сравнении результатов проверки двух методов интерполяции – эмпирического байесовского и универсального кригинга получены следующие результаты (рис. 16).

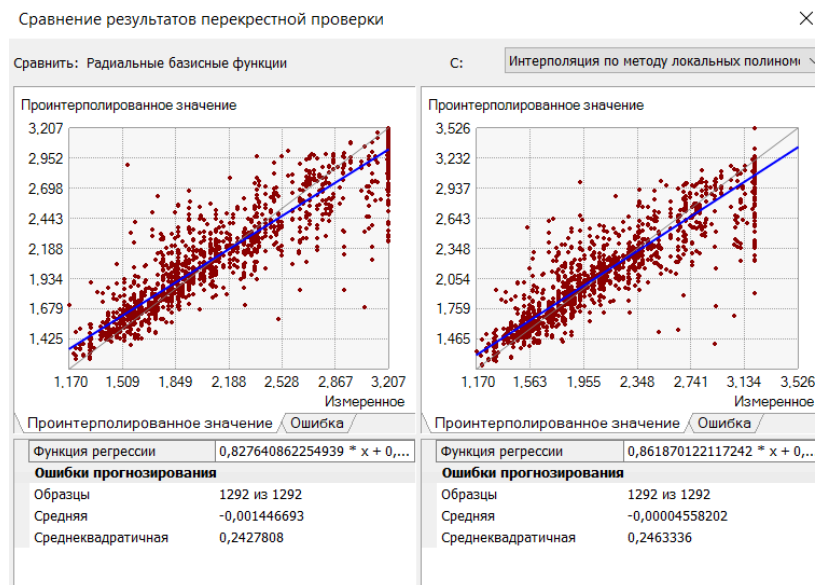


Рис. 16. Сравнение результатов перекрестной проверки растров, полученных по методу радиальных базисных функций и по методу локальных полиномов

При сравнении результатов проверки двух методов интерполяции – метода радиальных базисных функций и метода обратных взвешенных расстояний получены следующие результаты (рис. 17).

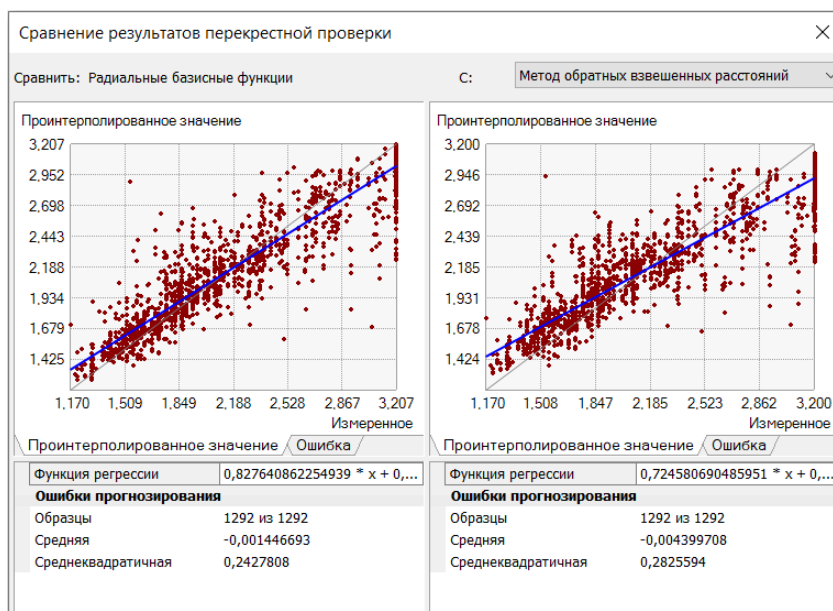


Рис. 17. Сравнение результатов перекрестной проверки растров, полученных по методу радиальных базисных функций и по методу обратных взвешенных расстояний

Результаты, полученные в ходе выполнения кросс-валидации, записать по форме таблицы 1.

Таблица 1. – Результаты перекрестной проверки прогнозных моделей (содержание гумуса), созданных с помощью детерминированных методов интерполяции

Название метода	Средняя ошибка, ME	Среднеквадратичная ошибка, RMSE
Метод взвешенных расстояний, IDW	0,004399	0,283
Метод локальных полиномов, LPI	0,000246	0,241
Метод радиальных базисных функций, RBF	0,001446	0,243

В представленном примере после выполнения процедуры кросс-валидации наилучшие результаты были получены для простого кригинга, который и рекомендуется использовать в качестве метода интерполяции.

Далее, с помощью настроек свойств слоя следует отформатировать значения содержания гумуса и их отображение на созданном растре, который предварительно необходимо импортировать (рис. 18).

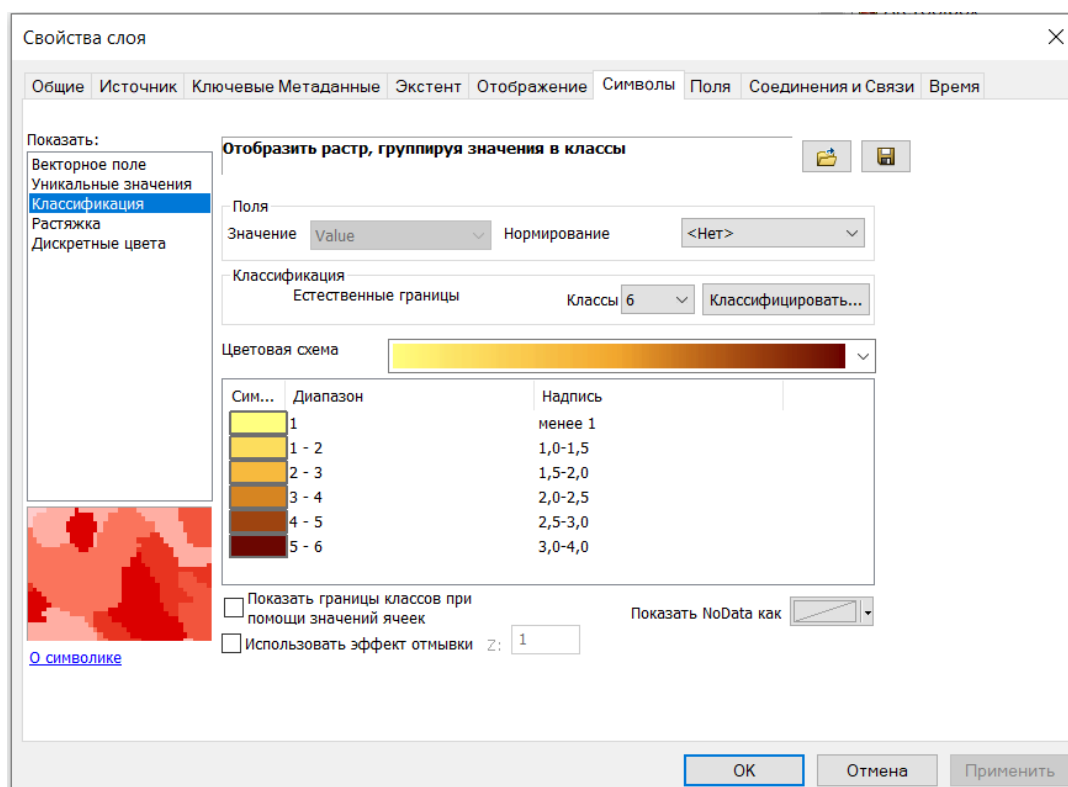


Рис. 18. Общий вид рабочего окна проекта с панелью настроек свойств слоя

5. Выполнение построения изолиний. Для построения изолиний выбирают инструмент «Изолинии по значениям» из набора инструментов «Поверхность» (рис. 19).

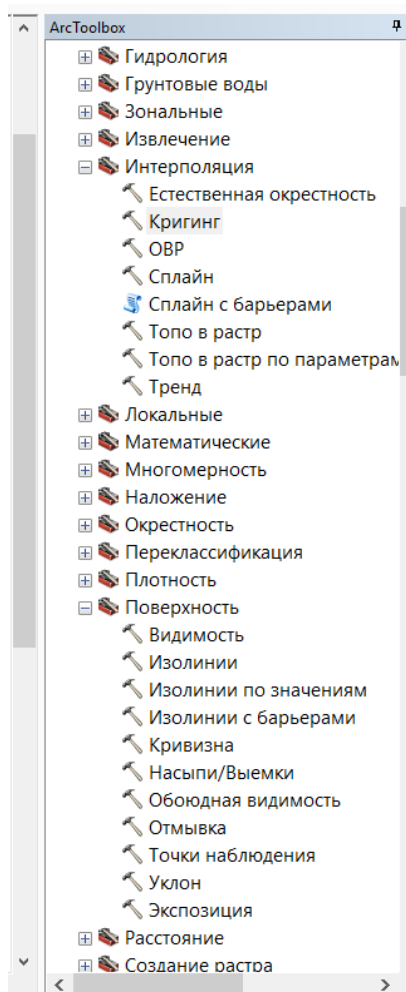


Рис. 19. Панель набора инструментов «Поверхность» с утилитой «Изолинии по значениям»

Интерфейс у этой утилиты следующий (рис. 20).

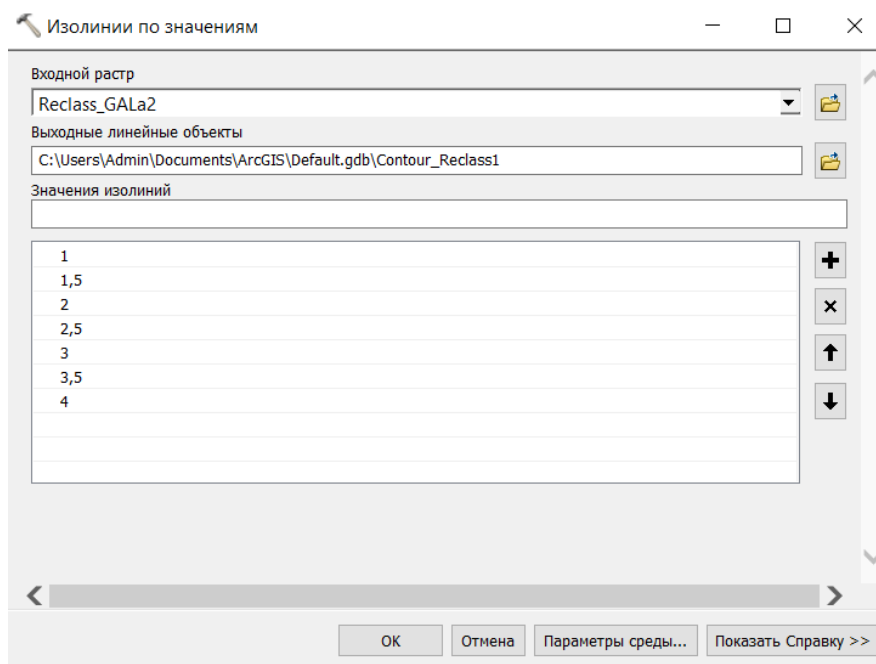


Рис. 20. Интерфейс утилиты «Изолинии по значениям»

Значения изолиний указываются с интервалом, который был выбран для классификации значений при создании поверхности (в нашем случае это 0,5). В результате выполненных манипуляций будет создан слой изолиний, отображение которого следует настроить, как показано на рис. 21.

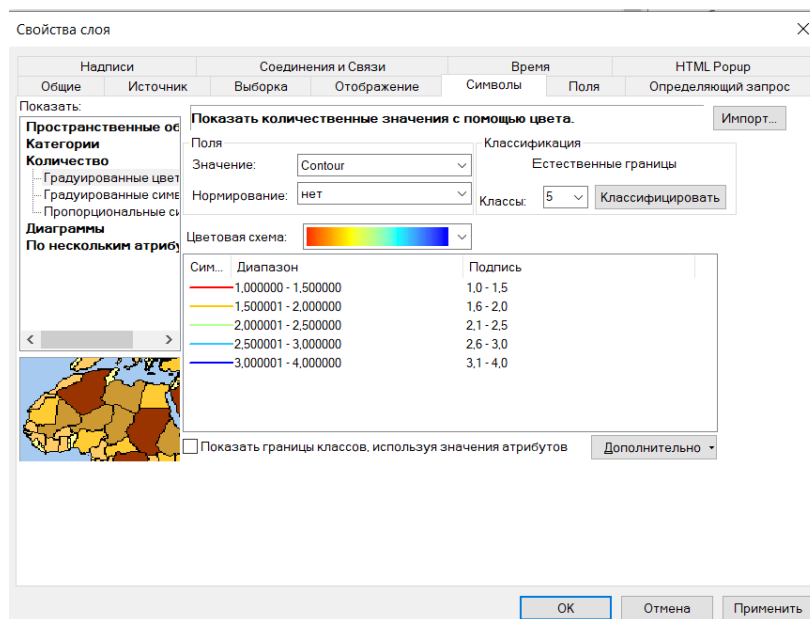


Рис. 21. Общий вид рабочего окна проекта с созданной поверхностью и изолиниями

Далее необходимо выполнить соответствующие настройки и настроить цветовую шкалу, а также добавить подписи к изолиниям, выполнив настройку их размещения (рис. 22). Для того, чтобы иметь доступ к расширенным настройкам свойств надписи необходимо подключить механизм надписывания Maplex.

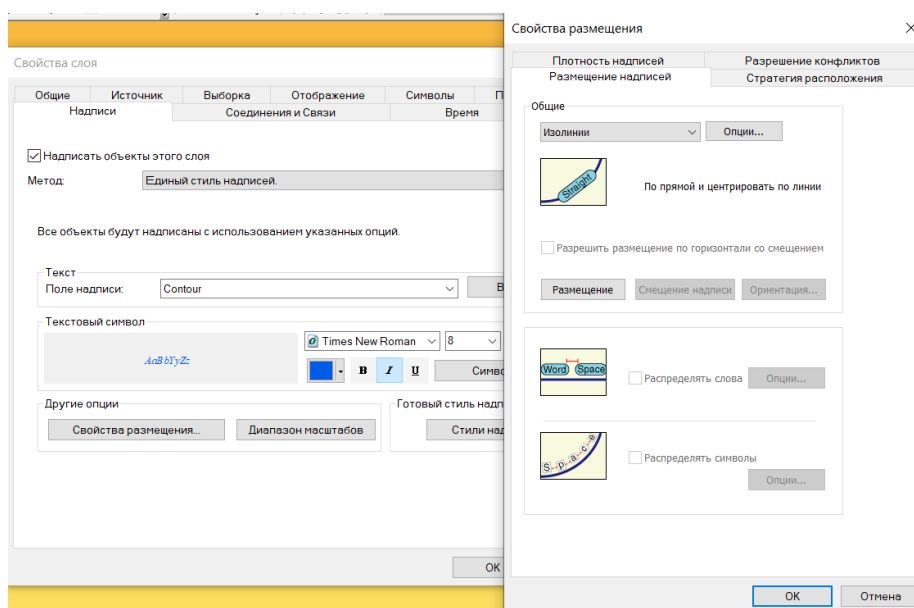


Рис. 22. Диалоговое окно настроек свойств надписи

Далее в режиме компоновки следует выполнить настройку картографического изображения, как показано на рис. 23.

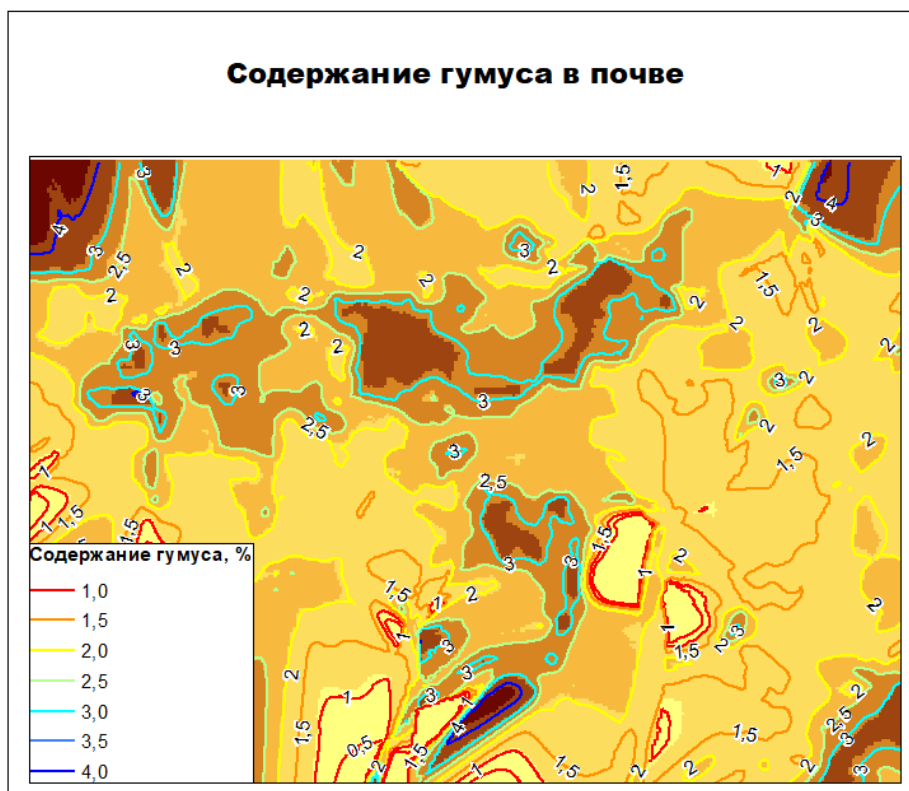


Рис. 23. Общий вид картографического изображения после выполнения настроек

ЛИТЕРАТУРНЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ:

1. ArcGIS Survey Analyst. Руководство пользователя / ESRI: Перевод «Дата+». – М.: Изд-во «Дата+», 2003.
2. ArcToolbox. Руководство пользователя / ESRI: Перевод «Дата+». – М.: Изд-во «Дата+», 2002.
3. Geostatistical Analyst. Руководство пользователя / ESRI: Перевод «Дата+». – М.: Изд-во «Дата+», 2003.