

Isoliner - грид и изолинии

Содержание

1 Введение.....	1
1.1 Установка и расположение.....	2
1.2 Обновление без перезапуска QGIS.....	2
1.3 Вызов справки.....	2
2 Общая логика работы.....	2
3 Инструмент «2D Kriging (точки – растр)».....	3
3.1 Автоматические значения.....	4
3.2 Обрезка по контуру скважин.....	4
4 Вариограмма и наггет.....	5
4.1 Наггет C0.....	5
4.2 Структуры, радиус и анизотропия.....	6
5 Инструмент «Изолинии из растра».....	7
6 Сглаживание изолиний.....	9
7 Контурные полигоны (пояса).....	9
8 Оформление слоёв.....	9
9 Типичные ситуации и решения.....	10
10 Стандартная ошибка кригинга.....	11
11 Отсев ураганных проб.....	12
12 Кросс-валидация вариограммы.....	13
13 Лицензия и поддержка.....	15

1 Введение

Isoliner - провайдер инструментов Processing для интерполяции точечных данных и построения изолиний. Это порт инструмента Isoliner (ArcGIS) в QGIS;

ядро кригинга - алгоритм KB2D из GSLIB. Группа «Грид и изолинии» содержит два инструмента:

«2D Kriging (точки → растр)» - ординарный/простой кригинг по точечному слою.

«Изолинии из растра» - изолинии (линии) и контурные полигоны (пояса между изолиниями), границы которых совпадают с линиями.

Подходит для отметок пласта, мощностей, ФМС, химии и любых числовых атрибутов скважин.

1.1 Установка и расположение

Установка: Модули → Управление и установка модулей → Установить из ZIP. После установки инструменты появятся в панели «Обработка» (Processing): провайдер «Isoliner», группа «Грид и изолинии». Требования: QGIS 3.16+. Внешних зависимостей нет - используются NumPy, GDAL и штатные алгоритмы Processing из состава QGIS.

1.2 Обновление без перезапуска QGIS

Плагин корректно перезагружается «на лету». Новая версия ставится тем же путём (Установить из ZIP поверх старой). Для быстрой перезагрузки кода при разработке удобен модуль Plugin Reloader (кнопка «Reload a plugin...»): выберите «Isoliner» - провайдер и оба алгоритма перерегистрируются сразу, без перезапуска QGIS.

1.3 Вызов справки

В диалоге каждого инструмента есть кнопка «Справка», открывающая это руководство (PDF в комплекте плагина). Правая панель диалога дополнительно показывает краткую подсказку по инструменту.

2 Общая логика работы

Типовой сценарий состоит из двух шагов:

2D Kriging: по точечному слою и числовому полю Z строится растр (регулярная сетка значений).

Изолинии из растра: по полученному растру строятся изолинии и, при необходимости, залитые контурные полигоны.

Шаги независимы: «Изолинии из растра» работают с любым растром, не только с результатом кригинга.

3 Инструмент «2D Kriging (точки → растр)»

Ординарный (OK) или простой (SK) кригинг по точечному слою. Совпадающие точки (один и тот же XY) усредняются по Z; в узлах сетки значения исходных точек воспроизводятся точно (при нулевом наггете). Основные параметры:

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Точечный слой	Исходные точки (скважины) для интерполяции.	-
Только выделенные объекты	Считать лишь по выделенным точкам слоя.	выкл.
Поле значения (Z)	Числовой атрибут, который интерполируется: отметка пласта, мощность, ФМС, химия и т. п.	запоминается между запусками
Тип кригинга	Ординарный (OK) - локально оценивает среднее сам; Простой (SK) - использует заданное «Среднее».	OK
Радиус поиска	Радиус окна поиска соседних точек вокруг узла; 0 = вся выборка.	0 (вся выборка)
Мин. число точек	Если в окне меньше точек - узел остаётся пустым (nodata).	1
Макс. число точек	Сколько ближайших точек включается в систему кригинга.	24
Размер ячейки	Шаг грида; 0 = авто = $\min(\text{охват})/50$.	мельче = плавнее, но дольше
Охват растра	Прямоугольник расчёта; по умолчанию - по слою.	по слою
Обрезать по контуру скважин	Растр обрезается выпуклой оболочкой всех точек - убирает экстраполяцию в пустых углах.	рекомендуется вкл.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Буфер оболочки	Расширить оболочку на N единиц карты наружу.	0
Маска обрезки	Свой полигон вместо оболочки (приоритетнее) - удобно для вогнутых участков.	-

3.1 Автоматические значения

Размер ячейки = $\min(\text{ширина}, \text{высота охвата}) / 50$.

Радиус корреляции вариограммы = $\max(\text{ширина}, \text{высота охвата}) / 3$.

Радиус поиска (при 0) = диагональ охвата, то есть берётся вся выборка.

3.2 Обрезка по контуру скважин

Кригинг считает весь прямоугольный охват, поэтому вне области данных значения являются экстраполяцией и дают артефакты (длинные «веерные» изолинии в пустых углах). Опция «Обрезать по контуру скважин» строит выпуклую оболочку всех точек (с необязательным буфером) и обрезает по ней растр; экстраполяция исчезает. Если фактическая граница участка вогнутая, задайте свой полигон в «Маске обрезки» - он приоритетнее оболочки.

4 Вариограмма и наггет

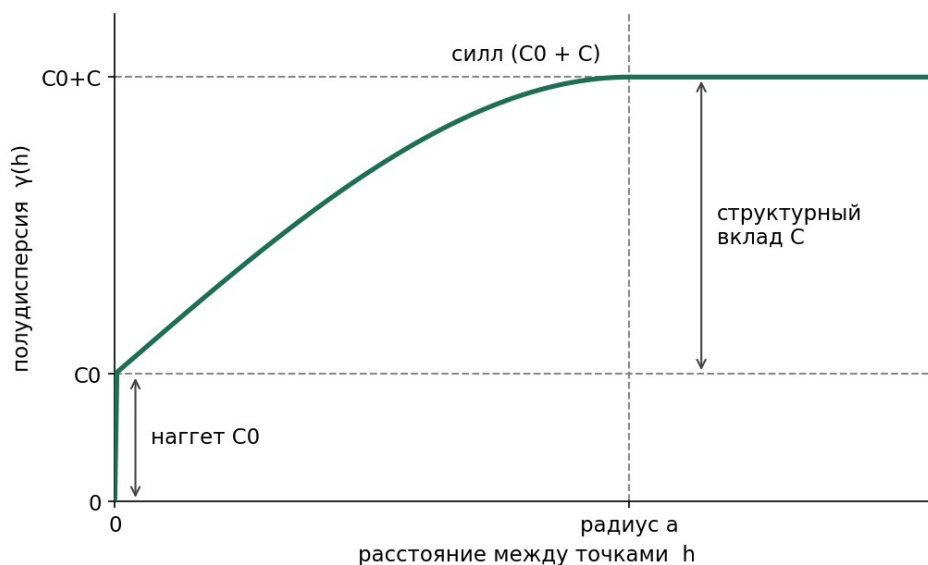


Схема вариограммы: наггет C_0 , структурный вклад C , силл $(C_0 + C)$ и радиус корреляции a .

Кригинг опирается на модель вариограммы - она описывает, насколько сильно различаются значения Z в двух точках в зависимости от расстояния между ними. По этой модели каждой соседней скважине назначается вес. Модель задаётся в разделе «Дополнительные параметры».

Модель вариограммы: наггет C_0 , силл $(C_0 + C)$ и радиус корреляции a .

4.1 Наггет C_0

Наггет - это значение, к которому стремится кривая вариограммы при расстоянии, стремящемся к нулю. Теоретически на нулевом расстоянии расхождение должно быть нулевым (точка сравнивается сама с собой), но на практике остаётся «скачок». Он отражает то, что данные на очень малых расстояниях всё равно не совпадают: погрешность измерения и оцифровки, микро-изменчивость на масштабе меньше расстояния между скважинами, расхождение «дублей» в одной точке.

Как наггет влияет на результат:

$C_0 = 0$ (по умолчанию) - кригинг является точным интерполятором: поверхность обязана пройти ровно через каждую скважину.

Изолированная скважина с выбросом по Z превращается в конус («бычий глаз»).

$C_0 > 0$ - кригинг перестаёт точно восстанавливать значение в точке измерений и становится сглаживателем: вблизи скважины оценка

подтягивается к локальному среднему. Чем больше доля наггета $C_0 / (C_0 + C)$, тем сильнее сглаживание.

C_0 = весь силл (чистый наггет) - пространственная связь теряется, поверхность вырождается в простое среднее. Это перебор.

Практика: силл задаётся параметром «Структура 1·порог/вклад С» (по умолчанию 1), поэтому наггет - это доля от него. Для подавления конусов поставьте наггет 0.2-0.4 (20-40 %) и оцените результат; меньше - больше деталей, но и больше шипов; больше - глаже, но можно «смазать» реальную структуру.

4.2 Структуры, радиус и анизотропия

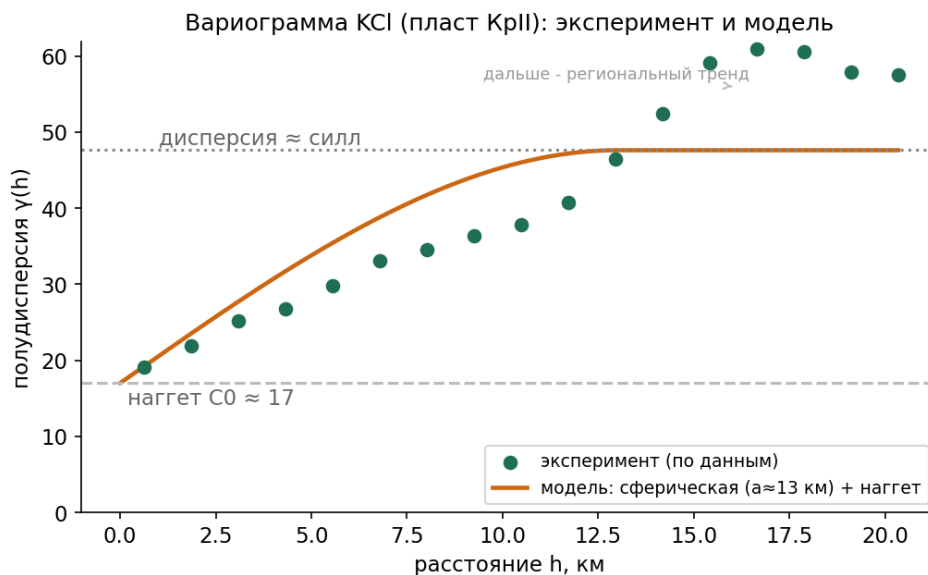
Силл (полка) - это уровень, на который выходит вариограмма; он складывается из наггета C_0 и вкладов структур C . Доступно до трёх вложенных структур (модели: сферическая, экспоненциальная, гауссова, степенная); структуры 2 и 3 включаются ненулевым порогом C .

Радиус корреляции a - расстояние, на котором вариограмма выходит на полку: дальше этого расстояния точки практически не влияют друг на друга. При 0 берётся автоматическое значение $\max(\text{охват})/3$.

Анизотропия задаётся азимутом главной оси и отношением радиусов (малая/главная). Значение 1 - изотропно (влияние одинаково во всех направлениях); значение меньше 1 укорачивает корреляцию поперёк главной оси - полезно для вытянутых геологических структур.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Среднее для простого кригинга	Используется только при типе SK.	0
Наггет C_0	«Шум»/скачок вариограммы у нуля; подавляет шипы. Доля от силла.	0; для сглаживания 0.2-0.4
Структура i · модель	Форма вариограммы: сферическая, экспоненциальная, гауссова, степенная.	сферическая
Структура i · порог/вклад C	Вклад структуры в силл; для структур 2 и 3: 0 = выкл.	стр. 1 = 1
Структура i · радиус корреляции a	Дистанция выхода на полку; 0 = авто = $\max(\text{охват})/3$.	0 (авто)
Структура i · азимут, °	Направление главной оси анизотропии.	0

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Структура i -анизотропия (малая/главная)	Отношение радиусов поперёк/вдоль оси; $1 =$ изотропно.	1



Экспериментальная вариограмма KCl по пласту KpII и подобранная модель: наггет $C_0=17$, силл совпал с дисперсией данных, радиус ≈ 13 км; точки дальше силла - региональный тренд.

Так схема выглядит на реальных данных. Вариограмму строят по самим скважинам: для пар точек считают полудисперсию и усредняют по расстояниям - получается облако (зелёные точки), под которое подбирают модель (кривая). По нему и задают параметры кригинга: высота «скачка» у нуля - наггет C_0 , полка - силл (обычно близок к дисперсии данных), расстояние выхода на полку - радиус a . Если на больших расстояниях точки уходят выше силла, как здесь, - это региональный тренд (нестационарность); его либо учитывают отдельно, либо ограничивают радиус поиска.

5 Инструмент «Изолинии из растра»

Строит изолинии (линии) и, по умолчанию, контурные полигоны. Уровни задаются равномерным шагом или явным списком. Параметры:

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Растр	Входной растр (например, результат кригинга).	-
Шаг изолиний	Равномерный шаг по Z; -	-

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
	0 = задать «Явные уровни».	
Начальный уровень (offset)	Привязка сетки уровней (уровни кратны шагу от offset).	0
Явные уровни	Список уровней через пробел; приоритетнее шага. Десятичный разделитель - запятая или точка.	-
Главная изолиния каждая N-я	Каждая N-я линия помечается is_index = 1 (для утолщения); 0 = выкл.	5
Мин. длина линии	Отбрасывать линии короче порога (ед. карты); 0 = без фильтра.	-
Сглаживать	Главный выключатель сглаживания (поле + скругление линий).	вкл.
Радиус сглаживания поля, ячеек	Гауссово сглаживание раstra ДО контуринга; 0 = без него.	1-2.5
Скругление линий, итераций	Лёгкое скругление линий (Chaikin) поверх гладкого поля; убирает «октагоны»; 0 = выкл.	2 (3 на грубом гриде)
Имя поля значения	Имя атрибута уровня в выходных линиях.	ELEV
Канал (доп.)	Номер канала входного раstra.	1
Изолинии / Контурные полигоны	Выходные слои. Полигоны строятся по умолчанию во временный слой.	-

Выходные поля: у линий - значение уровня (по умолчанию ELEV) и is_index (1 у главных изолиний); у полигонов - ELEV_MIN и ELEV_MAX (диапазон пояса).

6 Сглаживание изолиний

Сглаживание выполняется в два приёма, и оба включаются галочкой «Сглаживать»:

Сглаживание поля. Перед построением изолиний растр сглаживается гауссовым фильтром (радиус в ячейках). Изолинии строятся уже по сглаженному полю, поэтому они плавные и принципиально не пересекаются даже в густых местах. Сам растр кригинга при этом не меняется - сглаживается лишь временная копия.

Скругление линий. Поверх этого линии слегка скругляются (алгоритм Chaikin, число итераций). На грубом гриде изолинии иначе выглядят «октагонами», так как вершины ставятся по краям ячеек. Поскольку поле уже гладкое, скругление не создаёт пересечений.

Если углы всё ещё резковаты - увеличьте число итераций скругления (до 3) или уменьшите размер ячейки в кригинге. Если линии заметно «уезжают» от исходной поверхности - уменьшите радиус сглаживания поля или снимите галочку.

7 Контурные полигоны (пояса)

Контурные полигоны - это залитые пояса между соседними изолиниями. Они строятся не классификацией «ступенек» растра, а полигонизацией самих сглаженных изолиний вместе с контуром валидной области растра: концы линий притягиваются к контуру, сеть нодируется и полигонизуется. Диапазон уровней каждого пояса определяется выборкой растра в репрезентативной точке полигона.

Благодаря этому границы полигонов совпадают с изолиниями, а покрытие сплошное (без дыр). Полигоны несут поля ELEV_MIN и ELEV_MAX. По умолчанию они строятся во временный слой; чтобы их не строить, очистите поле «Контурные полигоны».

8 Оформление слоёв

Линии: задайте символику по правилу на основе is_index - главным изолониям (is_index = 1) дайте бóльшую толщину; подпись - по полю уровня (ELEV).

Полигоны создаются с одним символом. Для заливки по диапазонам задайте градуированную символику по ELEV_MIN (или ELEV_MAX).

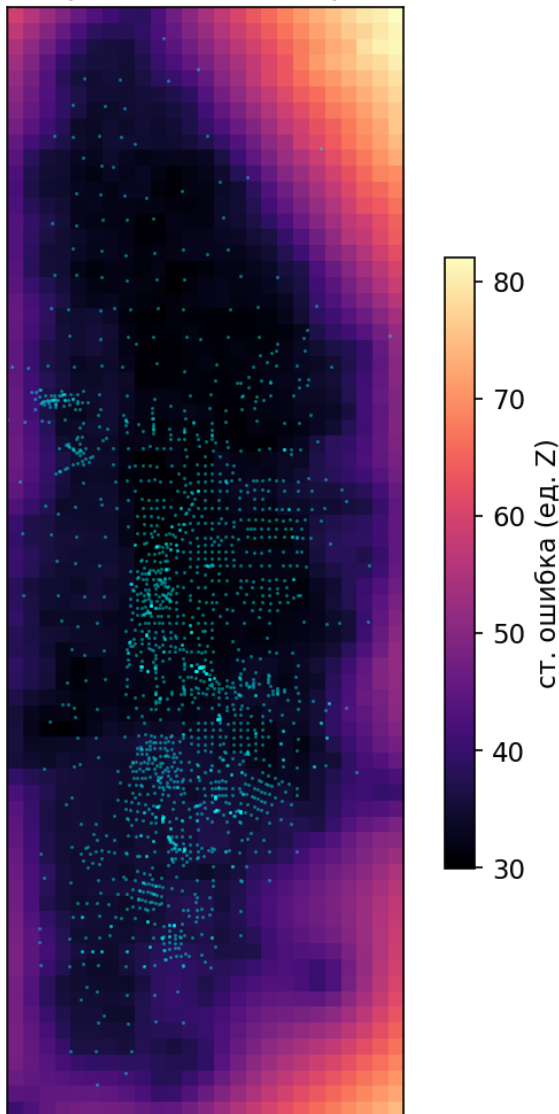
Слой изолиний автоматически помещается над слоем полигонов, чтобы линии были видны поверх заливки.

9 Типичные ситуации и решения

Что видно	Причина	Решение
Концентрические «бычьи глаза», конусы	Кригинг точно протягивает значение через скважины-выбросы (нагет 0).	Задать нагет $C0 = 0.2-0.4$; и/или увеличить радиус сглаживания поля.
Угловатые изолинии («октагоны»)	Грубый грид: вершины ставятся по краям ячеек.	Увеличить «Скругление линий» до 3 или уменьшить размер ячейки в кригинге.
Радиальные/веерные линии в пустых углах	Экстраполяция за пределами данных.	Включить «Обрезать по контуру скважин» или задать маску обрезки.
Изолинии пересекаются в густых местах	Раньше - следствие сглаживания каждой линии.	Сглаживание выполняется по полю; увеличить радиус сглаживания поля.
Полигоны одного цвета	По умолчанию слой создаётся с одним символом.	Задать градуированную символику по ELEV_MIN.

10 Стандартная ошибка кригинга

Стандартная ошибка кригинга



Карта стандартной ошибки: тёмное у скважин (голубые точки) - оценке можно доверять, светлое в пустых углах - данных мало.

Кроме самой оценки, кригинг даёт в каждом узле дисперсию ошибки - меру неопределённости. Её корень, стандартная ошибка, выводится необязательным вторым растром (параметр «Стандартная ошибка кригинга» инструмента «2D Kriging»). Единицы - те же, что у интерполируемой величины Z.

Ключевое свойство: стандартная ошибка зависит от геометрии расположения скважин и модели вариограммы, но не от самих значений Z. Поэтому это, по сути, карта надёжности сети наблюдений, а не разброса данных. В точке скважины (при нулевом наггете) ошибка равна нулю -

там значение известно точно; по мере удаления от скважин она растёт, а в областях без данных достигает максимума (примерно корень из силла).

Как читать. Тёмные (малые) значения - оценке можно доверять: рядом достаточно скважин. Светлые (большие) - оценка держится на далёких точках, фактически экстраполяция; это первые кандидаты на доразведку. Сравнивать удобнее относительно (где больше, где меньше), потому что абсолютная величина зависит от масштаба вариограммы (силла S1_SILL).

Важно. Это модельная оценка: она верна настолько, насколько верна заданная вариограмма (наггет, радиус, анизотропия). При наггете больше нуля ошибка у скважин не нулевая - наггет задаёт нижний «пол» неопределённости. Строгим доверительным интервалом стандартная ошибка не является, но как относительная карта неопределённости очень полезна.

Оформление. Задайте слою градуированную символику по значению (например, от тёмного к красному) - и сразу видно, где карта надёжна, а где нет.

11 Отсев ураганных проб

Ураганные пробы - аномально высокие (или ошибочные) значения, которые искажают оценку: несколько «бонанц» по содержанию могут перетянуть на себя всю карту грейда, а явные ошибки (например, отрицательная мощность) портят поверхность. Инструмент «2D Kriging» позволяет ограничить такие пробы прямо при расчёте, без правки исходных данных. Параметры - в разделе «Дополнительно».

Два режима. «Удалить» - пробы вне допустимого диапазона выбрасываются (для явно битых записей). «Срезать (capping)» - значения вне диапазона прижимаются к границе, а сама точка остаётся в расчёте. Срезка - классический приём для ураганных проб по содержанию: положение точки не теряется, но её влияние ограничивается. Режим переключается флажком «Срезать к границе (capping) вместо удаления».

Границы по абсолюту. «Нижняя граница» и «Верхняя граница» задают пороги в единицах Z напрямую; пустое поле - граница не задана. Они приоритетнее перцентиля. Пример: для мощности поставьте нижнюю границу 0 - уйдут отрицательные значения, верхнюю, скажем, 30 - уйдёт явный выброс в 122 м.

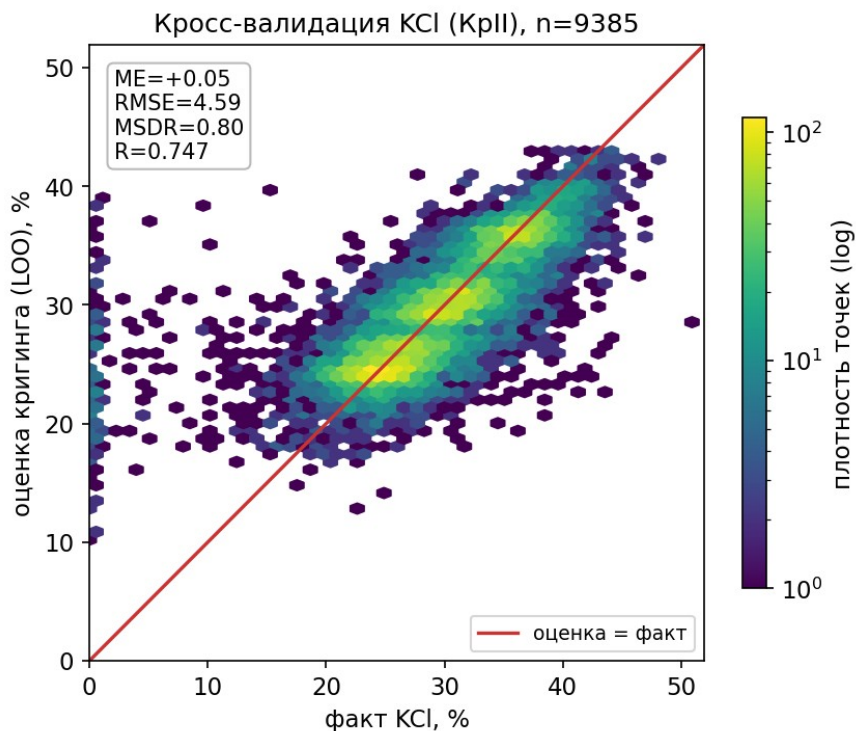
Границы по перцентилю. p -й перцентиль - это значение, ниже которого лежит $p\%$ всех проб. Например, 5-й перцентиль - порог, ниже которого только 5% самых малых значений; 95-й - порог, выше которого 5% самых больших. Параметр «перцентиль обрезки, %» задаёт число p , и границы берутся симметрично: от p -го до $(100-p)$ -го перцентиля. То есть $p = 2$ означает «считать ураганными 2% самых низких и 2% самых высоких».

проб»: всё ниже 2-го и выше 98-го перцентиля либо удаляется, либо срезается. Чем больше p , тем агрессивнее обрезка; $p = 0$ включает перцентильный режим. Удобство в том, что абсолютные пороги знать не нужно - они вычисляются по самим данным и подходят к любому распределению и масштабу.

Двусторонность - важно для химии. Перцентильный режим режет оба хвоста - и верхний, и нижний. Для содержаний это опасно: $KCl = 0$ в зонах замещения - реальная геология, и обрезка нижнего хвоста ошибочно поднимет «пустые» участки. Поэтому для грейда отсекайте только сверху: оставьте «Нижнюю границу» пустой и задайте «Верхнюю» абсолютном (или применяйте перцентиль, понимая, что низ тоже будет затронут). Для отметок и мощностей двусторонняя обрезка обычно уместна.

Порядок и журнал. Фильтр применяется до усреднения совпадающих точек. В Журнал инструмента выводится, сколько проб удалено или срезано и в каких границах - это удобно для контроля.

12 Кросс-валидация вариограммы



Кросс-валидация (leave-one-out) на реальных данных - KCl по пласту KpII: оценка против факта. Плотное облако вдоль красной диагонали - модель работает; вертикальная полоса при факте около 0 - зоны замещения, которые по соседям не предсказываются. В врезке метрики ME/RMSE/MSDR/R.

Инструмент проверяет, насколько удачно подобрана вариограмма, методом скользящего контроля (leave-one-out): каждая скважина по очереди исключается, её значение предсказывается кригингом по всем остальным, и сравнивается с фактическим. Так параметры (наггет, радиус, модель) подбираются по ошибке, а не на глаз.

В Журнал выводятся метрики:

ME (среднее смещение) - систематическая ошибка; должна быть близка к 0 (несмещённость).

MAE и RMSE - средняя и среднеквадратичная ошибка предсказания; чем меньше, тем точнее. Но одной RMSE недостаточно: она минимальна при нулевом наггете (переобучение), хотя неопределённость при этом оценена неверно.

MSDR (стандартизованная ошибка) - средний квадрат ошибки, делённой на стандартную ошибку кригинга; должен быть близок к 1. Если MSDR заметно больше 1 - дисперсия недооценена (наггет или силл малы); если меньше 1 - переоценена.

R - коэффициент корреляции «оценка - факт».

На практике переберите несколько вариантов вариограммы и сравните. Хорошая модель даёт ME около 0, малую RMSE и MSDR около 1. Если RMSE тянет к нулевому наггету, а MSDR при этом огромный - это признак переобучения; небольшой наггет калибрует неопределённость.

Опциональный слой остатков (точки с полями `z`, `z_est`, `error`, `std_error`) показывает, где модель промахивается: крупные по модулю остатки - проблемные участки, систематические знаки остатков - локальный тренд.

Главное - что делать с результатами. Смысл инструмента в том, чтобы перед построением грида утвердить или поправить весь набор параметров, который вы затем зададите в «2D Kriging». Это и вариограмма (наггет, силл, радиус, модель, анизотропия), и настройки самого кригинга (радиус поиска, минимум/максимум точек, тип - ординарный или простой): кросс-валидация считает кригинг ровно с теми же настройками, поэтому удачный набор переносится в инструмент «2D Kriging» один в один. Порядок решений:

- ME около 0, MSDR около 1, RMSE и R вас устраивают - набор можно утверждать: переносите эти же параметры (вариограмму и настройки поиска) в «2D Kriging» и стройте поверхность.
- MSDR заметно больше 1 - кригинг слишком «уверен в себе», карта стандартной ошибки будет занижена: увеличьте наггет C0 или силл и проверьте снова.
- MSDR меньше 1 - неопределённость завышена: уменьшите наггет или силл.

- ME заметно отличается от 0 - систематический сдвиг: проверьте данные и тип кригинга (для простого кригинга - заданное среднее).
- Большая RMSE и низкий R - модель плохо предсказывает: попробуйте другой радиус, модель или анизотропию (азимут и отношение осей). Если ничего не помогает - это предел данных: короткомасштабная изменчивость, которую сеть не ловит (например, зоны замещения по руде - на графике выше это вертикальная полоса при факте около 0).

Слой остатков подсказывает точно: где остатки крупные - там стоит сгустить сеть (добавить скважины) или проверить пробы; где остатки систематически одного знака по площади - там локальный тренд, который кригинг не учёл.

Итог: этот инструмент - последний шаг перед финальным кригингом. Сначала вы калибруете вариограмму здесь по ошибке, затем те же параметры ставите в «2D Kriging» - и поверхность вместе с картой стандартной ошибки получаются обоснованными, а не подобранными на глаз.

Замечание о скорости: контроль решает кригинг столько раз, сколько точек, поэтому на больших наборах (десятки тысяч скважин) выполняется заметно дольше; при необходимости уменьшите выборку.

13 Лицензия и поддержка

Плагин распространяется под лицензией GNU GPL v2 или новее (GPL-2.0-or-later) - той же, что и сам QGIS; полный текст в файле LICENSE в комплекте. © ООО «Информ++», www.informpp.ru.