

Isoliner - грид и изолинии

Содержание

Введение	7
Установка и расположение	7
Обновление	9
Вызов справки	9
Быстрый старт	10
Есть скважины, нужен растр и изолинии	10
Есть открытая местность, нужен рельеф и топооснова	10
Есть топоплан с горизонталями, нужен рельеф	11
Есть плотная съёмка, нужны бровки и подошвы	12
Есть карьер в топоплане, но горизонталей внутри нет	12
Нужен геологический разрез	13
Нужны объёмы работ	13
Общая логика работы	13
1. Грид и изолинии	14
1.01 Декластеризация (веса)	14
1.02 2D Kriging (точки → растр)	15
Локальная анизотропия	16
Ураганные пробы отдельным слоем	16
Автоматические значения	18
Обрезка по контуру скважин	18
Вариограмма и наггет	18
Отсев ураганных проб	22
Стандартная ошибка кригинга	23
Снятие тренда (регрессия-кригинг)	24
Блочный кригинг	25
Разломы	26
Почему разлом не переводится в сетку	26
Цена приближения	26
Как проверить на учебных данных	27
1.03 Минимальная кривизна (точки → растр)	27
Разломы	28
Полоса мембраны вдоль линии	28
1.04 Изолинии из растра	29
Прямые грани на чертеже поясов	30
Сглаживание изолиний	30
Контурные полигоны (пояса)	30
Оформление слоёв	31
Значение в Z геометрии	31
Топографические подписи	31
Предупреждение о плоских уровнях	32
Уверенность горизонталей	32

Разломы	33
Коридор у разлома	33
Наименьшая толщина полигона	33
Отметки Z у поясов	34
1.05 Вариограмма (экспериментальная)	34
Зачем нужен предпросмотр	34
Краткая теория	34
Параметры	35
Поле группировки и разноплотностная разведка	37
Три типичные геологические ситуации	38
Максимальное расстояние и выход на плато	39
Откуда взялся наггет	39
Признаки непригодной модели	40
Рабочий цикл с кросс-валидацией	40
Таблица моделей вариограмм	40
Состав таблицы	41
Отметка из геометрии	41
Порядок работы	42
Разбор строк	42
1.06 Вариограммная карта (анизотропия)	42
Что такое анизотропия и зачем её видеть	42
Как читать карту	42
Параметры	43
Оценка азимута, анизотропии и радиуса	44
Когда радиус упирается в окно	45
Растр поверхности	45
1.07 Кросс-валидация вариограммы	45
1.08 Кросс-валидация метода (LOO)	49
1.09 Пример скважин (демо)	52
1.10 Пример геофизических профилей (демо)	53
Кригинг или минимальная кривизна	54
Топография: рельеф из открытых данных	55
2. Топография	56
2.01 Загрузка ЦМР по рамке	56
2.02 Загрузка топоосновы по рамке	57
2.03 Торо2Raster (рельеф из векторов)	57
Трёхмерные тальвеги	59
Поверхность между структурными линиями	60
Граница области построения	60
2.04 Подготовка рельефа	61
2.05 Сток и аккумуляция (D8)	62
2.06 Речная сеть	63
2.07 Бассейны и водоразделы	63
2.08 Уклон и экспозиция	64
2.09 Вершины и ямы	64
2.10 Демо-рельеф	65
Пара поверхностей для объёмов	66
Овражно-балочная сеть	66
Куда ложится демо	66
2. Топография: диагностика и правка	66
2.11 Разделить горизонталы для проверки	66
Зачем разделять	66
Почему делим по отметкам, а не по объектам	67
Что на выходе	67
Рабочий порядок	67

Параметры	67
2.12 Невязка горизонталей против ЦМР	67
Какие числа выдаются	67
Две цифры вместо одной	68
Отчёт	68
Слой точек	68
Параметры	68
2.13 Диагностика террасинга ЦМР	68
Два независимых признака	69
Сечение рельефа	69
Плоские участки в счёт не идут	69
Отчёт	69
Чем лечить	69
Параметры	70
2.14 Снятие ступеней (сглаживание с ограничением)	70
Как это возможно	70
Лечение самопроверяемое	70
Чего инструмент не делает	70
Параметры	71
2. Топография (продолжение)	71
2.15 Отчёт по створу	71
Как это работает	71
Что считается	71
Параметры	72
Быстрая проверка на демо	72
Границы применимости	72
Расчёт по СП 33-101-2003	72
2.16 Водосбор. Линии и контуры (канавы, карьеры)	73
Как это работает	73
Контур вместо линии	73
Врезка трассы	74
Что считается	74
Параметры	74
Быстрая проверка на демо	74
Границы применимости	74
2.17 Отчёт по готовому водосбору	75
Точка замыкания	75
Расчёт по СП 33-101-2003	75
2.18 Насыпи и выемки (объёмы работ)	76
Знак и поверхность сравнения	76
Приведение к одной сетке	76
Почему цифры расходятся с другими программами	76
Мёртвая зона	77
Участки и баланс	77
Выходы	77
Параметры	77
Быстрая проверка на демо	78
Границы применимости	78
2.19 Кандидаты бровок и подошв	78
2.20 Бровки и подошвы в работу	79
2.21 Пример карьера (демо)	80
2.22 Профилирование откосов	81
3. Дополнительные инструменты анализа	82
Высотные отметки как второй источник	82
Куда ставятся вершины	82

3.01 Категориальный индикаторный кригинг	82
Как считается	83
Когда скважина не попала в свою зону	83
Что на выходе	85
Векторные границы по вероятностям	86
3.02 Кригинг с внешним дрейфом (External Drift)	86
В чём отличие от снятия тренда	87
Как считается	87
Атрибуты сгенерированного слоя	87
Параметры	88
Вариограмма по остаткам	88
3.03 Карта вероятности превышения	88
Как считается	89
Как получить входы	90
Параметры	90
Применение	90
3.04 Гидравлический градиент и направление потока	90
Без проницаемости	90
Параметры и сглаживание	93
Стрелки из точек	93
Учебный цикл	94
3.05 Удельный расход (закон Дарси)	94
Что считается	94
Как получить растры К и Т	94
Параметры	94
Применение	95
3.06 Гауссова симуляция (SGS)	95
Параметры	96
Виды кригинга: какой выбрать	96
Шпаргалка	97
3.07 Плотность по замерам (переменная опора)	97
Выход и инвариант	98
Как читать	98
Окно «Карта плотности» (живой предпросмотр)	98
3.08 Пример для плотности (демо)	99
4. Разрез	99
4.01 Разрез по линии	99
Как задаются пласты	99
Разрез по одной поверхности	99
Порядок поверхностей задаёт дерево слоёв	100
Выходы	100
Вертикальный масштаб	101
Несколько разрезов за один прогон	101
Цвет полос: справочник пластов	102
Атрибуты выходных слоёв	102
Параметры	103
Как попробовать на демо	104
Связь с QGIS	104
4.02 Скважины на разрезе (модель бурения)	104
Модель бурения	105
Наклонные скважины	105
Скважины без интервалов	105
Когда устья и интервалы не сходятся	105
Терпимый читатель	106
Пакетность и совмещение	106
Раскраска и легенда	106

Обрезка по чертежу и рамке	106
Цвет колонок: справочник пластов	107
Параметры	107
4.03 Состав пласта на разрезе	107
Два режима	108
Параметры	108
Определение разреза и общие параметры	108
4.04 Пересечение поверхностей с разрезом	109
Параметры	109
4.05 Пересечение векторов с разрезом	110
Параметры	110
Имя и стиль исходного слоя	111
Обрезка по рельефу и линии низа	113
Атрибуты объектов на разрезе	113
4.06 Пересечение TIN с разрезом	114
Параметры	114
4.07 Проекция объектов на разрез	115
Все разрезы определения	115
Имя и стиль исходного слоя	115
4.08 Спроецировать с разреза	116
Манифест модели вместо списка слоёв	116
Обратный ход: правка контакта на разрезе	116
Раскоп: все борта сразу	117
4.09 Развёртка стенки ствола (бета)	117
4.10 Пример для разреза (демо)	117
Скважины с интервалами опробования	118
Слои демо и их атрибуты	118
Параметры	119
4.11 Образец справочника пластов	120
Что внутри	120
Тело заполняет геолог	120
Составные тела серые	121
Тот же файл вне QGIS	121
4.12 Элементы залегания по следу выхода	121
Геологическая модель	122
5. Геологическая модель (бета)	122
5.01 Согласованность пачки пластов	122
Что считается	122
Откуда берётся порядок пластов	122
Что на выходе	122
Чего инструмент не решает	123
5.02 Пример разреза (демо)	123
Что в примере	123
Гриды в зоне складки неверны нарочно	123
Что на выходе	123
Как этим пользоваться	124
5.03 Сборка пачки от рельефа	124
Почему это надёжно	124
Чем за это платят	124
Что считается мощностью	124
Линии контакта	124
5.04 Коррекция пачки по статистике мощностей	124
5.05 Манифест модели	125
5.06 Складчатость поверхности	125
Гидрология рек	125

6. Гидрология рек	126
6.01 Створы и кривые расходов	126
Как считается	126
Участки	126
Шероховатость и уклон	126
Уровни	127
Подвал чертежа	128
Что важно знать о методе	128
Что на выходе	128
График кривой расходов	128
6.02 Полигон затопления	128
Уровень вдоль реки не постоянен	129
6.03 Импорт таблиц створов	129
6.04 Пример реки (демо)	129
Как проверять группу	130
Чего в группе пока нет	130
7. Фрактальный анализ	130
7.01 Фрактальная размерность	130
Как читать карту	130
Выбор окна и лагов	130
Рабочий цикл	130
Параметры	131
7.02 Box-counting маски	131
Откуда берётся маска	131
7.03 Размерность линий и границ	132
Диагностика сглаживания изолиний	132
Другие применения	132
7.04 Размерность Минковского (векторы)	132
7.05 Пример для фракталов (демо)	133
Типичные ситуации и решения	133
Приложение. Isoliner за 15 минут	133
Сценарий 1. У меня точки	134
Сценарий 2. Мне нужен рельеф	134
Сценарий 3. Мне нужен разрез	135
Куда идти дальше	136
Приложение. Поля демо-слоёв	136
Выходы группы «Топография»	136
Скважины (демо) - инструмент 1.10	136
Профили электроразведки - инструмент 1.11, режим электроразведки	137
Профили оседаний - инструмент 1.11, режим оседаний	137
Данные для разреза - инструмент 4.10	137
Данные для фракталов - инструмент 7.05	138
Плотность (демо) - инструмент 3.08	138
Приложение. Плотность переменной опоры: пошагово	138
Шаг 1. Сгенерировать демо (3.08)	138
Шаг 2. Плотность по точкам (3.07)	139
Шаг 3. Плотность по линиям	139
Шаг 4. Плотность по полигонам и дазиметрия	139
Шаг 5. Смешать типы через дописывание	139
Шаг 6. Эффективная сигма	140
Как читать итог	140

Предприятиям	140
Журнал и панель инструментов	140
Лицензия и поддержка	140

Введение

Isoliner - провайдер инструментов Processing для интерполяции точечных данных, построения изолиний и работы с рельефом. Ядро кригинга - алгоритм KB2D из GSLIB. Инструменты разнесены по семи группам: «Грид и изолинии» - основной поток обработки от декластеризации до изолиний, «Топография» - рельеф из открытых данных и гидрологический анализ, «Дополнительные инструменты анализа» - специализированные расчёты от индикаторного кригинга до плотности переменной опоры, «Разрез» - построение геологических разрезов, «Геологическая модель» (бета) - согласованность пачки пластов и учебный пример разреза, «Гидрология рек» - створы, кривые расходов и затопление, «Фрактальный анализ» - размерности поверхностей, масок и линий.

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

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

«Вариограммная карта (анизотропия)» - поверхность $\gamma(h_x, h_y)$ с оценкой азимута и анизотропии для учёта направленности в кригинге.

«Кросс-валидация вариограммы» - скользящий контроль (leave-one-out) для проверки и подбора параметров кригинга по ошибке, а не визуально.

«Пример скважин (демо)» - генерация учебного точечного слоя с пространственной структурой (кровля, мощность, содержание компонента) для обучения и проверки без реальных данных.

В группе «Дополнительные инструменты анализа» специализированные расчёты, например:

«Категориальный индикаторный кригинг» - карта вероятности классов по категориальному полю (минтип, литотип): на каждый класс строится индикатор и кригуется отдельно, на выходе растр вероятностей, карта зон и уверенность.

«Гидравлический градиент и направление потока» - по растру напора строит модуль гидравлического градиента, азимут направления потока (вниз по градиенту) и точечный слой векторов потока, который сразу оформляется стрелками. Гидрогеология без проницаемости.

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

Несколько терминов, которые встречаются далее. Вариограмма описывает, насколько сильнее различаются значения с ростом расстояния между точками. Силл - уровень, на который она выходит (близок к дисперсии данных). Наггет (от англ. nugget, «эффект самородка») - скачок вариограммы у нуля, то есть разброс на сколь угодно малых расстояниях, вызванный измерительным шумом и микроизменчивостью. Далее по тексту - просто «наггет».

Установка и расположение

Основной способ - из официального репозитория QGIS. Откройте Модули → Управление и установка модулей → вкладка «Все», в поиске наберите «Isoliner», выберите плагин и нажмите «Установить». При установке из репозитория QGIS сам сообщает о выходе новых версий и обновляет плагин по кнопке.

Выбор канала растра во всех инструментах - выпадающими списками с именами каналов: у многоканального грида пласта в списках читаются «кровля», «подошва» и имена слоёв параметров.

Все инструменты провайдера, как они стоят в панели **Обработка**. Список собирается из кода при сборке руководства, поэтому он не расходится с плагином.

1. Грид и изолинии

- 1.01 Декластеризация (веса)
- 1.02 2D Kriging (точки → растр)
- 1.03 Минимальная кривизна (точки → растр)
- 1.04 Изолинии из растра
- 1.05 Вариограмма (экспериментальная)
- 1.06 Вариограммная карта (анизотропия)
- 1.07 Кросс-валидация вариограммы
- 1.08 Кросс-валидация метода (LOO)
- 1.09 Пример скважин (демо)
- 1.10 Пример геофизических профилей (демо)

2. Топография

- 2.01 Загрузка ЦМР по рамке
- 2.02 Загрузка топоосновы по рамке
- 2.03 Торо2Raster (рельеф из векторов)
- 2.04 Подготовка рельефа
- 2.05 Сток и аккумуляция (D8)
- 2.06 Речная сеть
- 2.07 Бассейны и водоразделы
- 2.08 Уклон и экспозиция
- 2.09 Вершины и ямы
- 2.10 Демо-рельеф
- 2.15 Отчёт по створу
- 2.16 Водосбор. Линии и контуры (канавы, карьеры)
- 2.17 Отчёт по готовому водосбору
- 2.18 Насыпи и выемки (объёмы работ)
- 2.19 Кандидаты бровок и подошв
- 2.20 Бровки и подошвы в работу
- 2.21 Пример карьера (демо)
- 2.22 Профилирование откосов

2. Топография: диагностика и правка

- 2.11 Разделить горизонталы для проверки
- 2.12 Невязка горизонталей против ЦМР
- 2.13 Диагностика террасинга ЦМР
- 2.14 Снятие ступеней (сглаживание с ограничением)

3. Дополнительные инструменты анализа

- 3.01 Категориальный индикаторный кригинг
- 3.02 Кригинг с внешним дрейфом (External Drift)
- 3.03 Карта вероятности превышения
- 3.04 Гидравлический градиент и направление потока
- 3.05 Удельный расход (закон Дарси)
- 3.06 Гауссова симуляция (SGS)
- 3.07 Плотность по замерам (переменная опора)
- 3.08 Пример для плотности (демо)

4. Разрез

- 4.01 Разрез по линии
- 4.02 Скважины на разрезе (модель бурения)
- 4.03 Состав пласта на разрезе
- 4.04 Пересечение поверхностей с разрезом

- 4.05 Пересечение векторов с разрезом
- 4.06 Пересечение TIN с разрезом
- 4.07 Проекция объектов на разрез
- 4.08 Спроецировать с разреза
- 4.09 Развёртка стенки ствола (бета)
- 4.10 Пример для разреза (демо)
- 4.11 Образец справочника пластов
- 4.12 Элементы залегания по следу выхода

5. Геологическая модель (бета)

- 5.01 Согласованность пачки пластов
- 5.02 Пример разреза (демо)
- 5.03 Сборка пачки от рельефа
- 5.04 Коррекция пачки по статистике мощностей
- 5.05 Манифест модели
- 5.06 Складчатость поверхности

6. Гидрология рек

- 6.01 Створы и кривые расходов
- 6.02 Полигон затопления
- 6.03 Импорт таблиц створов
- 6.04 Пример реки (демо)

7. Фрактальный анализ

- 7.01 Фрактальная размерность
- 7.02 Box-counting маски
- 7.03 Размерность линий и границ
- 7.04 Размерность Минковского (векторы)
- 7.05 Пример для фракталов (демо)

Всего инструментов: 67

Альтернативный способ - из ZIP-файла. Модули → Управление и установка модулей → Установить из ZIP. Это удобно для офлайн-установки и пререлизных сборок.

После установки инструменты появляются в панели «Обработка» (Processing), провайдер «Isoliner», группы «Грид и изолинии», «Топография», «Дополнительные инструменты анализа», «Разрез», «Геологическая модель» (бета), «Гидрология рек» и «Фрактальный анализ». Требования: QGIS 3.16+. Внешних зависимостей нет - используются NumPy, GDAL и штатные алгоритмы Processing из состава QGIS.

Обновление

При установке из репозитория QGIS показывает уведомление о доступной новой версии - значок в строке состояния и список во вкладке «Обновляемые» менеджера модулей. Обновление выполняется одной кнопкой. При установке из ZIP новая версия ставится тем же путём, поверх старой.

Плагин корректно перезагружается «на лету», перезапуск QGIS не требуется. Для быстрой перезагрузки кода при разработке удобен модуль Plugin Reloader (кнопка «Reload a plugin...»). Выберите «Isoliner» - провайдер и все инструменты перерегистрируются сразу.

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. Руководство и сведения о версии доступны и без открытия инструмента:

меню **Модули** содержит подменю **Isoliner** с пунктами **О плагине** (версия, ссылки, история изменений) и **Руководство (PDF)**.

Быстрый старт

Инструментов в плагине под шестьдесят, и выбирать из общего списка тяжело. Этот раздел устроен иначе: не по инструментам, а по задачам. Найдите ту, что похожа на вашу, и идите по шагам - остальное можно не читать.

Общее правило одно: **инструменты не догадываются, они спрашивают и докладывают**. Почти каждый пишет в журнал, что именно он решил, и почему получилось столько объектов, а не иначе. Журнал стоит открывать всегда, особенно в первые разы: там обычно и лежит ответ на вопрос «почему вышло не то».

Есть скважины, нужен растр и изолинии

Самая частая задача и самая старая: точки с замерами превратить в поверхность. Достаточно двух инструментов.

1.02 2D Kriging строит растр по точкам. Ординарный кригинг оценивает значение в ячейке как взвешенное среднее ближайших замеров, причём веса он не выдумывает, а выводит из того, как быстро значения расходятся с расстоянием. Задать надо поле значения и параметры модели: **радиус** (дальше него замеры уже ни о чём не говорят), **порог** (общий разброс) и **наггет** (разброс, остающийся на нулевом расстоянии - погрешность замера плюс изменчивость мельче шага сети). Ячейку берите примерно в четверть-пятую часть среднего расстояния между скважинами: мельче не добавит точности, а считаться будет дольше.

Вместе с поверхностью инструмент выдаёт **карту ошибки кригинга**. Смотрите её всегда: сама поверхность выглядит одинаково гладко и там, где скважин много, и там, где результат держится на одном далёком замере, а карта ошибки эту разницу показывает.

1.04 Изолинии из растра превращает поверхность в горизонтали с подписями, а при надобности и в полигоны диапазонов. Сечение задаётся числом или шагом. Для рельефа там же есть флажок топографических подписей: они разворачиваются так, чтобы верх смотрел на высокую сторону.

Попробовать без своих данных: **1.09 Пример скважин (демо)** выдаёт готовый набор точек с реалистичной пространственной структурой.

Дальше, когда захочется обоснования. Параметры модели можно не подбирать на глаз: **1.05 Вариограмма** строит их по самим данным и рисует график, на котором видно, есть ли в данных пространственная связь вообще. Если экспериментальные точки ложатся как попало, никакой метод её не создаст. **1.06 Вариограммная карта** показывает анизотропию - когда сходство тянется вдоль одного направления сильнее, чем поперёк, и это надо учесть. **1.08 Кросс-валидация (LOO)** убирает каждую скважину по очереди, предсказывает значение по остальным и выводит расхождение числом - прямой ответ на вопрос, насколько можно верить карте. Удачный набор параметров сохраняется профилем, чтобы не набирать его заново.

Есть открытая местность, нужен рельеф и топооснова

Ранний и самый ходовой путь: своих съёмок нет, а карта нужна. Всё берётся из открытых источников прямо в QGIS, без скачивания архивов руками.

2.01 Загрузка ЦМР по рамке качает высоты по заданному охвату - Copernicus GLO-30 и другие открытые наборы. Приходит растр в метрах, уже приведённый к метрической системе координат. Тридцать метров ячейки - это масштаб порядка 1:25000: холмы, долины и водоразделы читаются, а бровка карьера или дорожная насыпь - нет. Понимать это надо сразу, иначе от результата ждуть невозможного.

2.02 Загрузка топоосновы по рамке берёт по той же рамке векторную обстановку из OpenStreetMap: водные площади, реки, дороги, здания, лес. Водные объекты приходят полигонами, включая составные - озеро с островом остаётся озером с внутренним кольцом, а не сплошным полигоном. Это тот слой, который дальше подаётся в интерполяцию урезом воды, если понадобится пересчитывать рельеф.

Скачанная ЦМР почти всегда требует **2.04 Подготовки рельефа**: в открытых наборах встречаются пустоты, шум и локальные ямы, которых в природе нет. Заполнение понижений здесь не косметика - без него сток не считается вовсе, вода утыкается в первую же ложную яму. После подготовки **2.05 Сток и аккумуляция** даёт направления и накопление, **2.06 Речная сеть** превращает накопление в линии тальвегов с порядками, а **2.07 Бассейны и водоразделы** режет территорию на водосборы.

2.09 Вершины и ямы находит характерные точки рельефа - те самые отметки, которые на бумажной карте подписывают числом. Вместе с тальвегами из 2.06 они образуют скелет, который потом можно подать в 2.03 и пересчитать рельеф уже с учётом гидрологии.

И здесь главный шаг, ради которого всё предыдущее и делалось. Скачанная ЦМР гидрологически неверна: в ней есть ложные ямы, реки местами текут в гору, а озёра имеют уклон. Исправлять это фильтрами бессмысленно - заполнение понижений лечит симптом, но не причину. Правильный путь другой: собрать из скачанного раstra скелет местности и **пересчитать поверхность заново** с учётом того, что мы про неё узнали.

Всё, что добыто на предыдущих шагах, идёт в **2.03 Topo2Raster** каждое своим входом. Горизонтالي из 1.04 - жёсткими узлами. Точки высот из 2.09 - тоже жёсткими, и с весом больше единицы, если хотите, чтобы вершины перевешивали вершины горизонталей в общей ячейке. Тальвеги из 2.06 - принуждением падения вниз по течению, поэтому реки на новом рельефе гарантированно текут вниз. Водные полигоны из 2.02 - урезом воды, и озёра ложатся плоскостью, а не с уклоном. На выходе получается **гидрологически корректный рельеф**, чего скачанный растр сам по себе не даёт.

Изолинии из 1.04 нужны в этой цепочке дважды: сперва как способ посмотреть на местность, а потом как вход в пересчёт. Сечение берите по масштабу и характеру местности - на равнине пять метров, в горах двадцать пять. Диапазон высот инструмент подскажет в журнале. Слишком частое сечение здесь не помощник: оно перенесёт в новый рельеф шум исходного раstra, ради избавления от которого всё и затевалось.

Проверить, что стало лучше, а не иначе, помогают те же инструменты, что и в следующем сценарии: **2.12 Невязка горизонталей против ЦМР** и **2.13 Диагностика террасинга**. А **2.05 Сток** по новому рельефу должен дать реки без разрывов и без ложных озёр - это самая наглядная проверка.

Есть топоплан с горизонталями, нужен рельеф

Задача обратная предыдущей: не построить поверхность по редким точкам, а восстановить её по плотным линиям, которые уже кто-то нарисовал.

Здесь работает **2.03 Topo2Raster** - мультисеточная интерполяция по мотивам ANUDEM. Главное отличие от кригинга в том, что у каждого типа входа своя роль. Горизонтالي и точки высот дают жёсткие узлы: там отметка приколоты. Тальвеги задают принуждение падения вниз по течению, поэтому реки на построенном рельефе не текут в гору. Обрывы работают барьером: вдоль них перепад не размазывается сглаживанием. Урез воды кладёт озёра плоскостью или наклоняет вдоль русла.

Ячейку задавайте явно, иначе умолчание может оказаться грубее того, что вы хотите увидеть. Это первое, обо что спотыкаются: на километровом участке автоматический размер даёт тридцатиметровую ячейку, и уступ в семь метров в такой сетке просто не существует. Инструмент об этом предупреждает в журнале, но лучше задать сразу.

Проверять результат надо не на глаз. **2.11 Разделить горизонтали для проверки** откладывает часть линий, **2.12 Невязка горизонталей против ЦМР** меряет, насколько

построенная поверхность разошлась с отложенными. Это тот же приём, что кросс-валидация в кригинге, и он отвечает на тот же вопрос. Отдельно есть **2.13 Диагностика террасинга** - ищет характерный дефект интерполяции по горизонталям, когда поверхность встаёт ступенями вдоль исходных линий, и **2.14** его лечит.

Есть плотная съёмка, нужны бровки и подошвы

Съёмка с БПЛА или лазерного сканирования даёт рельеф, где уступы видны, но не оцифрованы. Оцифровывать их вручную - долго, и Isoliner умеет находить их сам.

Механика в **2.19 Кандидаты бровок и подошв** такая: признак излома это не уклон, а **скорость его изменения**. На ровном откосе, даже отвесном, уклон постоянен и признак мал. Велик он там, где уклон меняется, то есть на самой бровке и на самой подошве. Знак кривизны делит найденные линии на бровки и подошвы автоматически.

Два параметра неочевидны, и оба стоит понять. **База замера** - полуширина окна, в котором меряется перепад поперёк линии. Перепад в атрибуте drop считается именно в ней, поэтому у десятиметрового уступа при базе в три ячейки он покажет три метра, а не десять. Базу задавайте по ширине откоса в ячейках. **Отсечка по перепаду** - фильтр шума, но не критерий значимости: формального признака бровки не существует, и решать, что считать уступом, остаётся человеку. Поэтому инструмент нарочно отдаёт больше нужного, кладёт в атрибуты числа для отбора и печатает проценты в журнал - дальше вы двигаете фильтр слоя, глядя на карту, и ничего не пересчитываете.

Дальше **2.20 Бровки и подошвы в работу** снимает отметки с рельефа и собирает формы. Пары определяются спуском по склону, а не по близости: вода с бровки скатывается ровно к её подошве, и на кривом борту с узкими бермами ближайшая по расстоянию подошва часто принадлежит соседнему уступу. Форма - это одна подошва и множество бровок при ней, потому что трассировка режет длинную бровку на куски. Непарные линии не пропадают, а уходят в отдельный слой с причиной в атрибуте: это стоит открыть и посмотреть.

Проверить связку целиком можно на синтетике: **2.21 Пример карьера (демо)** строит карьер с уступами, бермами, съездом, отвалом и канавой, а вместе с ним истинные структурные линии. Полнота детектора меряется числом против них, а не на глаз.

Есть карьер в топоплане, но горизонталей внутри нет

Случай, который выглядит безнадёжным, пока не разобраться. По нормативу горизонтали внутри площадных карьеров, выемок, насыпей и отвалов **не описываются** - согласуется только внешний контур. Значит рельеф по такому плану имеет дыру ровно там, где выработка, и заполнить её нечем, кроме бровок и подошв.

Загвоздка в том, что у линий откоса в чертеже нет отметок. Но они есть у горизонталей, которые к этим линиям примыкают: норматив требует доводить их до линии описания объекта узловыми точками. **2.22 Профилирование откосов** собирает эти точки и восстанавливает по ним профиль всей линии - переменную отметку из самих данных, а не одно число на весь объект.

Дальше **2.20**, но уже **без ЦМР**: когда у линий есть свои отметки, спуск по склону не нужен, подошвой считается ближайшая линия ниже бровки. Это важно, потому что иначе получался круг - чтобы построить рельеф, нужны пары, а для пар спуском нужен рельеф, которого ещё нет.

Замыкает **2.03**: горизонтали как обычно, а формы подаются во входы **Верх форм** и **Низ форм**. Поверхность между бровкой и подошвой строится методом расстояний, тело уходит в интерполяцию жёсткими узлами, граница работает барьером. Порога значимости в инструменте нет намеренно: дали две стороны - строится поверхность, дали одну - работает барьером. Решение принимает человек, когда рисует вторую линию.

Нужен геологический разрез

Разрез в Isoliner - это не картинка, а система координат. **4.01 Разрез по линии** превращает линию на карте в плоскость чертежа с осями расстояние-высота и выдаёт, кроме самого чертежа, служебный слой **определение разреза**. Все остальные инструменты группы принимают его на вход и благодаря ему кладут свои объекты в те же координаты. Отсюда правило: сперва 4.01, потом всё остальное, и в поле «Определение разреза» подаётся выход 4.01, а не исходная линия.

Вертикальный масштаб задаётся тремя способами, и выбор неочевиден. Множитель прост, но требует знания длины разреза: на километровом профиле множитель 3 даст плоскую ленту. **Отношение габаритов чертежа** подбирает множитель само так, чтобы ширина относилась к высоте как задано, и работает на разрезе любой длины - начните с него. И помните, что превышение искажает **все** углы: при множителе 10 наклон в 5 градусов ляжет на бумагу под 41, поэтому углы по чертежу транспортом не мерят.

Дальше на разрез наносится содержимое. **4.02** ставит скважины с интервалами опробования, **4.04** проводит поверхности из растров, **4.05** наносит векторные объекты по точному пересечению с линией. У последнего правило по типу объекта: плоская линия даёт вертикаль (известно где, неизвестно на какой глубине), трёхмерная - точку на реальной высоте, полигон - вертикальную полосу. Если заданы угол и азимут падения, вертикаль превращается в наклонный след, а полоса - в параллелограмм.

Начать проще всего с демо: **4.10 Пример для разреза (демо)** выдаёт шесть поверхностей, пять пластов, три линии разрезов, скважины, зоны и слои для проверки углов падения. На нём вся цепочка проходит за пять минут, и ошибиться негде.

Нужны объёмы работ

2.18 Насыпи и выемки сравнивает две поверхности и считает, сколько вынуто и сколько уложено. Обычно это рельеф до работ и после, или проектная поверхность против фактической.

Считается по ячейкам: разность высот умножается на площадь ячейки, положительные и отрицательные суммируются раздельно. Отсюда очевидное, но важное: **точность объёма упирается в точность обеих поверхностей**, и если одна из них построена по редким точкам, красивое число в отчёте не значит ничего. Карта ошибки кригинга и невязка по отложенным горизонталям - как раз про это.

Границу счёта задавайте полигоном, иначе объём посчитается по всему перекрытию растров, включая области, которых работы не касались. Это второе, обо что спотыкаются: разница двух ЦМР почти никогда не равна нулю за пределами выработки, там гуляет шум съёмки, и на большой площади он накапливается в заметные кубометры.

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.

Инструменты собраны в три группы Processing. Группа «Грид и изолинии» это основной поток обработки, от кригинга до изолиний. Группа «Дополнительные инструменты анализа» это специализированные расчёты, категориальный индикаторный кригинг, кригинг с внешним

дрейфом, гидравлический градиент с направлением потока, карта вероятности превышения и удельный расход по Дарси. Группа «Разрез» это построение геологических разрезов по линии и подготовка демо-данных для них.

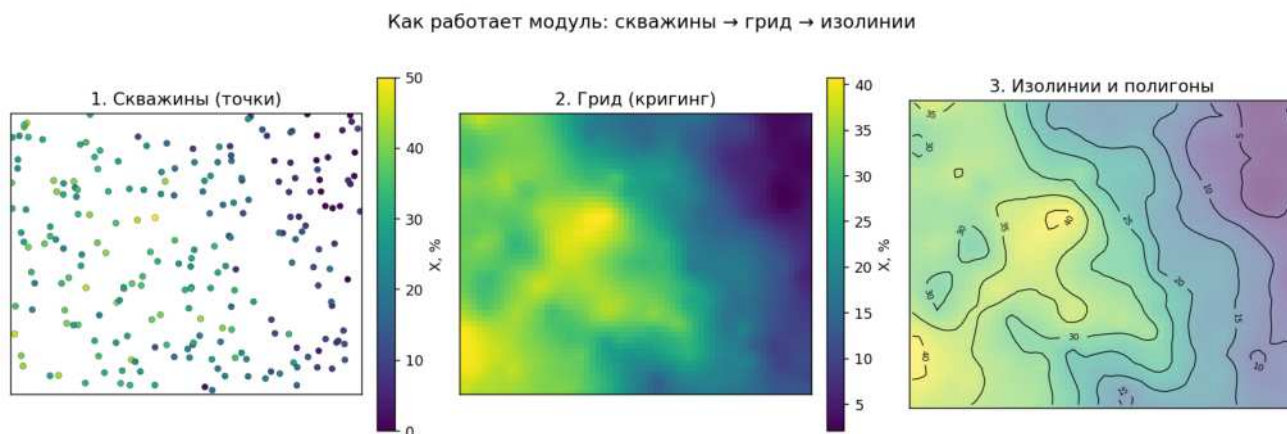


Рис. 1: Весь процесс на сгенерированном примере: скважины с измерениями (слева) превращаются в сплошной грид кригингом (в центре), по которому строятся изолинии и контурные полигоны (справа).

1. Грид и изолинии

1.01 Декластеризация (веса)

Инструмент готовит данные перед интерполяцией. Когда пробы сгущены неравномерно, одни блоки разбурены плотнее других, наивная глобальная статистика смещается в сторону переразведанных участков. Если гуще бурили богатые зоны, среднее и гистограмма завышены, а это прямо влияет на подсчёт запасов. Ячеистая декластеризация (порт GSLIB **declust**) даёт каждой пробе вес, обратный локальной плотности: в скоплении меньше, на отшибе больше. По взвешенным данным считается представительное декластеризованное среднее.

На поле накладывается сетка ячеек, вес пробы пропорционален единице, делённой на число проб в её ячейке, затем веса нормируются. Размер ячейки подбирается автоматически: свип по размерам, выбор по минимуму декластеризованного среднего (когда скопления пришлись на богатые зоны) либо по максимуму. Можно задать размер вручную. На регулярной сети декластеризация ничего не меняет, все веса равны.

Параметр	Назначение	По умолчанию
Точки со значениями	Пробы.	-
Поле значения Z (пусто: из геометрии)	Числовое поле. Пусто - отметка берётся из Z точки.	-
Размер ячейки	Авто (свип) или ручной.	Авто
Размер ячейки для ручного режима	Сторона ячейки в ручном режиме.	0
Цель свипа (Доп.)	Минимум или максимум среднего.	Минимум
Число размеров в свипе (Доп.)	Сколько ячеек перебрать.	24
Соотношение ячейки Y/X (Доп.)	Анизотропия ячейки.	1

Параметр	Назначение	По умолчанию
Смещение начала сетки (Доп.)	Усреднение по сдвигам сетки.	4
Точки с весами	Слой точек с полем wt .	-
HTML-отчёт	Сводка, гистограмма, кривая среднего.	по умолчанию

Выходы: слой точек с полем **wt** и HTML-отчёт со сводкой (наивное против декластеризованного среднего), гистограммой сырой против взвешенной и кривой среднего от размера ячейки. Декластеризованное среднее из журнала и отчёта ставится в **1.02** в поле **Среднее для простого кригинга**, а поле **wt** подаётся в **3.06 Гауссова симуляция** для взвешенного нормально-балльного преобразования. Ураганные пробы отсекаются отдельно, перцентильным капанием в самих инструментах кригинга и кросс-валидации.

1.02 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 (пусто: из геометрии)	Числовой атрибут, который интерполируется: отметка пласта, мощность, ФМС, химия. Пусто - отметка берётся из Z геометрии.	запоминается между запусками
Преобразование значения	ln для лог-нормальных величин (K, T, содержания с длинным хвостом): кригуется ln(Z), оценка возвращается через exp.	нет
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. количество точек	Если в окне меньше точек - узел остаётся пустым (nodata).	1
Макс. количество точек	Сколько ближайших точек включается в систему кригинга.	24
Размер ячейки	Шаг грида. 0 = авто = min(охват)/50.	мельче = плавнее, но дольше
Охват растра	Прямоугольник расчёта. По умолчанию - по слою.	по слою

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Обрезать по контуру скважин	Растр обрезается выпуклой оболочкой всех точек - убирает экстраполяцию в пустых углах.	рекомендуется вкл.
Буфер оболочки	Расширить оболочку на N единиц карты наружу.	0
Маска обрезки	Свой полигон вместо оболочки (приоритетнее) - удобно для вогнутых участков.	-
Модели вариограмм (таблица)	Табличный слой с подобранными моделями. Если задан, поля вариограммы в диалоге не читаются.	не задан
Профиль из таблицы	Имя набора в таблице. Пусто допустимо, когда профиль в таблице один.	пусто

Локальная анизотропия

Обычно анизотропия задаётся одним азимутом на весь участок. Там, где рудные зоны или геохимические ореолы изгибаются, этого мало: направление вытянутости меняется по площади.

Поле простирания в точках включает локальный режим. У каждой пробы своё значение в градусах от севера, и в каждой ячейке кригинг усредняет его по тем же замерам, которые берёт в расчёт. Вся система при этом решается по одной модели: разные модели для разных пар замеров сделали бы матрицу не положительно определённой.

Простирание понимается как ось, а не как направление. Период у него сто восемьдесят градусов, поэтому 170 и 10 отличаются на двадцать градусов, а не на сто шестьдесят, и усреднение идёт через удвоенный угол. Обычное среднее дало бы здесь перпендикуляр к истине, и ошибка была бы тихой: карта вытянулась бы поперёк структуры и выглядела бы закономерной.

Коэффициент сжатия остаётся общим для участка: меняется только направление. Вторым меняющийся параметр дал бы возможность подогнать карту под ожидание, а кросс-валидация этого не покажет.

Там, где направления соседей расходятся, локальный поворот не применяется и работает общая модель. Выдумывать направление там, где его нет в данных, неправильно.

Результат проверяйте кросс-валидацией на удержанной выборке. Локальная анизотропия делает карту похожей на геологическую идею, и в этом её сила и её опасность: при неверном простирании кригинг вытянет аномалии вдоль ошибки.

Ураганные пробы отдельным слоем

Отброшенные отсевом точки можно получить выходом: координаты, значение и причина - ниже или выше какой границы. По умолчанию выход выключен.

Смотреть их стоит. Отсев по перцентиле не отличает ошибку замера от настоящей аномалии, а решение это геологическое: скопление отброшенных точек в одном месте обычно означает не брак, а неучтённое тело.

Кригинг: оценка в узле - взвешенное среднее соседей

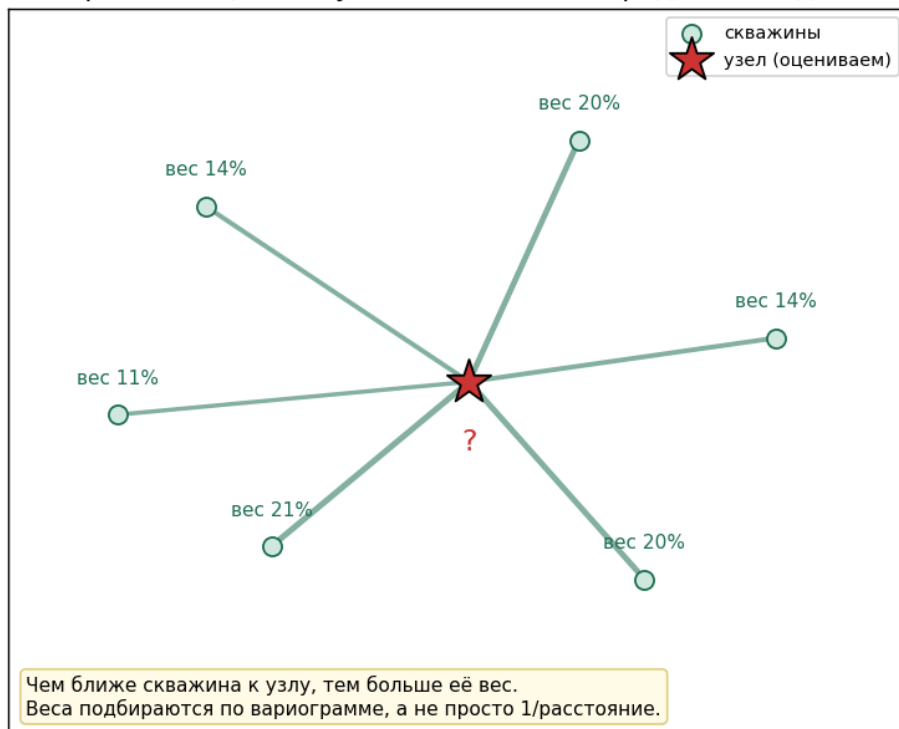


Рис. 2: Кригинг оценивает значение в узле как взвешенное среднее ближайших скважин: чем ближе скважина, тем больше её вес. Веса подбираются по вариограмме.

Радиус поиска и число соседних точек

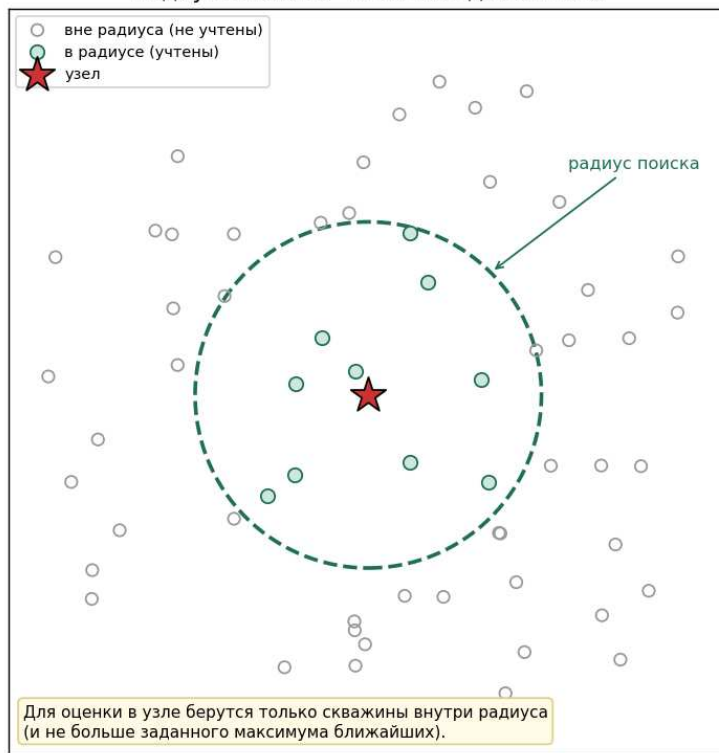


Рис. 3: Для каждого узла берутся только скважины внутри радиуса поиска и не более заданного числа ближайших. Точки за радиусом не участвуют.

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.

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.

Вариограмма и наггет

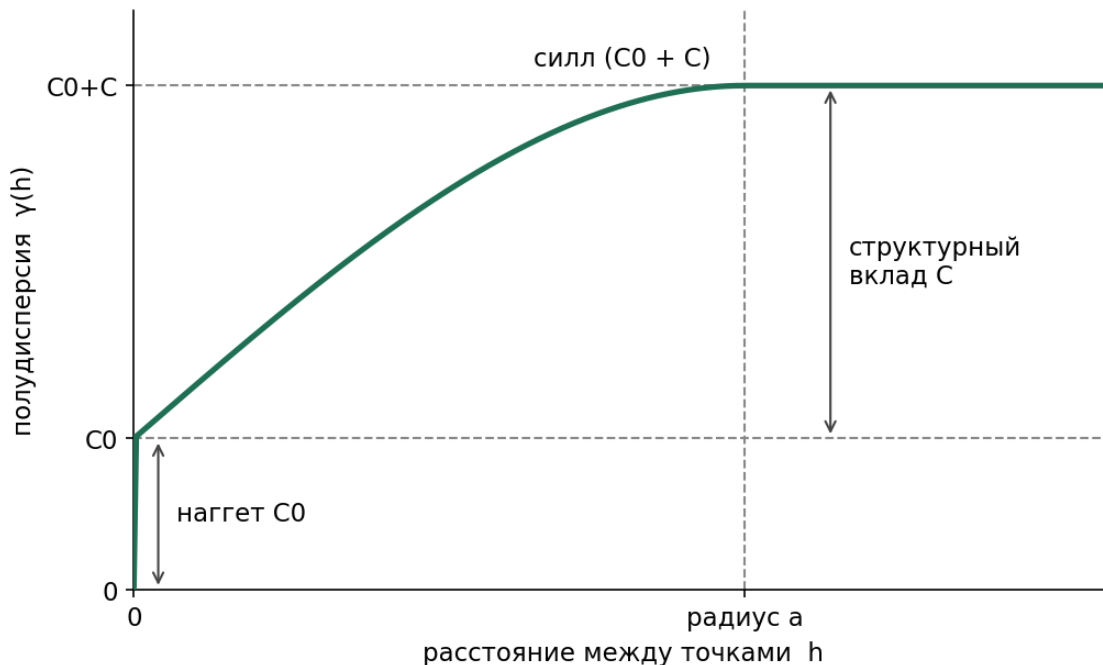


Рис. 4: Схема вариограммы: наггет C_0 , структурный вклад C , силл $(C_0 + C)$ и радиус корреляции a .

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 .

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 ступенька. Она отражает то, что данные на очень малых расстояниях всё равно не совпадают: погрешность измерения и оцифровки, микроизменчивость на масштабе меньше расстояния между скважинами, расхождение дублей в одной точке.

Как наггет влияет на результат:

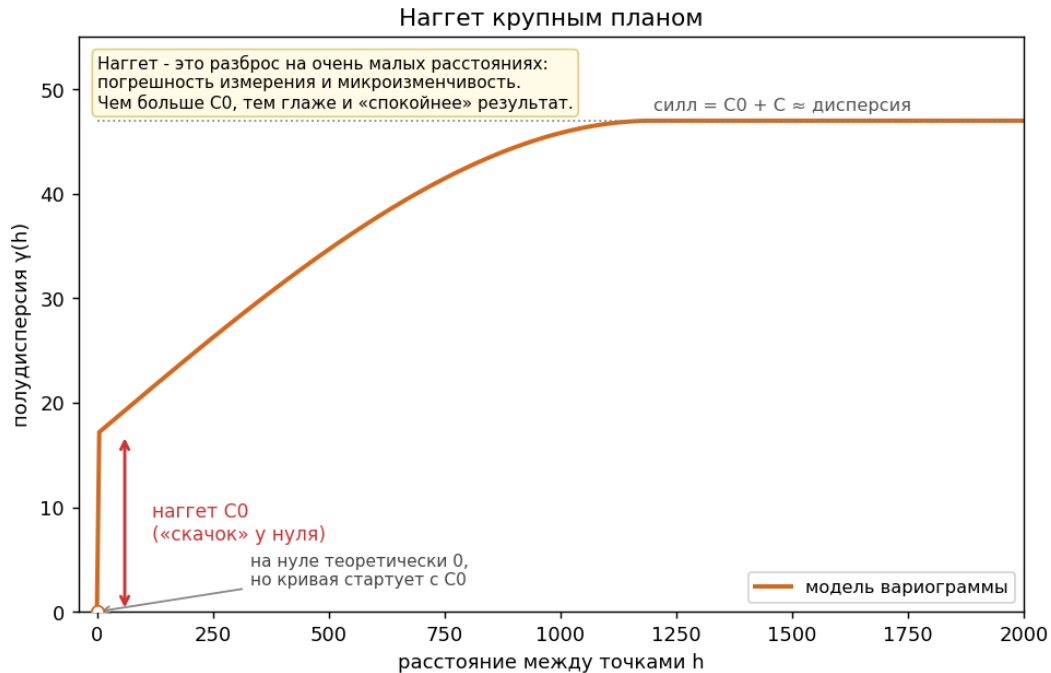


Рис. 5: Наггет крупным планом: модель стартует у нуля не с 0, а со «скачка» C_0 . Это разброс на сверхмалых расстояниях (погрешность измерения, микроизменчивость). Полка $C_0 + C \approx$ дисперсии данных.

$C_0 = 0$ (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 sill (чистый наггет) - пространственная связь теряется, поверхность вырождается в простое среднее. Это перебор.

Важно - единицы. Наггет C_0 и sill задаются в **абсолютных единицах дисперсии данных** (квадрат единиц Z), а не в долях 0-1. Значение «1» у sill по умолчанию - это условное значение, которое почти всегда нужно изменить: задайте суммарный sill ($C_0 +$ вклады структур C) **близким к дисперсии данных**. Уровень сглаживания определяет не абсолютная величина наггета, а его **доля в силле** $C_0 / (C_0 + C)$. Практический порядок: возьмите суммарный sill $\approx$ дисперсии, затем наггет = 0.2-0.4 от него (то есть 0.2-0.4 $\times$ дисперсии - абсолютное число, а не 0.2-0.4 как таковое). Чем меньше наггет, тем больше деталей, но и больше локальных пиков. Чем больше, тем поверхность ровнее, но возможно сглаживание реальной структуры. Дисперсию данных инструмент печатает в Журнал при запуске - это и есть ваш ориентир для выбора sill.

Структуры, радиус и анизотропия Силл (полка) это уровень, на который выходит вариограмма. Он складывается из наггета C_0 и вклада структуры C. Структура задаётся моделью (сферическая, экспоненциальная, гауссова или степенная), порогом C, радиусом a, азимутом и анизотропией.

Силл: смысл и порядок величины. Силл - это верхний предел различий между точками: насколько в среднем отличаются далёкие друг от друга скважины. Он практически равен обычной дисперсии данных. Пример по KCl: среднее $\approx 25\%$, дисперсия $\approx 47.6\%$, то есть $\sigma \approx 6.9\%$. Значит, суммарный sill задаём ≈ 47.6 . Если наггет $C_0 \approx 17$ (примерно 0.35 sill),

то структурный вклад первой структуры $C \approx 47.6 - 17 \approx 30$. На сам грид абсолютный масштаб не влияет - для оценок важно только отношение $C_0 : C$. Но он нужен, чтобы карта стандартной ошибки и MSDR в кросс-валидации были в реальном масштабе (суммарный силл $\approx$ дисперсии $\rightarrow$ MSDR ≈ 1). Поэтому: не оставляйте силл = 1 по умолчанию, поднимите его до дисперсии данных.

Выбор модели. Сферическая и экспоненциальная подходят для большинства задач. Степенная модель не имеет силла и радиуса в обычном смысле: её применяют, когда изменчивость растёт с расстоянием и не выходит на полку (нестационарность приращений), поля порога и радиуса для неё условны. Гауссову модель применяйте осторожно: при нулевом или очень малом наггете она даёт численно неустойчивую систему и артефакты (осцилляции, отрицательные веса). Поэтому при выборе гауссовой модели инструмент принудительно удерживает небольшой минимальный наггет. По возможности задавайте его и сами.

Тип данных и режим. Под разные данные нужны разные настройки. Гладкие структурные поверхности (отметки кровли и подошвы, мощности) лучше моделировать длинным радиусом или степенной моделью при широком (глобальном, 0) радиусе поиска - тогда поверхность получается гладкой. Короткий радиус с локальным поиском на таких данных даёт «бычьи глаза» и разрывы оценки при смене состава соседних скважин. Для концентраций и химии (ФМС, газоопасность) кригинг работает в своём праве: здесь важны корректный наггет и, при сильной асимметрии распределения, преобразование данных (см. ниже про ураганные пробы).

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 локальные пики. В абсолютных единицах дисперсии.	0. Для сглаживания 0.2-0.4 от силла
Структура i · модель	Форма вариограммы: сферическая, экспоненциальная, гауссова, степенная.	сферическая
Структура i · порог/вклад C	Вклад структуры в силл (абс. единицы дисперсии). Сумма $C_0+C \approx$ дисперсии данных. Для структур 2 и 3: 0 = выкл.	стр. 1 = 1 (замените на $\approx$ дисперсию)
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
Структура i · анизотропия (малая/главная)	Отношение радиусов поперёк/вдоль оси. 1 = изотропно.	1

Анизотропия: вытянутая залежь и эллипс поиска

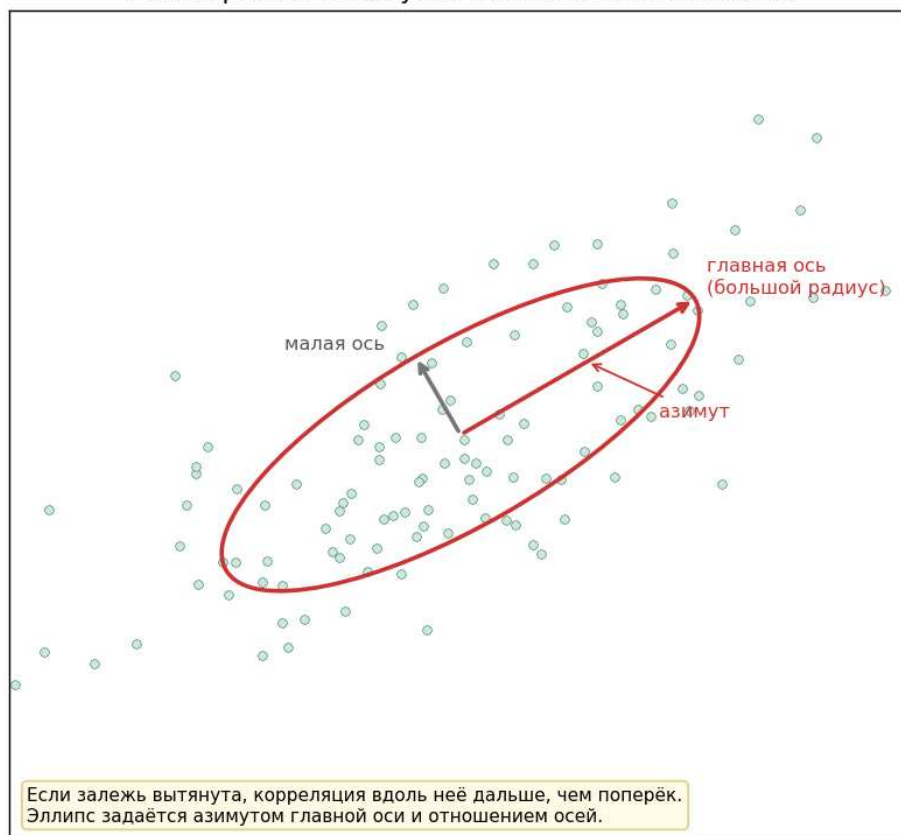


Рис. 6: Анизотропия: если залежь вытянута, корреляция вдоль неё дальше, чем поперёк. Эллипс поиска задаётся азимутом главной оси и отношением осей (малая/главная).

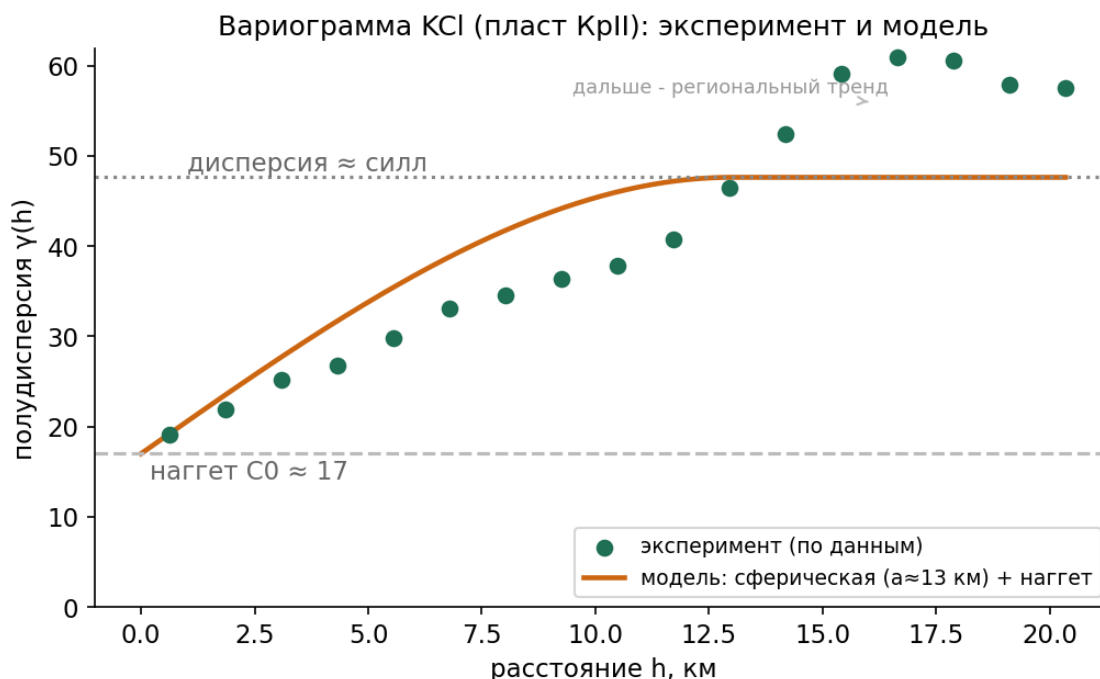


Рис. 7: Экспериментальная вариограмма KCl по пласту КрII и подобранная модель: наггет $C_0 \approx 17$, силл совпал с дисперсией данных, радиус ≈ 13 км. Точки дальше силла - региональный тренд.

Так схема выглядит на реальных данных. Вариограмму строят по 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.

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».

Отсев и срезка - грубый практичный инструмент против явных ошибок. Для концентраций и химии будьте осторожны: экстремальные значения часто не шум, а сигнал (например, очаги загрязнения), и слепо обрезать хвосты распределения не стоит. Для сильно асимметричных данных корректнее не обрезать пробы, а преобразовать их к близкому к нормальному виду (логарифм, Вох-Сох) или применять индикаторный кригинг - это уже за рамками отсева, но именно так обходятся с тяжёлыми хвостами в геостатистике руд и загрязнений.

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

Отсев ураганных проб: до и после (красное - выбросы)

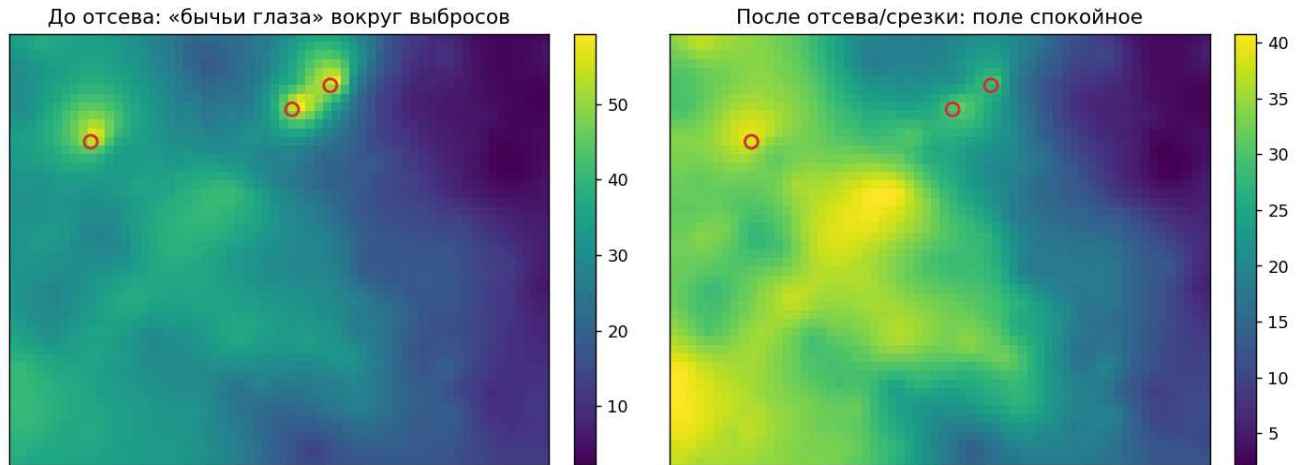


Рис. 8: Отсев ураганных проб на примере: слева три выброса дают «бычьи глаза» (горячие пятна), справа после срезки к верхней границе поле спокойное.

Z напрямую. Пустое поле - граница не задана. Они приоритетнее перцентиль. 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 значение p , и границы берутся симметрично: от p -го до $(100-p)$ -го перцентиль. То есть $p = 2$ означает «считать ураганными 2% самых низких и 2% самых высоких проб»: всё ниже 2-го и выше 98-го перцентилья либо удаляется, либо срезается. Чем больше p , тем агрессивнее обрезка. $P = 0$ выключает 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.

Стандартная ошибка кригинга

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 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).

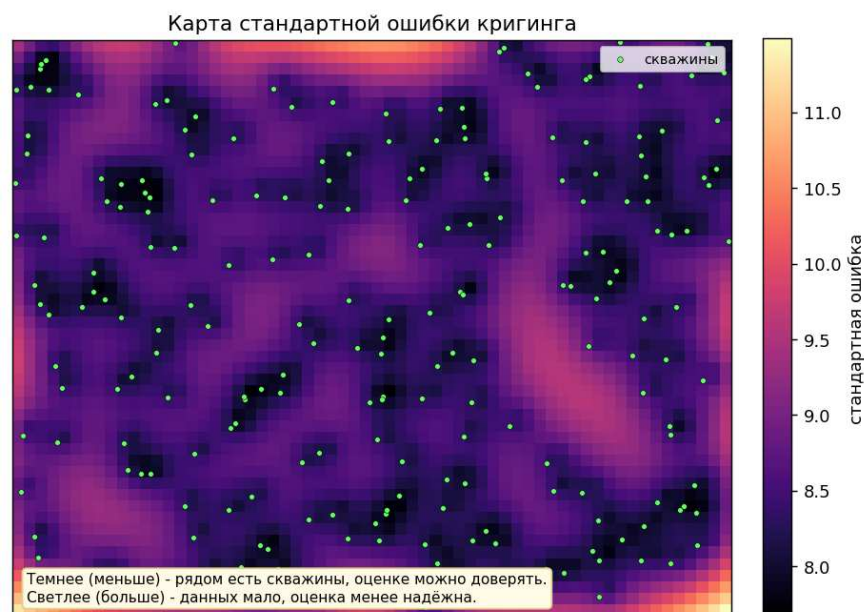


Рис. 9: Карта стандартной ошибки: тёмное у скважин (зелёные точки) - оценке можно доверять, светлое в пустых углах - данных мало.

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.

Снятие тренда (регрессия-кригинг)

Обычный кригинг оценивает среднее локально, по окну поиска, поэтому плавно меняющееся по площади среднее он отслеживает сам. Сложность возникает, когда у поля есть выраженная региональная составляющая, например общее падение пласта на участке. Тогда экспериментальная вариограмма исходного значения искажается: радиус завышен, порога нет, форма напоминает степенную модель, и подобрать устойчивую модель трудно.

Флажок **Снять полиномиальный тренд** убирает региональную составляющую методом наименьших квадратов перед кригингом. Дальше кригуются остатки, а тренд добавляется к оценке обратно. Вариограмма остатков возвращается к нормальному виду: выходит на порог с наггетом, и радиус отражает истинный масштаб корреляции, а не размах тренда. Поле **Степень тренда** задаёт плоскость или квадратичную поверхность.

Список **Преобразование значения** добавляет логарифмирование для величин с разбросом на порядки, таких как коэффициент фильтрации или водопроницаемость. При выборе **ln** кригуется натуральный логарифм значения, а оценка возвращается обратно через экспоненту. Это медианная, геометрическая оценка, корректная для лог-нормальных полей. Стандартная ошибка пересчитывается в исходные единицы. Логарифм избавляет от ручного создания поля **ln** в калькуляторе и применяется только к положительным значениям. Вариограмму и наггет при включённом логарифме задавайте в единицах **ln**.

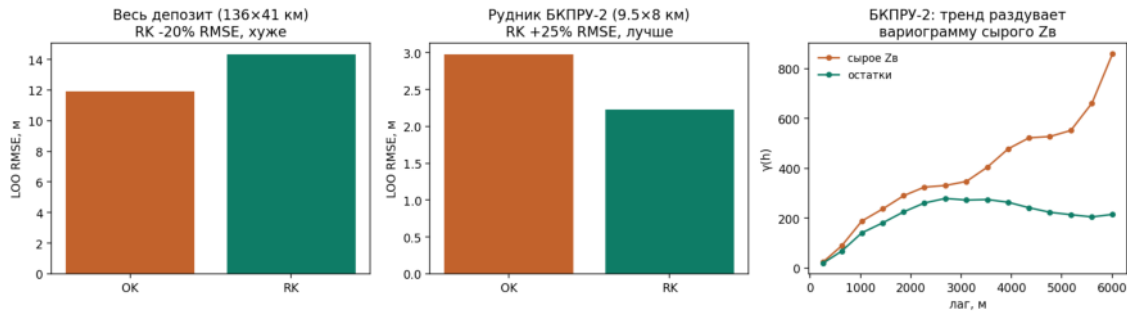


Рис. 10: Снятие тренда на реальных данных: поверхность пласта с выраженным региональным падением. Тренд снят полиномом, кригованы остатки, тренд возвращён к оценке.

Снятие тренда помогает там, где падение однородно, в пределах одного рудника или локального участка. На всю площадь месторождения сразу его применять не стоит. Соседние блоки разнесены по высоте, единый полином описывает их плохо, а локальный кригинг и без того держит меняющееся среднее, поэтому снятие глобального тренда там скорее вредит. Уместность видна по вариограмме. Если у сырого значения радиус сопоставим с размером участка и нет внятного порога, тренд есть и его стоит снять. Если вариограмма сырого значения уже выходит на порог с малым наггетом, снимать нечего.

Степени 1 обычно достаточно. Степень 2 описывает изгиб, но может вобрать в тренд часть реальной структуры, поэтому после её применения посмотрите на вариограмму остатков. Если порог и наггет стали выражены хуже, вернитесь к степени 1. Тот же флажок есть в инструменте **Кросс-валидация вариограммы**, там тренд переподбирается на каждом шаге контроля, и выигрыш или проигрыш от снятия тренда виден прямо по RMSE.

Вариограмму после снятия тренда задавайте по остаткам. Растр стандартной ошибки в этом режиме это ошибка кригинга остатков, тренд считается детерминированным и собственной погрешности к ней не добавляет.

Блочный кригинг

Обычный кригинг оценивает значение в точке, в центре ячейки грида. Но в горном деле чаще нужна не точечная отметка, а среднее по площади, по блоку отработки, панели или ячейке подсчёта запасов. Содержание полезного компонента в блоке это среднее по его площади, и оценивать его как значение в одной точке не вполне корректно. Для этого служит флажок **Блочный кригинг**.

Включённый режим оценивает среднее по ячейке грида, а не значение в её центре. Ячейка мысленно разбивается на сетку точек размером $N \times N$, количество задаёт поле **Дискретизация блока, $N \times N$ на ячейку**, и ковариации в системе кригинга усредняются по этим точкам. Так система решается не для одной точки, а сразу для всего блока. Это классическая схема блочного кригинга GSLIB.

У блочной оценки два следствия, оба полезные для подсчёта запасов. Поверхность получается глаже точечной, потому что усреднение по блоку гасит мелкие колебания. И стандартная ошибка кригинга выходит ниже точечной, потому что среднее по площади оценивается надёжнее, чем значение в одной точке. Расплата одна. Блочный кригинг не воспроизводит пробы в узлах точно. Среднее по блоку, даже центрированному на скважине, не равно значению в самой скважине, и это закономерно.

Дискретизации 4×4 хватает почти всегда. Больше N считается дольше, а точность растёт незначительно. При N равном единице блочный кригинг вырождается в точечный, поэтому минимальное значение поля равно двум, а сам режим по умолчанию выключен.

Блочный кригинг сочетается со снятием тренда. Кригуются остатки по блоку, а тренд добавляется к оценке обратно. Сочетается он и со сглаживанием грида, но обычно одного блочного усреднения достаточно и дополнительное сглаживание не нужно.

Разломы

Разлом здесь это линия, вдоль которой поверхность рвётся. Подаётся он слоем линий в поле **Разломы**, и тот же слой принимают 1.03 и 1.04.

Работает разлом барьером влияния. Для каждой оцениваемой ячейки инструмент проводит отрезок к каждому замеру, и если отрезок пересекает линию, замер в выборку этой ячейки не идёт. Ячейка видит только своё крыло, значения по разные стороны расходятся, и поверхность вдоль линии получает разрыв.

Крыло у ячейки определяется само, стороной, с которой лежит её центр. Делить площадь на блоки и считать их по отдельности не нужно, и списка крыльев инструменту не требуется.

Линия не обязана рассекаать площадь насквозь. У затухающего разлома влияние огибает его конец: замер за концом линии остаётся видимым, и выше конца поверхность смыкается. Это и есть обычная геология - смещение вдоль сместителя падает к нулю, разрыв выклинивается.

У самого конца изолинии сгущаются и сходятся в узкий пучок. Так затухающий разлом и рисуют на структурной карте. Оговорка тут одна: в модели амплитуда падает не постепенно, а разом, потому что барьер бинарный. До последней вершины замер за линией не виден вовсе, за ней виден полностью. Значит весь спад приходится на одну ячейку, и пучок получается короче, чем у настоящего разлома, где смещение затухает на длине, сопоставимой с самим сместителем.

Почему разлом не переводится в сетку

Барьер проверяется точной геометрией: пересекает ли отрезок звено линии. Растровой маски барьерных ячеек нет, и это осознанно.

Растровая маска имела два недостатка. Ячейка не передаёт диагональ, поэтому косой разлом ложился в сетку ступеньками, и всё, что строилось по такому гриду, наследовало лесенку. Хуже другое: луч видимости начинается в центре оцениваемой ячейки, и если сама ячейка барьерная, первая же проверка попадала в маску. Такая ячейка не видела ни одного замера со всей площади и уходила в *nodata*. Вдоль разлома в гриде оставалась ступенчатая щель.

С точной геометрией барьерных ячеек не существует вовсе. Грид получается сплошным, пустых ячеек вдоль линии нет, а разрыв виден скачком значений между соседними ячейками по разные стороны.

Замер, стоящий точно на разломе, виден с обоих крыльев. Скважина на линии принадлежит обоим сторонам, и отбрасывать её незачем.

Цена приближения

Приближение здесь одно, и его стоит назвать вслух. По видимости отбираются только соседи. Ковариации между самими замерами, из которых складывается система кригинга, остаются евклидовыми: они считаются по прямому расстоянию, как если бы разлома не было.

Занулять их нельзя. Матрица тогда теряет положительную определённость, система становится вырожденной и кригинг разваливается. Именно на это наткнулись разработчики известных пакетов, и часть из них убрала кригинг с разломами совсем, отправив пользователей на минимальную кривизну.

Что это значит на практике. Веса соседей у самой линии рассчитаны без учёта того, что между двумя соседями лежит разрыв. На расстояниях порядка радиуса корреляции разница

пренебрежимо мала. На очень частой сети у самой линии контраст может слегка занижаться. Разрыв при этом никуда не девается, он держится отбором соседей, а не ковариациями.

Как проверить на учебных данных

Инструмент **1.09 Пример скважин** умеет создавать разлом сам. Поле **Амплитуда разлома** задаёт величину сдвига: генератор проводит линию поперёк площади, не доводя её до краёв, и прибавляет амплитуду к значению у всех скважин по одну сторону. Выше конца линии обе стороны одинаковы, поэтому в учебных данных сразу есть и разрыв, и его затухающий конец.

Линия выдаётся отдельным выходом **Разлом (демо)**. Подайте её в **Разломы** здесь, а потом ту же линию в 1.04, и вся цепочка соберётся.

Для проверки самого барьера берите амплитуду заметно больше радиуса корреляции: скачок будет очевиден. Для проверки коридора в 1.04 хватит амплитуды порядка сечения изолиний.

Атрибут throw в выходном слое разлома справочный. Инструменты его не читают: барьер у них чисто геометрический и о величине смещения не знает.

1.03 Минимальная кривизна (точки → растр)

Инструмент строит грид методом минимальной кривизны. Поверхность ведёт себя как тонкая упругая пластина, проходящая через данные с минимумом изгиба, то есть решение бигармонического уравнения. Метод неточный: данные воспроизводятся приближённо, зато поверхность получается максимально гладкой, поэтому его традиционно берут для карт геофизических полей и любых плавных величин. Это детерминированная альтернатива кригингу без подбора вариограммы. Кригинг, в отличие от него, даёт оценку с картой стандартной ошибки.

Натяжение подмешивает мембранный член: при 0 это чистая минимальная кривизна, при 1 - натянутая мембрана, у которой меньше выбросов между пробами. Натяжение на границе задаётся отдельно и помогает убрать краевые перелёты. Решение итеративное, методом верхней релаксации (SOR) с обходом сетки девятью цветами: узлы одного цвета не попадают в расчётный шаблон друг друга, поэтому обновляются разом и устойчиво. Сетка пересчитывается, пока наибольшее изменение узла не станет меньше **порога невязки** или не исчерпается число итераций.

Свободные узлы стартуют с ближайшего значения данных, поэтому на плотных данных сходимость быстрая. На очень разрежённых данных итераций нужно больше: увеличьте их лимит или порог невязки.

Параметр	Назначение	По умолчанию
Точечный слой	Пробы со значением.	-
Поле значения Z (пусто: из геометрии)	Числовое поле для интерполяции. Пусто - отметка берётся из Z точки.	-
Охват	Прямоугольник результата.	по слою
Размер ячейки	0 - авто, min(охват)/50.	0
Натяжение	0 - минимальная кривизна, 1 - мембрана.	0
Порог невязки	0 - авто, 0.01 процента размаха данных.	0
Максимум итераций	Потолок числа проходов SOR.	100000
Натяжение на границе (Доп.)	Натяжение на краю сетки.	0
Коэффициент релаксации (Доп.)	Ускорение SOR, разумно 1.5 - 1.9.	1.85

Параметр	Назначение	По умолчанию
Анизотропия (Доп.)	Отношение осей Y/X в мембранном члене.	1
Разломы	Линии, вдоль которых поверхность рвётся.	по желанию
Грид (минимальная кривизна)	Выходной растр.	-

Выход - обычный грид, готовый для **1.04 Изолинии из растра**. В журнал выводятся размер сетки, число узлов-данных, число итераций и итоговая невязка. Если достигнут потолок итераций, а невязка выше порога, инструмент об этом предупреждает.

Рядом с полем размера ячейки показывается размер сетки: сколько ячеек выйдет при заданном разрешении. Он пересчитывается при вводе. Метод итерационный, и число ячеек надо видеть до запуска, а не в журнале после: вдвое более крупная ячейка это вчетверо меньше работы. Свыше четырёх миллионов ячеек инструмент предупреждает отдельно.

Обрезка по маске работает так же, как в кригинге: полигон из проекта либо выпуклая оболочка точек с буфером. За пределами области данных метод всё равно продолжает поверхность, и это поле лучше убрать сразу.

Разломы

Разломы подаются тем же слоем линий, что и в 1.02, но работают иначе. В кригинге барьер решает, какие замеры видит ячейка. Здесь замеров нет, есть сетка узлов, связанных шаблоном, поэтому барьер живёт на связях.

Ребро между двумя соседними узлами, пересечённое линией разлома, выпадает из шаблона. Связь между крыльями обрывается, каждое крыло решается само по себе, и поверхность вдоль линии рвётся. Разлом при этом остаётся линией и в сетку не переводится, поэтому косая линия не ложится ступеньками, а крыло у узла определяется само стороной, с которой он лежит.

Узел, попавший ровно на линию, приписывается к одной стороне. Мелочь на вид, но существенная: разлом, проведённый по оси шахтной сетки, проходит точно через центры узлов, и при строгом разборе он не перекроет бы ни одного ребра. Приписать такой узел к обеим сторонам тоже нельзя, он остался бы без соседей и застыл на стартовом значении, дав вдоль разлома шов из несчитанных узлов.

Полоса мембраны вдоль линии

У минимальной кривизны есть особенность, которой нет у кригинга. Её шаблон дотягивается на две ячейки в каждую сторону, а не на одну. Значит у самой линии он всё равно перешагнул бы разрыв, даже если соседнее ребро перекрыто.

Выбросить из шаблона отдельные точки нельзя: он перестанет приближать бигармоническое уравнение, и решение потеряет смысл. Поэтому в полосе шириной два узла вдоль линии решение переходит на мембрану по неперекрытым соседям. Мембрана работает по четырём ближайшим узлам и разрыв держит точно. Дальше от линии считает обычная минимальная кривизна.

Практическое следствие одно: у самой линии поверхность чуть менее гладкая, чем вдали от неё. На карте это незаметно, но знать об этом стоит. Тот же приём применяется в **2.03 Topo2Raster** у обрывов, и по той же причине.

Линия, как и в кригинге, не обязана рассекать площадь насквозь: выше конца разлома рёбра не перекрыты, и поверхность там смыкается.

1.04 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. 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.	-
Бикубическое сглаживание	Сгущение грида (×2...×4) бикубической интерполяцией перед контурингом - основной способ сглаживания изолиний, убирает «октагоны» от грубой сетки. Работает и для линий, и для полигонов. выкл. = без сгущения.	выкл. (×4 на грубом гриде)
Скругление линий (Chaikin), итераций	Дополнительное лёгкое скругление линий (Chaikin). Слабее бикубического сглаживания, обычно не нужно, если оно включено. 0 = выкл.	2
Записать значение в Z геометрии	Отметки у изолиний и у вершин поясов. Для DXF, АвтоКАД, Кредо и 3D.	снято
Сторона бергштрихов и подписей (доп.)	Сторона склона для штрихов депрессионного стиля и направление топографических подписей разом.	автоматически
Имя поля значения	Имя атрибута уровня в выходных линиях.	ELEV
Канал (доп.)	Номер канала входного растра.	1
Изолинии / Контурные полигоны	Выходные слои. Полигоны строятся по умолчанию во временный слой.	-

Выходные поля:

Слой	Поле	Тип	Что содержит
Изолинии	ELEV	число	Значение уровня линии (имя задаётся полем Имя поля значения).
Изолинии	is_index	целое	1 у главных изолиний (каждая N-я), иначе 0 - для утолщения.
Контурные полигоны	ELEV_MIN	число	Нижний уровень пояса.
Контурные полигоны	ELEV_MAX	число	Верхний уровень пояса.

Прямые грани на чертеже поясов

Не всякая линия на выходе это изолиния. Полигоны поясов собираются из трёх источников сразу: самих изолиний, контура области с данными и линий разломов. Первые плавные, вторые и третьи прямые.

Контур области идёт по рёбрам ячеек раstra, поэтому даёт ступенчатую или строго прямую границу. Она появляется на краю площади и вокруг участков без данных - там, где узел не набрал нужного числа соседей.

Линия разлома режет пояса по себе. У затухающего конца разлома разрыв не исчезает мгновенно: с одной стороны от последнего звена барьер ещё действует, с другой уже нет, и наборы соседей у соседних ячеек расходятся. Поэтому у конца разлома нормальны и сгущение изолиний, и небольшой пояс с прямой гранью по самой линии.

Это свойство модели, а не сбой расчёта. Если такой обрубок мешает, продлите линию разлома за пределы площади: чаще всего разлом на карте нарисован короче, чем он есть, и продлить его правильнее, чем сглаживать разрыв.

Сглаживание изолиний

Основной способ сгладить изолинии в этом инструменте - **бикубическое сглаживание**: грид перед контурингом сгущается бикубической интерполяцией ($\times 2 \dots \times 4$), и контуры строятся по более мелкой сетке. На грубом гриде изолинии иначе выглядят «октагонами» (вершины ставятся по краям ячеек) - сгущение убирает эту угловатость топологически чисто. Реализовано в чистом NumPy, без внешних зависимостей. Nodata-границы и внутренние «окна» данных сохраняются. Сгущение действует и на линии, и на контурные полигоны - границы поясов при этом совпадают с изолиниями. Цена - больше ячеек ($\times 4 =$ в 16 раз больше), поэтому на очень крупном гриде начните с $\times 2$.

Дополнительно есть лёгкое скругление линий алгоритмом **Chaikin** (количество итераций). Оно слабее бикубического и обычно не требуется, если сгущение включено. Имеет смысл как быстрая альтернатива на грубом гриде, когда сгущать не хочется.

Сглаживание самого поля (гауссово, по раstrу) - это отдельная операция, она выполняется не здесь, а в инструменте «2D Kriging»: там оно идёт по гриду до контуринга и убирает не угловатость, а бугристость поля («бычьи глаза» вокруг скважин). Бикубическое сглаживание и гауссово сглаживание поля дополняют друг друга: первое лечит угловатость сетки, второе - бугристость данных. Контурный растр кригинга при этом не меняется - сглаживается лишь временная копия.

Контурные полигоны (пояса)

Контурные полигоны - это залитые пояса между соседними изолиниями. Они строятся не классификацией «ступенек» раstra, 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».

Оформление слоёв

Линии: задайте символику по правилу на основе is_index - главным изолиниям (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.

Значение в Z геометрии

Флажок **Записать значение в Z геометрии** поднимает вершины каждой линии на её собственную отметку. Изолиния это линия равного уровня, поэтому Z у всех её вершин один и равен значению поля.

Нужно это для передачи горизонталей в АвтоКАД и Кредо. Стандартный экспорт QGIS (**Проект → Импорт/экспорт → Экспорт проекта в DXF**) сохраняет отметки Z вершин, надо только снять галочку **Принудительно 2D**. Без Z в геометрии обе программы кладут все горизонталы на нулевую отметку, и высоту приходится задавать вручную по каждой линии.

Многочастность слоя сохраняется: изолиния одного уровня остаётся одним объектом со всеми своими ветвями, число объектов не меняется, подписи не размножаются.

Топографические подписи

На топографической карте верх цифры на горизонтали всегда направлен вверх по склону. Читая карту, по одной подписи понимаешь, где выше, не сверяясь с соседними горизонталями.

QGIS отсчитывает верх подписи от направления линии, поэтому добиться этого поворотом текста нельзя, а нужно задать линиям одно направление относительно склона. Это и делает флажок **Топографические подписи**. В слое остаётся поле **up_side**: 1 означает, что линия оставлена как была, 0 что развёрнута.

Автоматический выбор стороны иногда ошибается, и тогда его переключают руками параметром **Сторона бергштрихов и подписей**. Переключатель действует на обе части картины разом: и на сторону штрихов, и на направление подписей. Применяется он ровно один раз - разворот линии сам меняет местами лево и право, а значит и знак стороны склона, поэтому повторный переворот вернул бы штрихи на прежнее место.

Без разрешения перевёрнутых подписей это не работает В настройках подписей есть опция показа перевёрнутых подписей, и по умолчанию она запрещает их. При таком запрете QGIS сам доворачивает текст, чтобы он читался слева направо, и направление линии перестаёт на что-либо влиять.

Топографическая подпись по определению бывает перевёрнутой: на склоне, обращённом на юг, цифра читается вверх ногами. Поэтому показ перевёрнутых надо разрешать, а не бороться с ним.

В стилях **Структура / гипсометрия** и **Депрессия (штрихи вниз)** это уже настроено. Если подписываете своим стилем, включите показ перевёрнутых подписей в разделе отрисовки, иначе флажок не даст ничего.

Подпись ставится на линию В обоих стилях подпись размещается на самой горизонтали, а не над ней, и разрывает её. Это привычный топографический приём: цифра читается вместе с линией, а не рядом с ней.

Предупреждение о плоских уровнях

Инструмент сам проверяет, не попал ли какой-то уровень сечения в площадку с околонулевым уклоном, и если попал, пишет об этом в журнал: уровень, число задетых ячеек и долю данных. Ничего при этом не блокируется, изолинии строятся как обычно.

Зачем это нужно. На площадке, где поверхность меняется на миллиметры, положение изолинии определяется не рельефом, а шумом матрицы. Линия там начинает вилять, рассыпается на множество мелких колец и выглядит как одна утолщённая. Классический источник такой площадки - водная гладь: на матрице, полученной по стереопаре, она стоит на одной отметке с точностью до сантиметров и может занимать половину площади.

Отличить эту болезнь от нормальной работы алгоритма на глаз трудно, потому что алгоритм отработал верно, а виноваты данные. Поэтому проверка и вынесена в журнал числами.

Практическое решение обычно простое: замаскировать водную гладь до построения либо сместить уровни. Урез воды это отдельный объект карты, а не горизонталь, и рисовать его горизонталью не следует.

Проверка идёт за один проход по массиву и на растрах крупнее шестидесяти миллионов ячеек пропускается, чтобы не тратить время. Любая ошибка внутри неё гасится, построение из-за диагностики не срывается.

Уверенность горизонталей

Продолжение той же мысли, но уже с возможностью что-то сделать. Параметр **Уверенность горизонталей** имеет три положения.

Не считать - поведение по умолчанию, ничего не меняется.

Только поля drop_min и drop_mean - линии остаются целыми, но каждая получает два поля: наименьший и средний перепад высот на ячейку вдоль неё. Решение остаётся за вами: подозрительные участки видны выражением вида $\text{drop_min} < 0.005$, и вы сами решаете, прятать их или показывать.

Поля и разрыв на подозрительных участках - линия дополнительно рвётся там, где перепад ниже порога, и куски помечаются полем **lowconf**. Ничего не удаляется, спрятать помеченное можно фильтром слоя.

Почему порог задаётся долей сечения Мерится не уклон, а перепад высот на ячейку. Это величина той же размерности, что и сечение рельефа, поэтому её можно прямо сравнивать с ним, и один порог одинаково работает на разных данных.

Пример. При сечении 0.5 м и пороге в сотую долю граница проходит по 5 мм на ячейку. Пологий склон даёт на ячейке сантиметры и порог проходит, водная гладь даёт миллиметры и не проходит. Задавать порог абсолютным уклоном пришлось бы заново под каждый участок.

Порог настраивается в дополнительных параметрах, **Порог перепада на ячейку, доля сечения**, по умолчанию 0.01.

Почему рвутся только серии Одна подозрительная вершина линию не рвёт, и две тоже. Разрыв происходит только там, где подряд идут три и более слабых вершины. Иначе одна случайная шумная ячейка крошила бы горизонталь на нормальном склоне, и карта бы поредела без причины.

Число три зашито и параметром не выносится: подбирать его пользователю не за что, а лишний параметр в диалоге стоит дороже, чем кажется.

Куски делят граничную вершину, поэтому в геометрии не возникает разрыва: соседние части стыкуются точка в точку.

Порядок в конвейере и сводка Разметка идёт после построения изолиний и до фильтра коротких линий. Иначе обрывки, оставшиеся от разрезания, попали бы в статистику длин и часть линий отсеялась бы дважды по разным причинам.

В журнал уходит сводка: сколько линий пришло, сколько кусков получилось, сколько из них ниже шума и какая доля общей длины оказалась слабой.

Чего инструмент не делает Он не сглаживает плоские участки, чтобы линия перестала вилять. Это была бы подделка данных: на выходе получилась бы ровная и неверная горизонталь вместо рваной, но соответствующей тому, что есть в матрице. Решение о том, показывать ли слабый участок, остаётся за человеком.

Разломы

Тот же слой линий, что подавался в 1.02 или 1.03, подаётся сюда в поле **Разломы**. Здесь он делает две вещи.

Первое: изолинии режутся по линии, точно по ней, а не по границам ячеек. Второе: сама линия входит в сеть, по которой строятся контурные полигоны, поэтому граница пояса идёт ровно по разлому.

Разрыв при этом целиком векторный. Грид остаётся сплошным, дырок в нём нет, и всё, что считается по гриду, работает как обычно.

Коридор у разлома

Один параметр требует объяснения, потому что без него результат выглядит странно.

Грид сплошной, а значения по разные стороны разлома отличаются на всю амплитуду, и скачок приходится на пару соседних ячеек. Контурер рисует в этом промежутке все промежуточные уровни разом. При амплитуде в двадцать метров и сечении в два метра это десяток изолиний в ширине одной ячейки. Геологического смысла у них нет: это интерполяция поперёк разрыва, которого пласт не знает.

Ширина коридора у разлома задаётся в ячейках, по умолчанию одна. Полоса такой ширины вырезается из изолиний, а концы освободившихся линий притягиваются к самому разлому. На карте остаётся чистый разрыв по линии.

Ноль отключает вырезание. Меньше ячейки брать незачем: скачок занимает ровно ячейку. Заметно больше - начнут пропадать изолинии, идущие вдоль разлома по делу.

У затухающего конца остаётся короткий участок частых изолиний длиной около ширины коридора. Это верно по смыслу: разрыв там сошёл на нет, поверхность смыкается, и рвать её нечем.

Наименьшая толщина полигона

Порог задаётся в ячейках и отсекает узкие полосы поясов. Толщина считается как удвоенная площадь на периметр: у длинной узкой полосы она равна её ширине при любой длине, тогда как по площади такую полосу от нормального пояса не отличить.

Порог задуман против обрывков у разрыва там, где линии разломов не поданы: у карьеров, обрывов и края области. **Пользоваться им надо осторожно.** На крутой поверхности с частым сечением нормальный пояс между соседними уровнями сам по себе уже ячейки, и порог в ячейку выкосит карту. Инструмент предупреждает в журнале, если отсеял больше половины поясов. По умолчанию порог равен нулю, то есть отсева нет.

Отметки Z у поясов

Галочка отметок Z работает и на полигонах поясов. Пояс лежит между двумя уровнями, и его кольца идут по ним: внешнее по одному, внутреннее по соседнему. Вершины получают отметки этих уровней, и плоский пояс становится наклонной гранью, а вся стопка поясов - ступенчатой поверхностью.

Отметка вершины берётся выборкой из растра и подтягивается к уровню изолинии, если тот ближе трети сечения. Подтяжка нужна потому, что сглаживание уводит вершину с точного положения изолинии, а отметка обязана быть ровно уровнем: иначе соседние пояса разойдутся по высоте на общем ребре, и вместо сплошной поверхности выйдет набор несомкнутых лоскутов.

Подтяжка идёт только к своим двум уровням. Вершина на рамке области или на линии разлома не лежит ни на какой изолинии, её отметка это рельеф, и тянуть её к чужому уровню нельзя - поверхность получила бы ступеньку на ровном месте.

Пояс, часть вершин которого вышла за покрытие растра, остаётся плоским целиком: полигон с дырой в отметках в 3D даёт провал до нуля.

1.05 Вариограмма (экспериментальная)

Инструмент строит по точкам экспериментальную полувариограмму, при необходимости подбирает по ней модель и выдаёт HTML-отчёт с графиком. Он не считает грид и не входит в расчётную цепочку кригинга напрямую. Его задача диагностическая: показать структуру пространственной изменчивости данных и помочь задать параметры вариограммы осознанно, по виду облака, а не на глаз.

Зачем нужен предпросмотр

Кригинг опирается на модель вариограммы: наггет, порог и радиус. От них зависят веса при интерполяции и карта стандартной ошибки. Соблазнительно поручить подбор этих чисел автоматике и не думать о них. На кластеризованной разведочной сети это опасно. Скопления близких скважин дают огромное количество пар на коротких расстояниях и придавливают ближнюю часть вариограммы, поэтому автоподбор по такому облаку легко выдаёт уверенно неправильный наггет. Предпросмотр снимает эту проблему: геолог видит само облако пар, понимает, где данных много, а где мало, и подгоняет модель с пониманием того, что под ней лежит.

Поэтому подбор модели в инструменте дан как рекомендация, а не как готовый результат. Числа, которые он предлагает, разумно сверить с видом графика и только потом переносить в кригинг.

Краткая теория

Полувариограмма описывает, насколько статистически связаны значения параметра в двух точках в зависимости от расстояния между ними. Для пары точек, разнесённых на расстояние h , берётся половина квадрата разности их значений (полудисперсия приращения). Эти величины усредняются по интервалам расстояния (лагам), и получается кривая $\gamma(h)$. Это мера не «средней разницы» значений, а статистической надёжности предсказания значения по соседу: чем меньше γ , тем теснее связь.

У типичной кривой три характеристики. «Наггет» C_0 это значение, к которому стремится γ при стремлении расстояния к нулю. Он отражает изменчивость на масштабе мельче, чем шаг сети, плюс ошибку измерения. «Порог» это уровень, на который кривая выходит на больших расстояниях. Полный порог равен сумме наггета и структурных вкладов и в идеале близок к дисперсии данных. Радиус (a) это расстояние, на котором кривая выходит на порог - то есть на котором пространственная корреляция спадает практически до нуля. Дальше этого

расстояния точки статистически не связаны. Для экспоненциальной и гауссовой моделей порог достигается асимптотически, поэтому радиус для них - эффективный.

Наггет и вклады в инструменте заданы в абсолютных единицах дисперсии параметра, а не долями от единицы. Ориентир для полного порога это дисперсия данных, которая выводится в сводке отчёта.

Параметры

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Точки со значениями	Входной точечный слой.	-
Поле значения Z (пусто: из геометрии)	Атрибут, по которому строится вариограмма. Пусто - из Z точки.	-
Поле группировки (доп.)	Раздельные вариограммы по категориям (например, вид разведки).	-
Поле весов декластеризации (доп.)	Веса из 1.01 для взвешенной оценки.	-
Количество лагов	Число интервалов расстояний.	-
Максимальное расстояние	Верхняя граница расстояний. 0 = половина диагонали охвата.	0
Подобрать модель	Автоподбор модели по экспериментальным точкам (рекомендуется).	вкл.
Модель для подбора (доп.)	Тип модели: сферическая, экспоненциальная, гауссова, степенная.	-
Устойчивая оценка (доп.)	Оценка Кресси-Хокинса, менее чувствительна к выбросам.	выкл.
Ураганные пробы: перцентиль обрезки (доп.)	Отсев экстремальных значений по перцентиле. 0 = выкл.	0
Срезать к границе вместо удаления (доп.)	Capping: экстремум срезается к порогу, а не удаляется.	выкл.
Имя профиля для таблицы	Имя набора, под которым модель заносится в таблицу моделей.	пусто
Дописать в таблицу моделей	Существующая таблица, куда заносится результат. Строки этого профиля заменяются.	не задана
Модель вариограммы (новая таблица)	Новая таблица. Создаётся, когда дописывать ещё некуда.	создаётся
Таблица вариограммы	Выход: лаг, значение γ , количество пар.	-
Отчёт (HTML)	Выход: график облака пар и модели.	-

Отброшенные точки можно получить отдельным слоем: выход **Ураганные пробы** отдаёт координаты, значение и причину - ниже или выше какой границы. По умолчанию выход

выключен.

Смотреть их стоит. Отсев по перцентилю не отличает ошибку замера от настоящей аномалии, а решение это геологическое: скопление отброшенных точек в одном месте обычно означает не брак, а неучтённое тело.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Точки со значениями	Точечный слой со скважинами или пробами.	-
Поле значения Z (пусто: из геометрии)	Числовой атрибут для анализа: отметка пласта, мощность, содержание. Пусто - из Z точки.	запоминается между запусками
Поле группировки (необяз.)	Строит отдельную кривую для каждого значения поля (напр. вид разведки) и накладывает их на один график.	выкл.
Количество лагов	На сколько интервалов расстояния разбивается облако пар.	15
Максимальное расстояние	Дальний край вариограммы, в единицах слоя (для метровых координат - метры). 0 = половина диагонали охвата.	0
Подобрать модель (рекомендация)	Автоподбор наггета, порога, радиуса и типа модели, результат запоминается для подстановки в «2D Kriging».	вкл.
Модель для подбора (доп.)	Зафиксировать тип модели или оставить автовыбор лучшей по R^2 .	Авто
Минимум точек в группе, % (доп.)	Группы мельче порога не строятся и перечисляются в журнале. Пол - 30 точек.	2
Устойчивая оценка (Кресси-Хокинса) (доп.)	Снижает влияние редких аномальных пар.	выкл.
Показать облако пар (доп.)	Добавляет на график исходные пары до усреднения.	выкл.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Наложить заданную модель вариограммы (доп.)	Рисует поверх облака модель с заданными вручную наггетом, порогом и радиусом - удобно сравнить свою модель с данными.	выкл.
Ураганные пробы (доп.)	Перцентиль обрезки, нижняя и верхняя границы значения, режим срезания к границе вместо удаления. В самом конце списка.	выкл.
Имя профиля для таблицы	Имя набора, под которым подобранная изотропная модель и текущий отсев заносятся в таблицу моделей.	пусто
Таблица вариограммы	Выходной слой-таблица с точками вариограммы (столбцы ниже).	временный слой
Отчёт (HTML)	Отчёт с облаком, подобранной кривой и линией дисперсии данных.	временный файл

Параметры с пометкой «доп.» лежат в свёрнутом разделе **Дополнительные параметры**.

На выходе формируется **Отчёт (HTML)** с графиком, подобранной кривой и линией дисперсии данных, а также необязательная **Таблица вариограммы** - точки экспериментальной вариограммы в виде слоя без геометрии (по строке на каждый лаг каждой серии). По ней можно построить свой график в QGIS или выгрузить значения. Её столбцы:

Поле	Тип	Что содержит
series	строка	Серия: «все точки» либо значение поля группировки, если оно задано.
lag	дробное	Среднее расстояние между точками в интервале (лаге), в единицах слоя.
gamma	дробное	Полудисперсия $\gamma(h)$: среднее половины квадрата разностей значений по парам этого лага (или устойчивая оценка Кресси-Хокинса, если она включена).
npairs	целое	Количество пар точек, попавших в лаг. Малое количество пар - точка вариограммы ненадёжна.

Поле группировки и разноплотностная разведка

Необязательное **Поле группировки** строит отдельную вариограмму для каждого значения поля и накладывает их на один график. Это нужно, когда выборка собрана сетями разной природы и плотности, например поверхностной и подземной разведкой. Подав в группировку вид разведки, можно увидеть, общая ли у этих совокупностей структура или у каждой своя.

Смешение разноплотностных сетей не создаёт артефактов само по себе, но искажает общую вариограмму. Плотная сеть даёт много пар на коротких лагах и формирует ближнюю часть кривой, редкая сеть работает на дальних. Одна модель, натянутая на такое облако, оказывается смесью двух структур и не описывает корректно ни одну. Группировка эту смесь показывает, и решение, законно ли объединять совокупности, остаётся за геологом. Декластеризация к облаку пар при этом не применяется. Её веса предназначены для исправления гистограммы и среднего, а не для пар вариограммы, где каждая пара полноправна независимо от плотности сети.

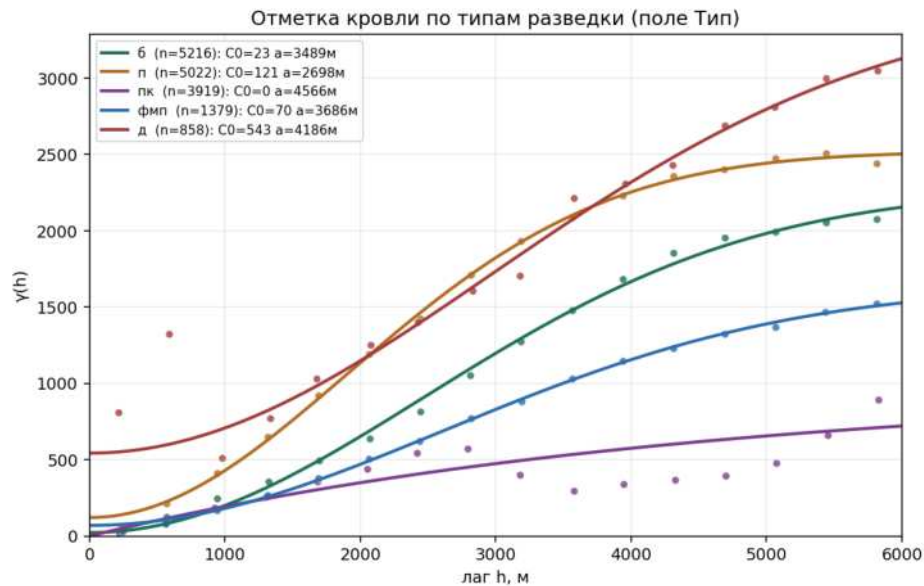


Рис. 11: Отметка кровли по пласту КрII, сгруппированная по виду разведки: подземная сеть лежит заметно ниже (область однороднее), детальная разведка даёт высокий наггет. Разные совокупности видно сразу.

Три типичные геологические ситуации

Отметки залегания, мощности и содержания полезного компонента имеют разные геостатистические характеристики, и полезно видеть их рядом. На иллюстрации показаны вариограммы трёх параметров одного промышленного пласта, рассчитанные в едином окне расстояний.

Отметка кровли это гладкая поверхность. Наггет почти нулевой, радиус большой, модель близка к гауссовой, качество подбора очень высокое. Соседние скважины дают почти одинаковую отметку, изменчивость крупномасштабная. Кригинг работает уверенно. Здесь есть тонкость: гауссова модель с почти нулевым наггетом численно неустойчива и даёт на карте характерные «бычьи глаза». Небольшой наггет стоит задать вручную.

Мощность это промежуточный случай. Наггет составляет заметную долю порога, радиус средний, модель чаще сферическая. Около половины изменчивости структурная, половина мелкомасштабная. Это типичная рабочая вариограмма.

Содержание полезного компонента самый шумный параметр. Наггет сопоставим со структурным вкладом или превышает его, кривая поднимается медленно, качество подбора ниже, и модель плохо отличается от соседних типов. Основная изменчивость сидит на масштабе мельче сети опробования. Кригинг такой параметр сильно сглаживает, а кросс-валидация показывает большую ошибку. Содержание предсказуемо хуже, чем отметки и мощности, и это нормально.

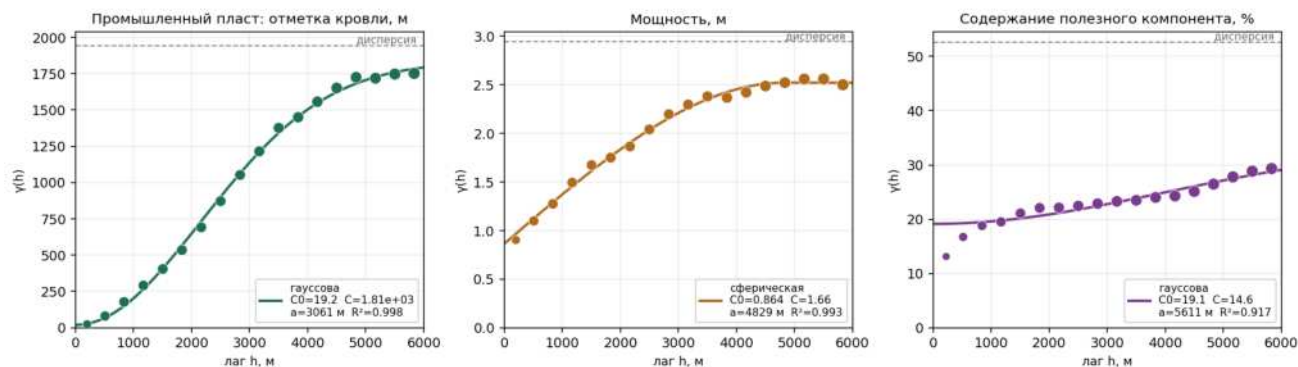


Рис. 12: Три типа параметров одного пласта в едином окне: отметка кровли (почти нулевой наггет, гладкая поверхность), мощность (наггет около трети, сферическая) и содержание (наггет сопоставим со вкладом, шумный параметр).

Максимальное расстояние и выход на плато

Самая частая ошибка это слишком большое максимальное расстояние. Если оставить автоматическое значение в половину диагонали, на вытянутом месторождении окно растягивается на десятки километров. Лаги начинают связывать точки через безрудные провалы и межблоковые разрывы, вариограмма ловит региональный тренд вместо локальной структуры, а подбор выдаёт радиус больше самого окна и порог в разы выше дисперсии. Признаком такой: радиус подобранной модели сопоставим с окном или превышает его. Это значит, что кривая не вышла на плато и порог получен экстраполяцией.

Лечится это уменьшением максимального расстояния до локального масштаба и проверкой, что вариограмма успела выйти на полку. На примере содержания одного пласта при окне 6 километров подбор давал радиус около 9 километров и порог ниже дисперсии, то есть кривая ещё не вышла на плато. При окне 12 километров она вышла, дав радиус около 18 километров и полный порог, близкий к дисперсии данных. Реальный радиус корреляции оказался больше, чем виделось в узком окне, и правильный ответ дала именно проверка на выход кривой на плато.

При этом окно не должно перешагивать крупные безрудные зоны. На разведочной сети их видно по падению плотности точек, и вариограмму следует строить в пределах одного рудного блока, иначе локальная геология смешивается с региональной тектоникой.

Откуда взялся наггет

В разреженной сети наггет почти всегда задают единицы пар точек, а не облако. Две скважины в десятках метров друг от друга с несопоставимыми значениями поднимают первый лаг выше порога, подбору остаётся описать это почти чистым наггетом, и кригинг по такой модели возвращает среднее вместо карты.

Поэтому инструмент печатает в журнал разбор первого лага: расстояние, число пар в нём и значение γ рядом с дисперсией данных. Если γ первого лага уже выше общей дисперсии, об этом сообщается отдельным предупреждением - описать такое можно только наггетом.

Следом называются самые тяжёлые пары внутри первого лага: расстояние между точками, оба значения, вклад γ и координаты обеих точек. По координатам пара находится на карте сразу, и дальше это вопрос к данным. Перепутанный горизонт, знак, единицы - либо настоящая микроизменчивость, и тогда наггет отражает данные.

Признаки непригодной модели

Два признака непригодности не сопровождаются ошибкой расчёта: параметры выводятся, кригинг завершается штатно и даёт поле, близкое к постоянному. Оба выводятся в журнал предупреждением.

Первый - коэффициент детерминации R^2 ниже 0.1. Модель практически не описывает наблюдаемую структуру, и переносить её параметры в кригинг недопустимо.

Второй - доля наггета выше половины суммарного порога. Связь на коротких расстояниях не разрешена: либо сеть реже, чем структура, которую пытаются увидеть, либо в данных те самые пары. Кригинг по такой модели сглаживает оценку до среднего, а на карте даёт «бычьи глаза», тугие concentric rings вокруг отдельных проб.

Рабочий цикл с кросс-валидацией

Вариограмма даёт стартовую модель, а проверяет её **Кросс-валидация вариограммы**. Порядок такой. Сначала строится экспериментальная вариограмма с максимальным расстоянием, при котором кривая выходит на плато, и снимаются подобранные наггет, вклад, радиус и модель. Затем эти числа переносятся в кросс-валидацию и оцениваются метрики скользящего контроля. Подбранная и проверенная модель заносится в таблицу моделей вариограмм и подставляется в **2D Kriging** полями **Модели вариограмм** и **Профиль из таблицы** - см. раздел «Таблица моделей вариограмм».

Среднее смещение ME должно быть около нуля, это значит, что систематической ошибки нет. Среднеквадратичная ошибка RMSE показывает абсолютную точность. Отдельного внимания заслуживает MSDR, отношение квадрата ошибки к дисперсии кригинга. Если оно заметно больше единицы, кригинг недооценивает неопределённость и карта стандартной ошибки занижена.

Правка MSDR делается точно, а не на глаз. В ординарном кригинге домножение всей вариограммы на постоянный множитель не меняет оценки, поскольку веса зависят только от формы кривой, а не от её масштаба. Меняется лишь дисперсия кригинга. Поэтому достаточно умножить наггет и вклады на текущее значение MSDR, оставив радиус и модель прежними, и повторить кросс-валидацию. Метрики ME, MAE, RMSE и R при этом не сдвигаются, а MSDR приходит к единице, и карта ошибки становится достоверной.

После масштабирования полный порог может оказаться выше дисперсии данных. На кластеризованной сети это не ошибка. Наивная дисперсия занижена, потому что плотные скопления скважин её перетягивают, а истинная разброска по площади больше. Превышение порога над дисперсией здесь следствие неравномерной сети.

Готовую и проверенную модель остаётся перенести в **2D Kriging** для расчёта грида, а дальше при необходимости в **Изолинии из растра**.

Если данные сгущены неравномерно, задайте необязательное поле весов **wt** из инструмента **1.01 Декластеризация**. Тогда каждая пара точек берётся с весом, равным произведению весов её концов, и скопления не завывают ближние лаги. Счётчик пар в отчёте показывает сырое число пар, а сама γ считается взвешенно.

Таблица моделей вариограмм

Подбранная вариограмма это результат анализа данных, а не настройка программы. Поэтому она хранится табличным слоем: уезжает вместе с проектом, попадает в систему контроля версий, переносится между рабочими местами и правится в атрибутивной таблице QGIS наравне с прочими данными.

Состав таблицы

Одна строка описывает одну структуру вариограммы. Такое представление не ограничивает число вложенных структур: для второй структуры добавляется строка с тем же именем профиля и `struct = 2`.

Поле	Тип	Содержание
profile	строка	Имя набора. По нему модель выбирается при расчёте
field	строка	Поле значения, к которому подобрана модель
struct	целое	Номер структуры, от единицы
model	целое	Модель: 1 сферическая, 2 экспоненциальная, 3 гауссова, 4 степенная
sill	вещественное	Вклад структуры C
range	вещественное	Радиус корреляции a
azimuth	вещественное	Азимут главной оси, градусы
anis	вещественное	Анизотропия, отношение малой оси к главной
nugget	вещественное	Наггет C0. Общий для профиля, повторяется в каждой его строке
val_pct	вещественное	Перцентиль обрезки ураганных проб. Общий для профиля
val_cap	логическое	Срезка к границе вместо удаления. Общий для профиля
fitted	строка	Дата подбора
author	строка	Кто подобрал
note	строка	Примечание: чем получены значения, что проверено

Поля `nugget`, `val_pct` и `val_cap` относятся к профилю целиком. Расхождение между строками одного профиля считается ошибкой ввода: в журнал выводится предупреждение, а в расчёт берётся значение первой строки.

Столбец `model` допускает и числовой код, и название модели, русское или английское. При записи инструментом используется код.

Отметка из геометрии

Поле значения Z необязательно в кригинге, минимальной кривизне, вариограмме, вариограммной карте, обеих кросс-валидациях и декластеризации. Если поле не указано, отметка берётся из третьей координаты точки.

Данные часто приходят именно так: точки `PointZ` из съёмки или выгрузки, где значение уже в геометрии, и заводить ради него отдельный столбец незачем.

Если у точек есть и Z в геометрии, и поле со значением, они могут означать разное: Z обычно отметка съёмки, а поле - интерполируемая величина. Для мощностей и содержаний поле указывают явно.

Слой без Z и без указанного поля отвергается с сообщением, а не роняет расчёт в середине.

Порядок работы

1.05 Вариограмма подбирает модель и заносит её в таблицу. Если таблица ещё не создана, инструмент создаёт её выходом **Модель вариограммы**. Когда таблица существует, она указывается в поле **Дописать в таблицу моделей**: строки этого профиля заменяются новыми, строки других профилей остаются нетронутыми. Повторный подбор одного профиля именно заменяет его строки, поэтому дубликаты не накапливаются.

1.06 Вариограммная карта дописывает в ту же таблицу азимут и коэффициент анизотропии, а при возможности и радиус главной оси. Модель, наггет и вклад при этом не меняются: их определяет оминаправленная вариограмма, а карта описывает только геометрию. Оценка по карте индикативная, и это фиксируется в поле note.

1.07 Кросс-валидация вариограммы читает модель из таблицы для проверки.

1.02 2D Kriging и **3.01 Индикаторный кригинг** читают модель при расчёте. Когда таблица задана, поля вариограммы в диалоге не используются: два источника одних и тех же значений неизбежно расходятся, поэтому приоритет отдан таблице, о чём сообщается в журнале.

Разбор строк

Строка с нераспознанной моделью, неположительным радиусом или повторным номером структуры пропускается, а причина с номером строки выводится в журнал. Расчёт при этом продолжается по годным строкам. Профиль, у которого не осталось ни одной годной структуры, в результат не попадает.

Разбор допускает ручную правку: регистр имён столбцов не учитывается, десятичная запятая и пробелы в разрядах чисел не мешают. Синонимы имён столбцов при этом не предусмотрены, поскольку таблицу формирует сам плагин.

1.06 Вариограммная карта (анизотропия)

Инструмент строит вариограммную карту - поверхность полудисперсии γ как функцию двумерного вектора разнosa (h_x, h_y). Обычная вариограмма усредняет все направления в одну кривую и направленность теряет. Карта же показывает, как непрерывность параметра зависит от направления. По ней видно, есть ли в данных анизотропия и куда смотрит ось максимальной непрерывности. Инструмент диагностический: грид он не считает, а помогает осознанно задать азимут и анизотропию в структуре вариограммы «2D Kriging».

Что такое анизотропия и зачем её видеть

Изотропная вариограмма предполагает, что связь значений зависит только от расстояния между точками, но не от направления. Для складчатых и вытянутых геологических тел это не так. Вдоль простирания пласт выдержан, поперёк меняется быстрее: та же разница в отметках кровли набирается вдоль складки на километры, а вкрест - на сотнях метров. Если этого не учесть, кригинг сглаживает поле одинаково во все стороны и размывает реальную вытянутость структуры.

Вариограммная карта вскрывает направленность напрямую. Для каждой пары точек берётся не только расстояние, но и направление вектора между ними, и полудисперсия приращения раскладывается по двумерной сетке лагов. Там, где γ растёт медленно и карта остаётся тёмной далеко от центра, непрерывность высокая. Там, где γ растёт быстро, непрерывность низкая. Область низкой γ в сумме вытягивается в эллипс, длинная ось которого и есть направление максимальной непрерывности - для складчатости это направление простирания.

Как читать карту

В центре карты лежит нулевой лаг: значение в точке всегда равно само себе, поэтому γ здесь равна нулю и центр самый тёмный. По мере удаления от центра точки разносятся всё

дальше и γ растёт. Ось h_x направлена на восток, ось h_y на север, масштаб по обеим осям одинаковый. Карта точно-симметрична: пара и её зеркальное отражение дают одну и ту же полудисперсию, поэтому рисунок одинаков в противоположных направлениях.

Анизотропия читается по форме тёмной зоны. Если она круглая - структура изотропна, направление роли не играет. Если вытянута - вдоль её длинной оси γ нарастает медленнее, то есть в этом направлении значения связаны на большем расстоянии. Поверх карты рисуются подсказки: белый эллипс по оценённым радиусам и красная пунктирная линия по главной оси.

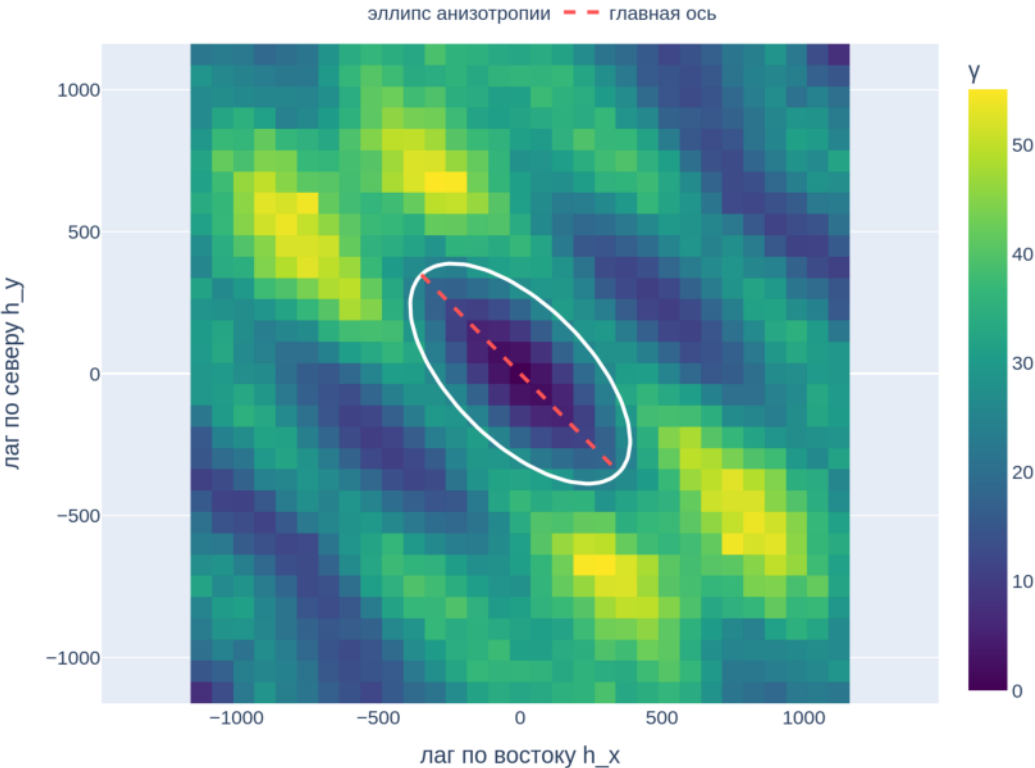


Рис. 13: Вариограммная карта: тёмная (низкая γ , высокая непрерывность) зона вытянута по азимуту около 135° . Белый эллипс и красная пунктирная главная ось показывают оценённое направление и анизотропию.

Параметры

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Точки со значениями	Точечный слой со скважинами или пробами.	-
Поле значения Z (пусто: из геометрии)	Числовой атрибут для анализа: отметка пласта, мощность, содержание. Пусто - из Z точки.	запоминается между запусками

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Бинов на полуось (детализация карты)	На сколько ячеек делится каждая полуось лага. Карта получается размером $(2N+1) \times (2N+1)$. Больше бинов - детальнее карта, но меньше пар в ячейке и больше шума.	15
Макс. лаг, в единицах слоя	Размер окна карты, в единицах слоя (для метрических координат - метры). 0 = половина диагонали охвата.	0
Мин. количество пар в ячейке (доп.)	Ячейки, в которые попало меньше пар, оставляются пустыми. Отсекает шумные дальние лаги, где пар мало.	5
Отчёт (HTML)	Отчёт с хитмапом, эллипсом, главной осью и сводкой оценок.	временный файл
Растр поверхности (опц.)	Поверхность γ как растр в координатах лага (см. ниже). По умолчанию не создаётся.	выкл.

Параметр с пометкой «доп.» лежит в свёрнутом разделе **Дополнительные параметры**.

Оценка азимута, анизотропии и радиуса

Кроме самой карты инструмент выводит в Журнал и в HTML-отчёт три числа: азимут главной оси (географический, 0 - на север, по часовой стрелке), коэффициент анизотропии как отношение малой оси к главной (1 - изотропно, меньше - сильнее вытянутость) и радиус главной оси. Оценка устроена так: по каждому направлению ищется лаг, на котором γ выходит на полку (близко к дисперсии данных), радиусы сглаживаются по азимуту, главная ось берётся по наибольшему радиусу, а малая - перпендикулярно ей.

Эти три числа подставляются в структуру вариограммы инструмента «2D Kriging»: азимут, анизотропия (малая/главная) и радиус a . Это и есть учёт анизотропии в кригинге. Оценка индикативная: её стоит сверить с формой самого хитмапа, а не переносить вслепую. Азимут карта определяет надёжнее всего, а радиус и коэффициент - грубее, особенно на разреженной сети.

Чтобы не переносить числа вручную, в окне есть поле **Записать анизотропию в профиль**. Выберите ранее сохранённый профиль, и азимут, коэффициент и радиус главной оси допишутся в него поверх модели и наггета, заданных в **Вариограмме**. При следующей загрузке профиля в **2D Kriging** эти значения подставляются сами и появятся в подписи под списком профилей. Если радиус упёрся в окно, он остаётся прежним, обновляются только азимут и коэффициент.

Если структура близка к изотропной или радиус главной оси оказывается меньше нескольких ячеек карты, анизотропия не оценивается и помечается в отчёте как «не выражена». В

этом случае радиусы лежат на уровне сетки, и направленность недостоверна - правильное сообщить об этом, чем выдать случайный азимут. Помогает уменьшить макс. лаг или увеличить количество бинов, чтобы разрешить ближнюю структуру.

Когда радиус упирается в окно

Если вдоль главной оси y не успевает выйти на полку в пределах окна, радиус возвращается равным макс. лагу, а в отчёте и Журнале появляется предупреждение: радиус упёрся в макс. лаг, это нижняя оценка. Это та же ситуация, что и для обычной вариограммы (см. раздел «Максимальное расстояние и выход на плато»): кривая не вышла на плато, и порог получен экстраполяцией. На карте признак простой - тёмная зона вдоль главной оси тянется до самого края.

В этом случае радиус а в кригинг переносить как есть нельзя: настоящая длина корреляции больше окна, а коэффициент анизотропии занижен по выраженности (поле на деле ещё анизотропнее). Азимут при этом обычно определён нормально. Лечится увеличением макс. лага, чтобы карта захватила выход на полку. Если же y не выходит на полку даже при широком окне, в данных доминирует тренд - его убирают до интерполяции либо учитывают соответствующим видом кригинга.

Растр поверхности

По желанию карта сохраняется ещё и растром (поле **Растр поверхности**). Это та же поверхность z , но в координатах лага: начало в точке (0, 0), размер пиксела равен ячейке лага. Растр не привязан к местности - он лежит в пространстве разносов, а не в плане месторождения, - и нужен тем, кто хочет покрутить карту на холсте QGIS, наложить свою цветовую шкалу или измерить лаг линейкой. Для самой оценки анизотропии достаточно HTML-отчёта.

Если данные сгущены неравномерно, задайте необязательное поле весов **wt** из инструмента **1.01 Декластеризация**. Тогда каждая пара точек берётся с весом, равным произведению весов её концов, и скопления не завывают ближние лаги. Счётчик пар в отчёте показывает сырое число пар, а сама y считается взвешенно.

1.07 Кросс-валидация вариограммы

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 субъективно.

Параметры:

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Точки со значениями	Исходные точки (скважины).	-
Поле значения Z	Проверяемый числовой атрибут.	-
Поле номера скважины	Поле ID для подписей в отчёте и слое остатков.	необязательно
Тип кригинга, радиус, мин./макс. точек, наггет, структуры	Настройки кригинга и вариограммы. Контроль считает кригинг ровно с ними, поэтому удачный набор переносится в «2D Kriging» без изменений.	как у «2D Kriging»

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Снять полиномиальный тренд	Регрессия-кригинг: тренд переподбирается на каждом шаге LOO, выигрыш виден по RMSE.	выкл.
Степень тренда	Плоскость или квадратичная поверхность.	1 (плоскость)
Модели вариограмм (таблица)	Табличный слой с подобранными моделями.	не задан
Профиль из таблицы	Имя набора в таблице.	пусто
Слой остатков (точки)	Точки с полями факт/оценка/ошибка (см. таблицу полей ниже).	необязательный
Отчёт о кросс-валидации (HTML)	Интерактивный отчёт: оценка vs факт, гистограмма, QQ-график, метрики.	создаётся по умолчанию

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 силлы малы). Если меньше 1 - переоценена.

R - коэффициент корреляции «оценка - факт».

Полезно различать две стороны. Облако «оценка - факт» и RMSE говорят о **точности предсказания**. А насколько корректна сама **модель** - то есть верно ли вариограмма описывает неопределённость - показывают стандартизованные ошибки: MSDR около 1 и qq-график. Для кригинга ценны обе стороны: маленькая RMSE при MSDR около 1 означает, что модель и предсказывает хорошо, и не обманывается в собственной точности. Гнаться только за RMSE нельзя - она минимальна при нулевом наггете, где неопределённость занижена.

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: факт - под именем проверяемого поля, z_est, error, abs_error и std_resid. Плюс номер скважины, если задано поле ID) показывает, где модель промахивается: крупные по модулю остатки - проблемные участки, систематические знаки остатков - локальный тренд. Слой автоматически называется по проверяемому полю и источнику, а у полей заданы псевдонимы - понятные названия (видны в таблице атрибутов и свойствах поля). std_resid - это стандартизованный остаток (оценка – факт) / стандартную ошибку кригинга, со знаком: минус - кригинг занизил, плюс - завысил (это не дисперсия, дисперсия всегда ≥ 0).

Поля слоя остатков:

Поле	Псевдоним	Описание
<номер скважины>	Номер скважины	Значение выбранного поля ID (если задано «Поле номера скважины»).

Поле	Псевдоним	Описание
<имя поля>	Факт (имя поля)	Фактическое значение проверяемого поля.
z_est	Оценка кригинга (LOO)	Оценка по остальным точкам (leave-one-out).
error	Ошибка (оценка – факт)	Оценка минус факт. Минус - занижено, плюс - завышено.
abs_error	Модуль ошибки	Абсолютная величина ошибки, error .
std_resid	Станд. остаток	(оценка – факт) / стандартную ошибку кригинга, со знаком. Не дисперсия (она ≥ 0).

Кроме слоя остатков инструмент по умолчанию формирует HTML-отчёт (на plotly): интерактивный график «оценка vs факт» с двумя линиями - серой диагональю 1:1 (идеал) и синей линией регрессии Best Fit, гистограмма ошибок, QQ-график остатков и таблица метрик с блоком рекомендаций. Наклон, сдвиг и угол Best Fit выведены в метрики: это индикатор условного смещения по диапазону. Наклон около 1 - метод одинаково точен на низких и высоких значениях, наклон меньше 1 - высокие значения занижаются, а низкие завышаются (регрессия к среднему, характерная подпись сглаживающих методов). В таблицу добавлена дисперсия данных - ориентир для суммарного силла C0+C. Рядом с таблицей метрик показывается блок «Параметры кригинга»: перечислены только настройки, отличающиеся от стандартных (наггет, силл, радиус, отсеив и так далее), чтобы было видно, какими параметрами получены эти метрики. На графике «оценка vs факт» при наведении на точку видны номер скважины и значения, а восемь скважин с наибольшими по модулю остатками подписаны прямо на графике - их удобно проверить в первую очередь. Отчёт открывается в просмотрщике результатов QGIS (или в браузере). Если plotly в сборке QGIS недоступен, отчёт всё равно создаётся - с таблицей метрик, но без графиков.

QQ-график остатков. Показывает форму распределения ошибок. Ошибки нормируются на их собственную дисперсию (z-оценка) и сравниваются с нормальным распределением, поэтому график читается по форме при любой калибровке. За масштаб неопределённости отвечает отдельно MSDR в таблице метрик. По горизонтали - квантили нормального распределения, по вертикали - нормированная ошибка. Если ошибки нормальны, точки ложатся на красную диагональ. Отклонения читаются сразу. Загнутые концы (S-образно) - тяжёлые хвосты, то есть крупных промахов больше, чем при норме. Общий изгиб дугой - асимметрия, стоит подумать о трансформации значений. Отдельная группа, оторвавшаяся от линии, - чужая совокупность в данных, например безрудные пробы из зон замещения (где полезного компонента практически нет). Нормальность важна потому, что на ней основаны MSDR и карта стандартной ошибки.

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» без изменений. 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).

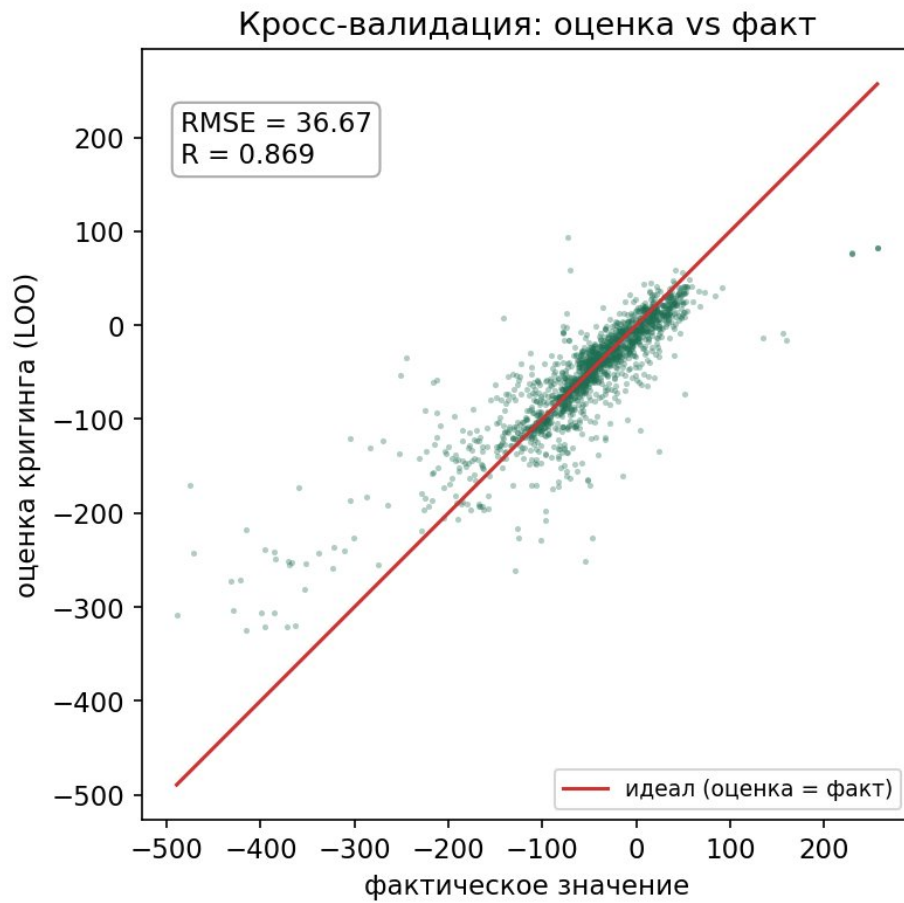


Рис. 14: Идея кросс-валидации: оценку кригинга по остальным точкам (по вертикали) сравнивают с фактом (по горизонтали). Чем теснее облако ложится на диагональ оценка = факт, тем точнее предсказание.

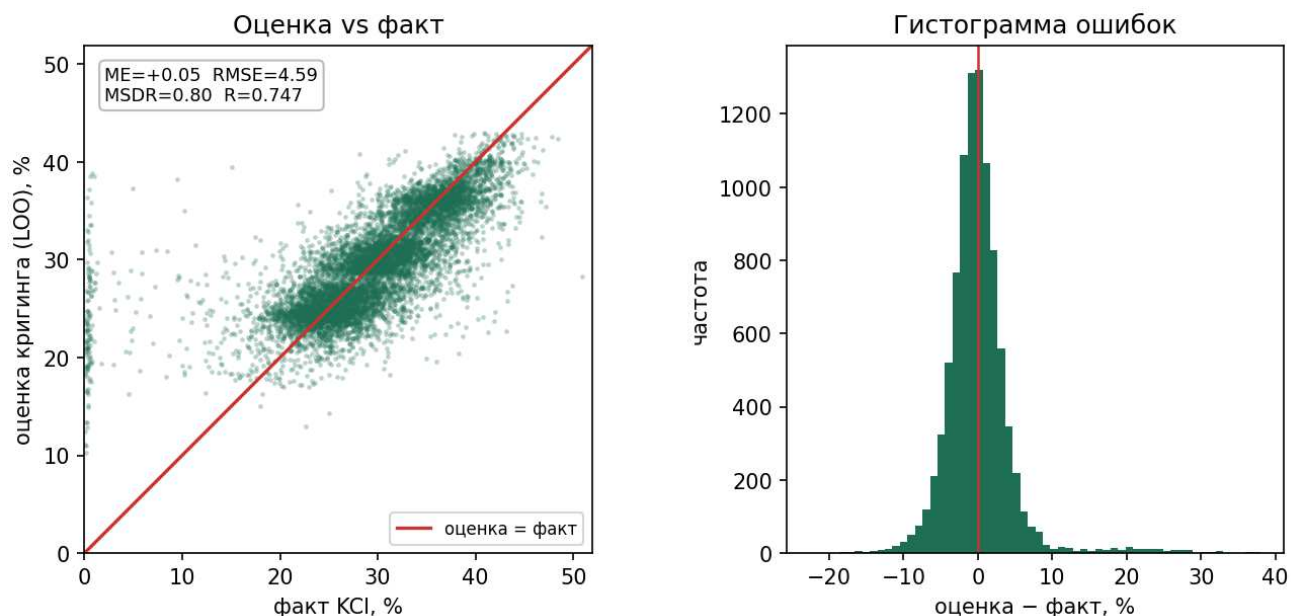


Рис. 15: Так выглядит HTML-отчёт кросс-валидации: слева график «оценка vs факт» с диагональю и метриками (пример - KCl по пласту КрII), справа гистограмма ошибок. Плотное облако вдоль диагонали - модель работает. Полоса при факте около 0 - зоны замещения. Гистограмма симметрична относительно 0 - смещения нет.

- 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 субъективно.

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

Сам кригинг на густых данных считается быстро: замеры раскладываются по клеткам размером в радиус поиска, и в каждой ячейке перебираются только соседние клетки, а не вся выборка. На ста шестидесяти тысячах пикетов это дало четырёхкратное ускорение. Отбор при этом точный, оценка не меняется.

Если данные сгущены неравномерно, задайте необязательное поле весов **wt** из инструмента **1.01 Декластеризация**. Метрики ME, MAE, RMSE, MSDR и R тогда считаются взвешенно, и плотный куст скважин не доминирует в оценке качества. Сама оценка leave-one-out при этом не меняется, взвешивается только сводка.

1.08 Кросс-валидация метода (LOO)

Скользкий контроль для метода гридирования: кригинга или минимальной кривизны. Каждая проверяемая точка по очереди исключается, её значение предсказывается методом

QQ-график ошибок: как читать форму

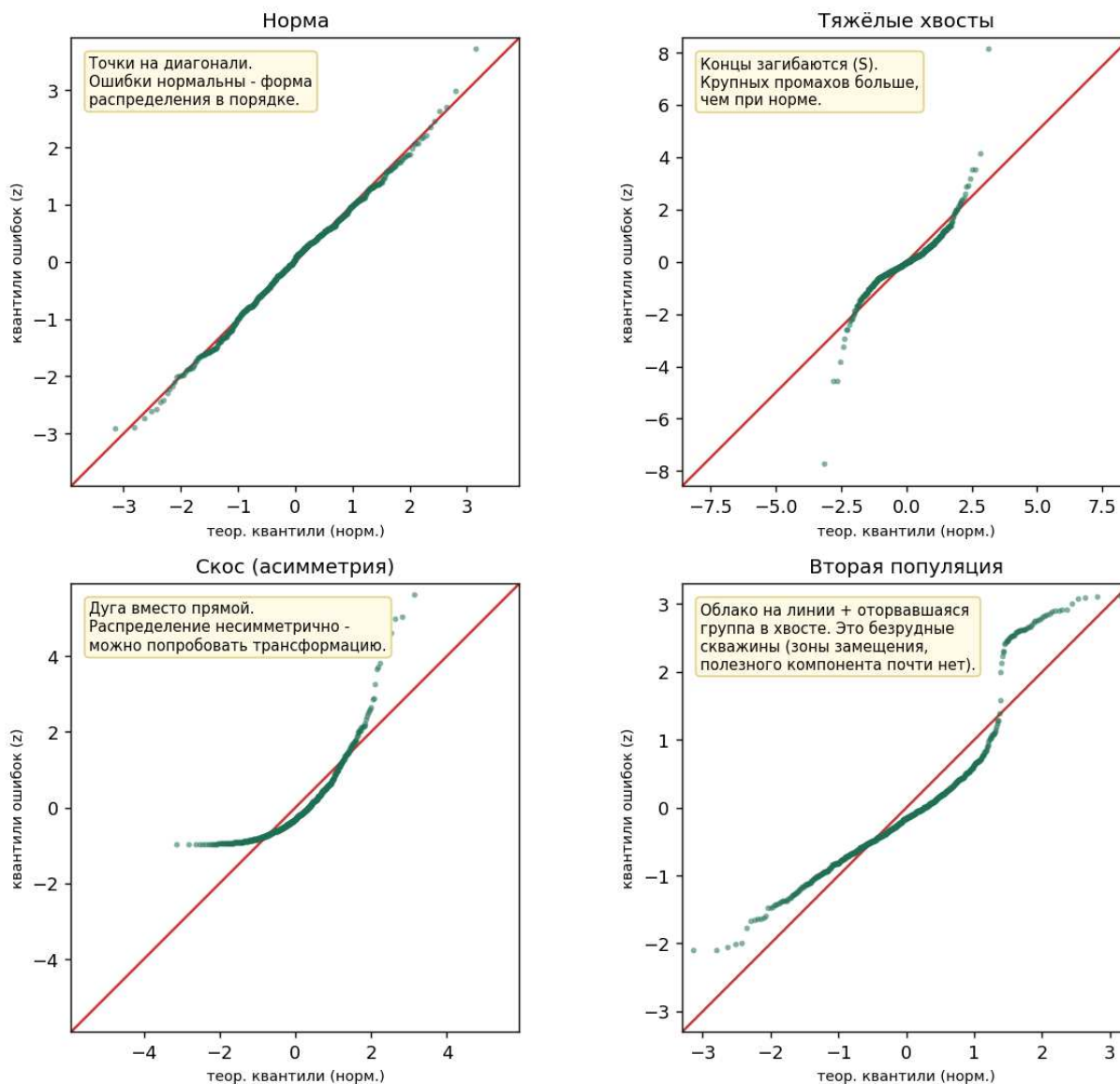


Рис. 16: Четыре типичных вида QQ-графика остатков: норма (точки на диагонали), тяжёлые хвосты, асимметрия и вторая популяция - оторвавшаяся группа в хвосте.

по остальным точкам и сравнивается с фактом. По ошибкам считаются метрики, и это объективная оценка качества метода, а также способ сравнить методы между собой на своих данных.

Инструмент отличается от **1.07 Кросс-валидация вариограммы**: та подбирает модель вариограммы для кригинга, а эта сравнивает методы гридирования как таковые и работает в том числе для минимальной кривизны.

Метрики: **ME** (смещение, ближе к 0), **MAE** и **RMSE** (меньше - лучше), **R** (корреляция оценки и факта). Для кригинга дополнительно **MSDR** (ближе к 1, если масштаб стандартной ошибки адекватен). На графике оценка/факт две линии: серая диагональ 1:1 (идеал) и синяя линия регрессии **Best Fit**. Её наклон, сдвиг и угол выведены в метрики как индикатор условного смещения по диапазону. Наклон около 1 - метод одинаково точен на низких и высоких значениях, наклон меньше 1 - высокие значения занижаются, а низкие завышаются (регрессия к среднему, характерная подпись сглаживающих методов).

По образцу Surfer доступны три вещи. **Случайная выборка** из N точек ускоряет контроль на больших данных, при этом в оценке каждой точки участвует вся выборка, а не только подмножество. **Фильтр области** ограничивает проверку подобластью по охвату и по значению Z, полезно, чтобы не считать контроль в известных аномалиях. **Буфер исключения** по X и Y убирает из оценки точки в прямоугольнике вокруг проверяемой, это нужно для сгущённых кластеров, иначе оценка просто повторяет ближайшего соседа.

Параметр	Назначение	По умолчанию
Точки со значениями	Пробы.	-
Поле значения Z (пусто: из геометрии)	Числовое поле. Пусто - отметка берётся из Z точки.	-
Поле номера скважины	Для подписей в отчёте.	-
Метод	Кригинг или минимальная кривизна.	Кригинг
Проверяемых точек	0 - авто, $\min(N, 100)$.	0
Буфер исключения по X, Y	Прямоугольник вокруг точки, соседи в нём не участвуют.	0
Параметры кригинга	Вариограмма и поиск (как в 1.1).	-
Параметры мин. кривизны (Доп.)	Охват, ячейка, натяжение, порог, итерации.	авто
Проверять только в охвате (Доп.)	Область контроля по X/Y.	езде
Проверять при Z в диапазоне (Доп.)	Область контроля по значению.	нет
Зерно ГСЧ (Доп.)	Для воспроизводимости выборки.	0
Ошибки кросс-валидации	Слой точек с полями факта, оценки и ошибки.	-
HTML-отчёт	График оценка/факт, гистограмма, метрики.	по умолчанию

Для минимальной кривизны переоценка каждой точки идёт с тёплого старта от полного решения, поэтому один проход считается быстро. На очень больших выборках уменьшайте число проверяемых точек.

Если данные сгущены неравномерно, задайте необязательное поле весов **wt** из инструмента **1.01 Декластеризация**. Метрики ME, MAE, RMSE, MSDR и R тогда считаются взвешенно, и плотный куст скважин не доминирует в оценке качества. Сама оценка leave-one-out при этом не меняется, взвешивается только сводка.

1.09 Пример скважин (демо)

Инструмент «Пример скважин (демо)» формирует точечный слой со случайными координатами и тремя структурированными полями: абсолютная отметка кровли пласта (roof), мощность (thick) и содержание абстрактного компонента X (%). Диапазоны кровли и мощности заданы по образцу промышленного пласта (КрII). Инструмент предназначен для обучения и проверки кригинга, изолиний и кросс-валидации без реальных данных.

Параметры:

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Область (экстент)	Прямоугольник генерации (по слою, холсту, координатами, рисованием).	-
Количество скважин	Сколько точек создать.	300
Минимум / максимум значения X	Диапазон содержания компонента.	0 / 50
Гладкость (доля охвата)	Радиус корреляции как доля охвата: больше - крупнее «пятна».	0.15
Кровля, мощность: мин/макс (Доп.)	Диапазоны полей roof и thick.	как у КрII
Доля наггета (Доп.)	Доля дисперсии на короткомасштабный шум: больше - ниже предсказуемость.	0.35
Добавить категориальное поле минтипа	Поле mintype (сильвинит, замещение) для индикаторного кригинга.	выкл.
Добавить поле напора	Поле head с региональным уклоном для градиента потока.	выкл.
Добавить поля К и Т и напор	Напор и лог-нормальные К (м/сут) и $T = K \cdot \text{мощность}$ для удельного расхода (Дарси).	выкл.
Зерно ГСЧ (Доп.)	Воспроизводимость генерации. 0 = случайно.	0
Скважины (демо)	Выходной точечный слой.	-
Поверхность дрейфа (растр) + поле dz	Включите вывод - получите растр s и поле dz для внешнего дрейфа.	выкл. (пропущен)

При запуске в Журнал выводится стартовая вариограмма (суммарный силл $\approx$ дисперсии данных, наггет, радиус). Сгенерированные данные имеют восстановимую вариограмму, поэтому на них удобно освоить весь цикл: построить грид в «2D Kriging», затем изолинии, и проверить параметры кросс-валидацией.

Две галки и отдельный вывод добавляют необязательные поля для обучения смежных инструментов. **Добавить категориальное поле минтипа** даёт поле mintype с фоном сильвинита и очагами замещения для категориального индикаторного кригинга. **Добавить поле напора** даёт поле head с выраженным региональным уклоном для гидравлического градиента: кригуете head, подаёте растр в инструмент потока, и стрелки идут вниз по склону напора. Включённый вывод **Поверхность дрейфа** строит отдельным растром гладкую стороннюю поверхность s, известную всюду, и добавляет поле dz, линейно с ней связанное. На этой паре осваивают кригинг с внешним дрейфом: кригуете dz с растром s как дрейфом и сравниваете с обычным кригингом dz без дрейфа. Если вывод поверхности пропущен, поле dz

не добавляется. Галка **Добавить поля К и Т и напор** генерирует напор и лог-нормальные поля К (коэффициент фильтрации, разброс на порядки, как в реальных откачках) и $T = K \cdot \text{мощность}$. На них осваивают удельный расход по Дарси: кригуете К и Т в «2D Kriging» с преобразованием **ln** (или вручную поля ln), плюс напор, и подаёте растры в «Удельный расход».

Поля результата:

Поле	Тип	Что содержит
well	текст	Номер скважины, формат SK-0001.
roof	число	Абсолютная отметка кровли пласта, м.
thick	число	Мощность пласта, м.
X	число	Содержание абстрактного компонента, %.
head	число	Напор (пьезометрический уровень), м. С галкой напора или галкой К и Т.
K	число	Коэффициент фильтрации, м/сут (лог-нормально). Только с галкой К и Т.
T	число	Водопроводимость $T = K \cdot \text{мощность}$, м ² /сут. Только с галкой К и Т.
mintype	текст	Минеральный тип (сильвинит, частичное замещение, каменная соль). Только с галкой минтипа.
dz	число	Значение, линейно связанное с поверхностью дрейфа. Только при включённом выводе поверхности дрейфа.

Полный перечень полей выходных слоёв - в приложении **Скважины (демо)** (раздел «Поля демо-слоёв» в конце руководства).

1.10 Пример геофизических профилей (демо)

Инструмент создаёт точечный слой геофизических профилей для обучения и проверки без реальных данных. Строятся несколько параллельных профилей с пикетами. Предусмотрено два режима.

Электроразведка. Вдоль профилей заданы кажущееся сопротивление r_k (Ом·м), потенциал естественного поля ЕП (мВ) и вызванная поляризация ВП (мВ/В). В данные заложена низкоомная аномалия - обводнённая или замещённая зона. В ней r_k проваливается с фоновых десятков Ом·м до единиц, а ЕП даёт отрицательный минимум. Такое поведение отвечает промысловой практике: наименьшие сопротивления характерны для осадочных пород, тогда как соль, гипс и ангидрит, наоборот, высокоомны, а обводнение и засоление уводят сопротивление вниз. Аномалия задана компактным пятном, а не полосой, поэтому профили не синхронны, и при интерполяции виден локальный очаг, а не сплошная лента.

Оседания (мульда). Значение - оседание (мм) в виде мульды сдвижения над отработанной площадью, по нескольким турам наблюдений. Мульда углубляется от тура к туру и ограничена по модулю двумя метрами. Знак единый: вниз (отрицательное) или величина (положительное), по выбору. По краям строго нули - в стороне от отработки оседания нет. По одним пикетам можно посчитать разность **settle** между турами и получить скорость оседания.

Рабочий цикл повторяет основной: поле **rho_k** (или **settle**) интерполируется инструментом **1.02 2D Kriging** либо минимальной кривизной, по гриду строятся изолинии инструментом **1.04**, и аномалия оконтуривается. Поле **sp** можно интерполировать так же и сравнить минимум ЕП с провалом рк. Поле **rho_true** (или **settle_true**) - заложенное значение без шума, эталон для проверки точности интерполяции.

Кригинг или минимальная кривизна

Геофизические профили - характерный случай, где выбор метода интерполяции важнее его настройки. Данные плотные вдоль профилей и разреженные между ними, а сама величина (сопротивление, потенциал) физически гладкая и непрерывная.

Кригинг верно отражает неравномерность сети: без настройки анизотропии вариограммы он тянет структуру вдоль линий съёмки, и поле распадается на полосы вдоль пикетов. Минимальная кривизна (**1.03**) навязывает физически осмысленную гладкость и сшивает разрозненные профили в связную поверхность, поэтому для профильной съёмки и потенциальных полей она обычно предпочтительнее. То же справедливо и для поля **sp**: минимум ЕП проявляется цельным телом, а не столбцами. Ярче всего это видно на оседаниях: мульда сдвижения - компактная осесимметричная воронка, и кригинг раскатывает её в ленту вдоль профилей, тогда как минимальная кривизна восстанавливает чашу с чётким центром.

Практический вывод: поля с профилей стройте минимальной кривизной, а кригинг применяйте, когда настроена анизотропия вариограммы под геометрию сети.

Область задаётся экстендом. Режим, диапазоны, число туров и отметку поверхности можно изменить в разделе **Дополнительно**.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию
Область (экстент)	Границы генерации.	-
Режим	Электроразведка или оседания.	Электроразведка
Число профилей	Сколько параллельных профилей.	4
Шаг пикетов, м	Расстояние между пикетами.	20
Фоновое рк, Ом·м (Доп.)	Сопротивление вне аномалии.	60
Минимальное рк, Ом·м (Доп.)	Сопротивление в центре пятна.	10
Амплитуда ЕП, мВ (Доп.)	Глубина минимума ЕП, обычно меньше 0.	-100
Амплитуда ВП, мВ/В (Доп.)	Высота аномалии ВП.	15
Шум рк (Доп.)	Доля разброса в лог-масштабе.	0.06
Максимальное оседание, мм (Доп.)	Глубина мульды в последнем туре.	400
Число туров (Доп.)	Сколько циклов для режима оседаний.	2
Знак оседания (Доп.)	Вниз (отрицательное) или величина (положительное).	Вниз
Отметка: база и амплитуда, м (Доп.)	Плавный рельеф поверхности.	120 и 15
Геофизические профили	Слой точек с полями.	-

Поля электроразведки: **profile** (номер профиля), **picket_m** (пикет в метрах от начала профиля), **pk** (метка ПК, например ПК5+20), **z** (отметка поверхности, м), **rho_k** (рк, Ом·м), **rho_true** (рк без шума), **sp** (ЕП, мВ), **vp** (ВП, мВ/В).

Поля оседаний: **profile**, **picket_m**, **pk**, **tour** (номер тура), **z** (отметка, м), **settle** (оседание, мм), **settle_true** (оседание без шума).

Топография: рельеф из открытых данных

Группа «**2. Топография**» отвечает на частый запрос: максимально качественная модель рельефа из открытых данных из коробки. Парадный вход - загрузчик ЦМР по рамке, к нему векторная топооснова из OpenStreetMap, ядро Topo2Raster для построения рельефа из точек и изолиний, и полный гидрологический набор: заполнение понижений, сток и аккумуляция, речная сеть, бассейны, уклон с экспозицией и вершины. Вся аналитика на чистом NumPy, без GRASS, SAGA и внешних модулей.

Рядом стоит группа «**2. Топография: диагностика и правка**». В неё вынесены инструменты проверки готового рельефа: разделение горизонталей на наборы, невязка против ЦМР и поиск террасинга. Отдельная группа нужна потому, что подгрупп в Processing нет, а держать проверку внутри рабочей цепочки неудобно: она разрывает последовательность построения. Нумерация инструментов при этом сквозная с топографией.

Все выходные слои группы складываются в группу **Топография** дерева слоёв, чтобы не тонуть среди рабочих слоёв проекта. Инструменты группы стыкуются друг с другом. Загрузчик 2.01 отдаёт готовую метрическую ЦМР, которая без всяких манипуляций идёт в изолинии (1.04) и в любой расчёт группы. Водотоки из 2.02 и речная сеть из 2.06 подходят тальвегами в Topo2Raster (2.03) как есть, потому что их вершины идут вниз по течению.

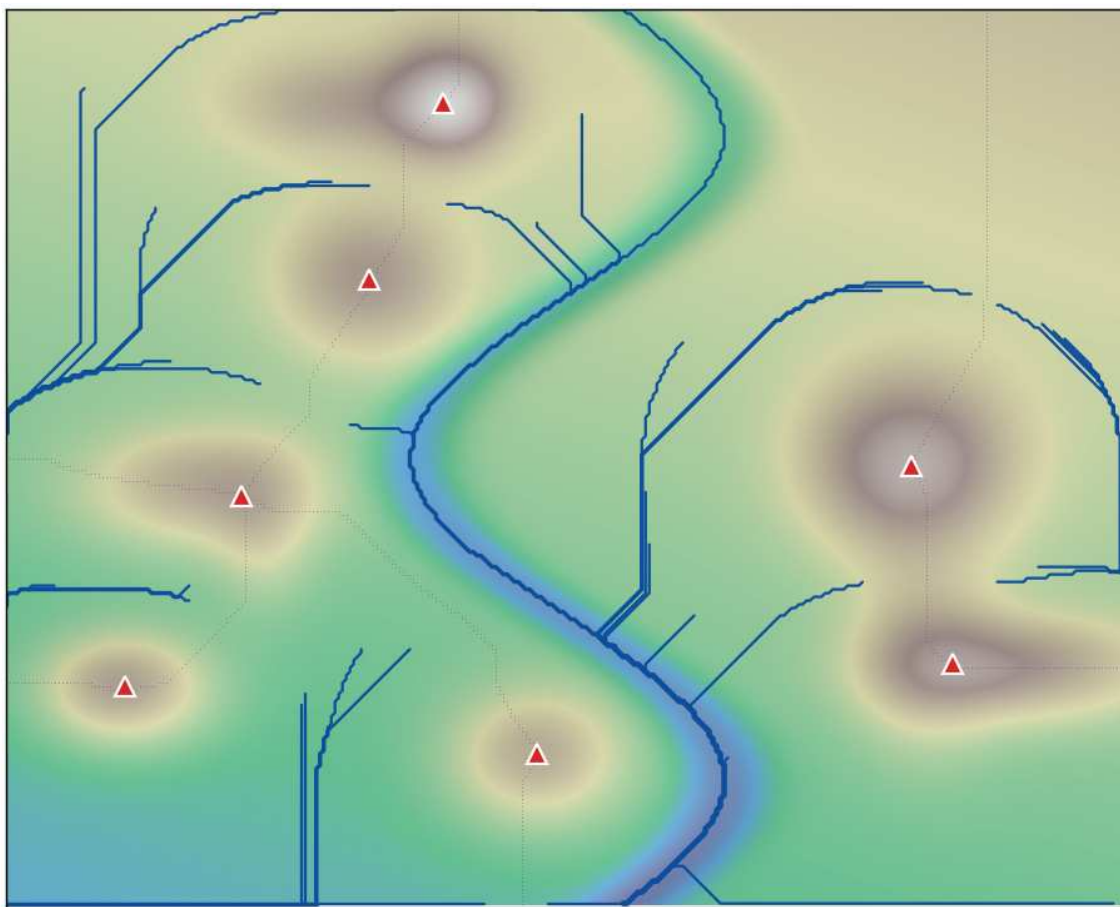


Рис. 17: Полная цепочка группы на демо-рельефе: отмывка, речная сеть толщиной по порядку Стралера (2.06), границы бассейнов (2.07) и вершины (2.09).

Полный перечень полей выходных слоёв - в приложении **Профили электроразведки** /

Профили оседаний (раздел «Поля демо-слоёв» в конце руководства).

2. Топография

2.01 Загрузка ЦМР по рамке

Загружает ЦМР по рамке из открытого хранилища, без регистрации и ключей, на выбор из двух источников. Плитки размером один градус собираются в мозаику без швов и перепроецируются в метрическую систему координат с кубической интерполяцией. Сырые градусные плитки в анализ не попадают, поэтому особенность GLO-30 севернее 50 широты (укрупнённый шаг по долготе) обрабатывается автоматически.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Источник рельефа	GLO-30 (Copernicus, DSM: высоты по кронам и кровлям) или GEDTM30 (DTM без леса и построек, машинное обучение по ICESat-2/GEDI).	GLO-30
Рамка загрузки	Охват в любой СК, пересчитывается в градусы автоматически.	-
Целевая СК	Метрическая СК выхода. Пусто = СК проекта, если метрическая, иначе UTM по центру рамки.	пусто
Размер ячейки, м	Шаг выходного грида после перепроецирования.	30
Сгладить рельеф (FPDEMS)	Сглаживание с сохранением бровок (см. ниже). выкл. = сырой растр источника.	выкл.
Гидрологическая коррекция	Заполнение ложных понижений, чтобы вода текла вниз. Снять для карста и мульды оседания.	вкл.
Сглаживание: окно нормалей, ячеек (доп.)	Сторона окна фильтра нормалей, нечётная.	11
Сглаживание: порог различия нормалей, град (доп.)	Строгость сохранения граней: меньше - агрессивнее сохранение.	15
Сглаживание: число проходов (доп.)	Внешних шагов пересборки высот.	2
Epsilon уклона при заполнении, м (доп.)	Минимальный уклон на плоскостях. 0 = поднять только ямы до слива.	0.001
Предел числа плиток 1x1 градус (доп.)	Страховка от слишком большой рамки для GLO-30.	25
ЦМР (метрическая СК)	Выходной растр float32, слой в группе Топография.	-

Источник рельефа - ключевой выбор. **Copernicus GLO-30** это цифровая модель поверхности (DSM): высоты снимаются по верху крон и кровель, раздаётся плитками по градусу. **GEDTM30** это цифровая модель рельефа (DTM) от OpenGeoHub под лицензией CC BY 4.0: лес и постройки сняты машинным обучением по данным ICESat-2 и GEDI, поэтому под пологом леса GEDTM30 заметно точнее, что подтверждено независимой проверкой. Раздаётся единым глобальным

облачным GeoTIFF. Для лесистого Прикамья DTM обычно предпочтительнее, для открытых участков разница мала.

Параметры:

- **Рамка загрузки** - охват в любой СК, внутри переводится в градусы для выбора данных.
- **Целевая СК** - метрическая СК результата. Пустое значение включает автоматику: берётся СК проекта, если она метрическая, иначе зона UTM по центру рамки. Градусная целевая СК отклоняется с внятным сообщением.
- **Размер ячейки, м** - по умолчанию 30, родное разрешение GLO-30.
- **Гидрологическая коррекция** - включена по умолчанию: ложные понижения заполняются сразу (см. 2.04), чтобы вода на модели текла вниз. Для задач, где важны замкнутые котловины (карст, муьды оседаний), флажок снимите.
- В **Дополнительно: Epsilon уклона при заполнении** и **Предел числа плиток** (защита от случайной рамки на полстраны).

Отказ сети или рамка целиком в океане завершаются понятным сообщением, а не пустым растром. Источник данных: Copernicus DEM © ESA, открытая лицензия допускает использование с указанием источника.

2.02 Загрузка топоосновы по рамке

Векторный близнец загрузчика ЦМР: по той же рамке забирает из OpenStreetMap слои для работы с рельефом.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Рамка загрузки	Охват запроса к OSM Overpass. Держать скромным - большие запросы сервер режет.	-
Предел площади рамки, кв. градусов	Страховка от чрезмерного запроса.	0.5
Таймаут запроса, с	Ожидание ответа Overpass, при отказе идёт переход на зеркало.	90

Выходные слои: водотоки, водоёмы (плоскости), вершины с полем **ele**, обрывы (барьеры). Все попадают в группу Топография.

- **Водотоки** - реки, ручьи и каналы. В OSM водотоки рисуются вниз по течению, поэтому слой годится тальвегами в 2.03 без подготовки.
- **Водоёмы** - замкнутые контуры озёр и прудов, плоскости постоянной высоты для 2.03. Составные мультиполигоны (большие озёра из нескольких way) первая версия пропускает.
- **Вершины с отметками** - точки natural=peak с высотой ele, готовые отметки вершин для 2.03 и контроль для 2.09.
- **Обрывы и насыпи** - линии разрыва рельефа для 2.03.
- **Береговая линия** - по умолчанию выключена, нужна на приморских территориях.

Выход в СК проекта, линии обрезаются по рамке. Публичные серверы Overpass имеют лимиты, при отказе основного сервера запрос уходит на зеркало, для больших территорий уменьшайте рамку или поднимайте предел площади в **Дополнительно**. Данные: © участники OpenStreetMap, лицензия ODbL.

2.03 Топо2Raster (рельеф из векторов)

Строит рельеф из векторных данных мультисеточной интерполяцией от грубой сетки к тонкой, по мотивам ANUDEM. Инструмент закрывает классическую задачу: есть отцифрованные

горизонталь топоплана, отметки высот, реки и озёра, нужен корректный грид.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Точки высот	Слой отметок (например, вершины 2.09).	-
Поле высоты точек	Атрибут Z у точек.	-
Изолинии	Слой горизонталей (оцифровка плана или 1.04 по ЦМР).	-
Поле высоты изолиний	Атрибут уровня у изолиний.	ELEV
Тальвеги (вниз по течению)	Линии рек, вершины направлены вниз. Сеть 2.06 и OSM подходят как есть.	-
Обрывы (барьеры сглаживания)	Линии, вдоль которых перепад не размазывается.	-
Вес измеренных отметок (доп.)	В общей ячейке измерение перевешивает вершину оцифрованной горизонтали. 1 = как раньше.	1
Верх форм, Низ форм	Стороны форм с отметками: бровки и подошвы, гребни и основания, вершина точкой. См. раздел «Поверхность между структурными линиями».	-
Поле связи формы	Одинаковое значение у всех объектов одной формы.	link
Поле отметки сторон форм (доп.)	Если у линий нет Z.	-
Функция формы поперёк (доп.)	Линейная - проектный откос, плавная - скругление у кромок.	линейная
Озёра и урез воды	Плоскости водоёмов.	-
Поле отметки уреза	Отметка уреза. Пусто = Z узлов (наклон) или минимум берега.	пусто
Охват	Рамка выхода. Пусто = по входным слоям.	пусто
Размер ячейки, м	Шаг выходного грида.	30
Заполнить понижения в итоге	Гидрологическая коррекция результата.	вкл.
Итераций сглаживания на уровень (доп.)	Проходов внутреннего сглаживания поля.	60
Минимальное падение тальвега, м/ячейку (доп.)	Гарантированный уклон вдоль рек.	0.01
Epsilon уклона при заполнении, м (доп.)	Минимальный уклон на плоскостях при заполнении.	0.001
Рельеф	Выходной растр float32.	-

Нужны точки или изолинии (хотя бы один источник высот). Приоритет отметки уреза: Z узлов (наклон реки) выше поля отметки (плоскость), поле выше минимума берега.

Каждый тип входа работает своим ограничением:

- **Точки высот и изолинии** - жёсткие узлы, поверхность через них проходит точно. Нужен хотя бы один из этих слоёв, у каждого выбирается числовое поле высоты.

- **Тальвеги** - принудительное монотонное падение вниз по течению. Вершины линий должны идти вниз по течению: водотоки OSM (2.02) и речная сеть (2.06) подходят как есть. Минимальное падение на ячейку задаётся в **Дополнительно**.
- **Обрывы** - барьеры сглаживания. Поверхности по сторонам обрыва независимы, перепад не размазывается. Сама линия шириной в ячейку получает промежуточную высоту, это ограничение первой версии.
- **Урез воды** - три приоритета высоты на каждый объект, слой может смешивать типы. Если у полигона трёхмерные вершины (задан Z в узлах), урез интерполируется по их высотам и наклоняется вдоль русла - так задаётся падение уровня реки от истока к устью. Если Z нет, но заполнено поле отметки, объект держится горизонтальной плоскостью. Если нет ни того, ни другого, уровень берётся автоматически по минимуму прилегающего берега. Разнотипные объекты в одном слое разбираются каждый своей веткой: озеро плоскостью, река наклоном.

Внутри работает двухтактный цикл на каждом уровне сетки: мембранное сглаживание ставит каркас и держит ограничения, затем полировка минимальной кривизной (стенсил Бриггса) убирает мембранное смещение между кривыми изолиниями. На круговом тесте (демо-рельеф, горизонтали через 4 м, восстановление, сравнение с оригиналом) полировка снижает ошибку примерно на треть. Остаточный максимум ошибки живёт на вершинах выше последней горизонтали, поэтому отметки вершин во входных данных заметно улучшают макушки - именно так топографы и подписывают карты.

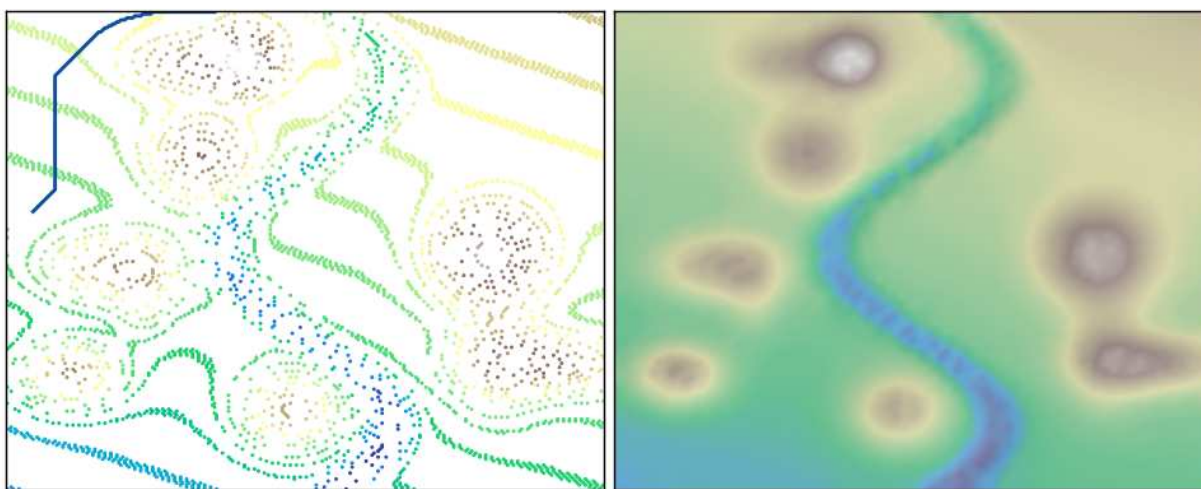


Рис. 18: Слева входные ограничения: уплотнённые изолинии (цвет по высоте) и главный тальвег. Справа восстановленный рельеф.

Охват по умолчанию берётся по слоям с отступом две ячейки. Все слои приводятся к СК первого заданного слоя, она должна быть метрической. Финальное **заполнение понижений** включено по умолчанию, его логика описана в 2.04.

Трёхмерные тальвеги

Тальвег без отметок работает условием: вдоль него поддерживается падение вниз по течению, а какая там высота, решает интерполятор по окружающим данным. Если у линии есть отметки вершин, они становятся жёсткими узлами, и промер по руслу начинает задавать дно, а не подсказывать направление.

Отметки при этом один раз приводятся к падающим вниз по течению. Причина не в аккуратности, а в устройстве расчёта: измерения по руслу шумят, отдельные вершины уходят вверх по течению, и такой узел спорил бы с принуждением падения на каждой итерации.

Релаксация прищипливает ячейку к отметке, принуждение продавливают её ниже, и так по кругу. После приведения принуждение становится пустой операцией и спорить не с чем.

Правка идёт только вниз: отметку выше измеренной инструмент не выдумывает. Её наибольшая величина печатается в журнал, и по ней видно, насколько шумным был промер.

Отдельно считаются ячейки, где отметка тальвега расходится с другим узлом больше чем на пять сантиметров. Обычно это пересечение русла с горизонталью, и там побеждает тальвег. Число таких мест выводится предупреждением: молча решать такой спор нельзя.

Линия без отметок ведёт себя как прежде, разнотипный слой разбирается по объектам.

Поверхность между структурными линиями

Вход **Обрывы** задаёт барьер: перепад вдоль линии не размазывается, но сам перепад линия не задаёт, потому что отметок у неё нет. Пара входов **Верх форм** и **Низ форм** решает обратную задачу - поставить ровно ту поверхность, которая задана двумя сторонами с известными отметками.

Зачем это нужно, лучше всего сказано в отраслевых требованиях к цифровым планам: рельеф, созданный автоматически, необходимо исправить в ручном режиме, согласовав с высотами подпорных стенок, откосов и насыпей. Инструмент заменяет эту предписанную ручную правку правилом. Второй адресат - площадные карьеры, выемки, насыпи и отвалы: горизонтали внутри них по нормативу не описываются вовсе, и построить там рельеф больше не из чего, кроме бровок и подошв.

Сторона - это множество. В верх или низ входит любое число линий и точек с одним значением поля связи, и расстояние считается до объединения множества. Из одного этого правила выходят все случаи: откос это бровка и подошва, яма это замкнутая бровка и точка на дне, канава это две бровки и линия дна, кольцевая дамба это две замкнутые линии, береговой уступ это бровка и часть уреза. Смешивать линии и точки в одной стороне можно.

Отметки берутся по приоритетам: вершины с Z, затем поле отметки, затем объект остаётся барьером и в форму не собирается. Порога значимости в инструменте нет: дали две стороны - строится поверхность, дали одну - работает барьером. Решение принимает человек, когда рисует вторую линию.

Как считается. Соответствие точек между сторонами не ищется. Для каждой ячейки считаются точные расстояния до обоих множеств вместе с отметкой ближайшего источника, вес равен отношению расстояний, отметка линейна по весу. Перехлест геометрии при этом невозможен по построению. Тело формы уходит в мультисетку жёсткими узлами, а его граница дополнительно работает барьером, чтобы внешние данные не перетягивали поверхность через уступ. Схема релаксации не трогается.

Цена метода. Ближайшая точка и соответственная точка - разные вещи. Пока отметки постоянны, разницы нет. Когда отметка бровки меняется вдоль изогнутой формы, поверхность слегка уводит от линейчатой, а на вогнутых углах возникает медиальная ось, где ближайший источник переключается скачком и поверхность получает залом. Оба числа меряются тестами на синтетике: на реальной съёмке их мерить не против чего, аналитического эталона там нет.

Что печатается в журнал. По каждой форме: число ячеек тела, медианная ширина в ячейках, расхождение отметок в местах схождения сторон и число объектов, пропущенных из-за отсутствия отметок. Отдельно предупреждение о формах уже двух ячеек: в растре такой формы нет ни при каком масштабе, надо мельчить ячейку. Одинокие стороны и объекты без связи в журнал уходят с причиной.

Граница области построения

Полигон ограничивает поверхность так же, как outer boundary в системах проектирования: за границей растр не выдаётся, там nodata.

Важна не сама обрезка, а момент, когда она применяется. Маска накладывается **после** интерполяции, а не отсечением входных данных. Точки, горизонтالي и тальвеги за пределами границы продолжают формировать поверхность у самой границы, поэтому края не заворачиваются. Если бы мы вместо этого обрезали вход, у границы возник бы искусственный перегиб: интерполятору стало бы не на что опереться с внешней стороны.

Слой границы подавайте в любой системе координат, геометрия переводится сама. В журнал печатается, сколько ячеек оказалось внутри и какая это доля площади. Если внутри не оказалось ни одной, расчёт прерывается с указанием проверить систему координат: чаще всего дело именно в ней.

2.04 Подготовка рельефа

Готовит ЦМР к анализу двумя независимыми модификациями, каждая включается своим флажком, порядок фиксирован: сначала сглаживание, потом заполнение.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Входная ЦМР	Растр рельефа для подготовки.	-
Сгладить рельеф (FPDEMS)	Сглаживание с сохранением бровок (см. ниже).	выкл.
Заполнить понижения	Заполнение ложных ям (Планшона-Дарбу).	вкл.
Epsilon уклона, м (0: только ямы)	Минимальный уклон на плоскостях. 0 = поднять ямы до слива, больше нуля = сквозной уклон для D8.	0.001
Сглаживание: окно нормалей, ячеек (доп.)	Сторона окна фильтра нормалей, нечётная.	11
Сглаживание: порог различия нормалей, град (доп.)	Строгость сохранения граней: меньше - агрессивнее.	15
Сглаживание: число проходов (доп.)	Внешних шагов пересборки высот.	2
Подготовленная ЦМР	Выходной растр float32.	-

Порядок: сначала сглаживание, потом заполнение. Обе модификации независимы, каждая своим флажком.

Сгладить рельеф (FPDEMS) убирает избыточную шероховатость спутниковых моделей. Спутниковые ЦМР зашумлены, и обычные фильтры - среднее, медиана, гаусс - режут шум вместе с бровками, стенками террас и берегами: перегибы заваливаются. FPDEMS (Lindsay, Francioni, Cockburn, 2019) работает иначе. Он оперирует не высотами напрямую, а полем нормалей поверхности: сначала считает нормаль каждой ячейки, затем сглаживает поле нормалей так, что сосед входит в среднее с весом тем большим, чем ближе его нормаль к центральной. На бровке нормали соседей резко расходятся, вес падает, грань сохраняется. После этого высоты подтягиваются под сглаженное поле нормалей. В итоге плоское выглаживается, структурные линии стоят. **Порог различия нормалей** (в **Дополнительно**) управляет строгостью: меньше значение - агрессивнее сохранение граней, больше - сильнее общее сглаживание. Метод изначально предложен для лидарных ЦМР, но одинаково полезен для спутниковых.

Заполнить понижения методом Планшона-Дарбу поднимает ложные ямы, чтобы поток не останавливался. Понижения в растровых моделях чаще всего артефакты интерполяции и шума, гидрологический анализ без заполнения обрывается в первой же яме. **Epsilon уклона** управляет режимом: при нулевом значении поднимаются только настоящие ямы

ровно до уровня слива, плоские участки остаются плоскими. При положительном значении (по умолчанию 0.001 м) через плоскости дополнительно строится сквозной уклон, и D8 на них становится определён. Для стока и аккумуляции нужен положительный epsilon. Ячейки на границе грида и рядом с nodata считаются стоками. В отчёт печатается число поднятых ячеек и максимальный подъём - удобный индикатор качества исходной ЦМР.

Та же галочка сглаживания есть в загрузке ЦМР (2.01) для быстрого пути прямо при скачивании. Отдельный инструмент 2.04 нужен, когда рельеф пришёл не из 2.01, а из своих данных.

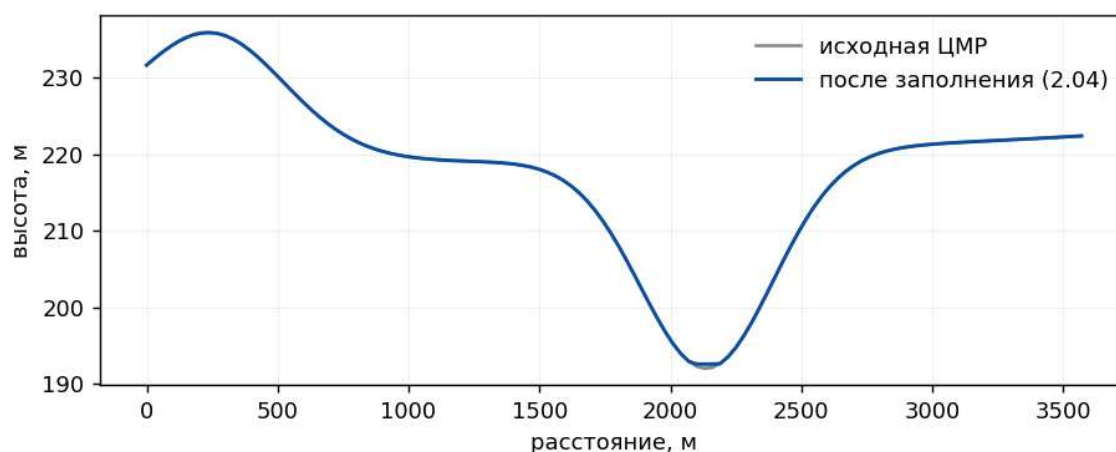


Рис. 19: Профиль через понижение: исходная поверхность и результат заполнения. Закрашена поднятая часть.

2.05 Сток и аккумуляция (D8)

Считает направления стока по восьми соседям (D8, Jenson-Domingue) и аккумуляцию: сколько ячеек стекает в каждую, включая её саму. Направления кодируются как в ArcGIS: E=1, SE=2, S=4, SW=8, W=16, NW=32, N=64, NE=128, сток=0, nodata=255.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Входная ЦМР	Растр рельефа.	-
Заполнить понижения перед расчётом	Гидрологическая коррекция до D8, иначе поток встанет в ямах.	вкл.
Epsilon уклона при заполнении, м (доп.)	Минимальный уклон на плоскостях.	0.001
Направления стока (коды ESRI)	Выход: байтовый растр направлений. E=1, SE=2, S=4, SW=8, W=16, NW=32, N=64, NE=128, сток=0.	-
Аккумуляция, ячеек	Выход: float32, число ячеек выше по течению.	-

Семантика границ выбрана осознанно. Ячейка на рамке грида уходит наружу только когда у неё нет более низкого соседа внутри, иначе рвались бы потоки, идущие вдоль края. Береговая ячейка, наоборот, льёт в соседний nodata (море, вырез) даже при наличии более низкого соседа на суше.

Флажок **Заполнить понижения перед расчётом** включён по умолчанию: на сырой ЦМР поток останавливается в ямах и аккумуляция обрывается. Расчёт векторизован полностью, грид 2000×2000 считается за секунды.

2.06 Речная сеть

Извлекает речную сеть из ЦМР: ячейки с аккумуляцией не ниже порога связываются в звенья от истоков и узлов слияния вниз по течению.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Входная ЦМР	Растр рельефа.	-
Порог аккумуляции, ячеек	Минимум ячеек водосбора для начала русла. Гуще сеть - меньше порог. 1000 при 30 м примерно 0.9 кв. км.	1000
Заполнить понижения перед расчётом	Гидрологическая коррекция до трассировки.	вкл.
Epsilon уклона при заполнении, м (доп.)	Минимальный уклон на плоскостях.	0.001
Речная сеть	Выход: линии с полями order (Стралер), acc_out, length_m. Вершины направлены вниз по течению.	-

Порог аккумуляции задаётся в ячейках и означает площадь водосбора, с которой начинается река: площадь водосбора истока, делённая на площадь ячейки. Для ЦМР 30 м порог 1000 даёт начало рек с водосбора около 0.9 кв. км. Меньший порог даёт гуще сеть.

Поля выхода: **order** - порядок Стралера (у истоков 1, при слиянии двух равных порядок растёт), **acc_out** - аккумуляция в замыкании звена, **length_m** - длина. Вершины линий идут вниз по течению, поэтому слой без подготовки подходит тальвегами в 2.03 и сравнивается с водотоками OSM из 2.02: наложение извлечённой сети на реальную - быстрая проверка качества ЦМР.

2.07 Бассейны и водоразделы

Делит территорию на бассейны стока, границы полигонов - водоразделы.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Входная ЦМР	Растр рельефа.	-
Точки замыкания	Точки-створы бассейнов. Пусто = бассейны от устьев по порогу.	пусто
Порог аккумуляции устья, ячеек	Порог для устьев, когда точки не заданы.	1000
Заполнить понижения перед расчётом	Гидрологическая коррекция до расчёта.	вкл.
Радиус притяжки точек, м (доп.)	Точка замыкания притягивается к максимуму аккумуляции в этом радиусе.	150
Epsilon уклона при заполнении, м (доп.)	Минимальный уклон на плоскостях.	0.001
Бассейны (полигоны)	Выход: полигоны с полями basin, area_m2.	-
Бассейны (растр меток)	Выход: растр целочисленных меток бассейнов.	-

Два режима. С **точками замыкания** каждая точка притягивается к ячейке с наибольшей аккумуляцией в радиусе притяжки (иначе точка, поставленная на глаз рядом с рекой, соберёт

крошечный склоновый бассейн) и собирает весь водосбор выше себя. Без точек бассейны строятся автоматически от устьев: ячеек, откуда поток покидает грид, с аккумуляцией не ниже порога. Ячейки, не попавшие ни в один бассейн, получают метку 0 и в полигоны не выводятся.

Поля выхода: **basin** - номер бассейна, **area_m2** - площадь по числу ячеек. Дополнительно можно записать растр меток. Разметка идёт прыжками указателей по графу стока, поэтому даже длинные извилистые водосборы считаются за доли секунды.

Поля исходного объекта переносятся в выход: выберите нужные в дополнительных параметрах, и в водосборе появятся название реки, номер створа или что там есть. Без этого в выходе остаётся только номер, и чей это водосбор, приходится искать в исходном слое. При совпадении имени к пришедшему полю добавляется префикс `src_`.

2.08 Уклон и экспозиция

Уклон в градусах и экспозиция по ядру Horn 3×3, как в `gdaldem`. Экспозиция - азимут направления спуска в градусах от севера по часовой стрелке: север 0, восток 90. У плоских ячеек экспозиция равна -1, чтобы не путать её с северной. Ячейки `nodata` и их соседи получают `nodata`: ядро 3×3 через дыры не считается.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Входная ЦМР	Растр рельефа.	-
Уклон, градусы	Выход: растр уклона (Horn 3x3, как <code>gdaldem</code>).	-
Экспозиция, градусы	Выход: азимут спуска, плоские участки = -1.	-

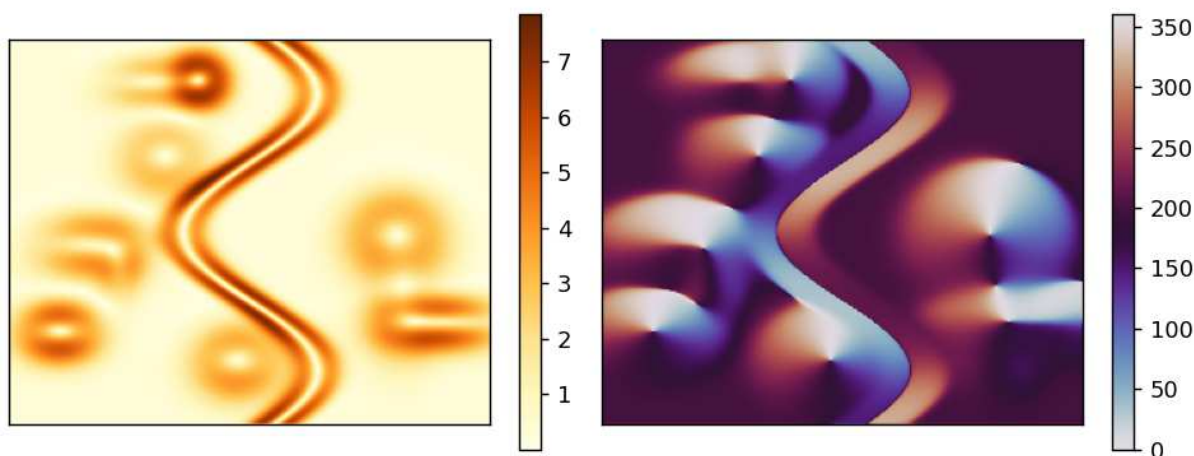


Рис. 20: Уклон (слева) и экспозиция (справа) демо-рельефа. Циклическая палитра экспозиции сшивает 0 и 360 градусов.

2.09 Вершины и ямы

Находит вершины: ячейки, самые высокие в квадратном окне заданного радиуса, с превышением над минимумом окна не меньше порога.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Входная ЦМР	Растр рельефа.	-
Радиус окна, м	Подавление второстепенных вершин в этом радиусе.	500
Минимальное превышение, м	Отсекает мелкие бугры ниже порога над окружением.	20
Вершины (точки)	Выход: точки с полями z, drop. Лекарство для макушек выше последней замкнутой горизонтали.	-

Два фильтра работают в паре. **Радиус окна** отсекает второстепенные макушки рядом с главной: из двух вершин ближе радиуса остаётся более высокая. **Минимальное превышение** отсекает кочки на равнине: локальный максимум, поднимающийся над окрестностью на метр, вершиной не считается. Плоские макушки дают одну вершину, а не россыпь.

Поля выхода: **z** - высота, **drop** - превышение над минимумом окна. Слой сравнивается с вершинами OSM из 2.02: совпадение отметок ele с высотами ЦМР - ещё одна быстрая проверка данных.

2.10 Демо-рельеф

Служебный генератор: синтетический рельеф из наклонной равнины, холмов и извилистой долины с постоянным падением. Рельеф детерминирован по зерну, между холмами осознанно остаются локальные понижения, чтобы инструменту заполнения было что показывать. Все иллюстрации этой главы построены на нём.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Ширина, ячеек	Размер демо-грида по X.	300
Высота, ячеек	Размер демо-грида по Y.	300
Размер ячейки, м	Шаг демо-грида.	30
Зерно генератора	Воспроизводимость случайного рельефа.	42
СК выхода (метрическая)	Система координат демо-растра.	EPSG:32640
Компактный int16 (доп.)	Целочисленный выход для поставки демо.	выкл.
Демо-рельеф	Выходной растр.	-
Точки створов (демо)	Три точки у тальвегов для инструмента 2.15.	создаётся
Трассы канав (демо)	Две ломаные поперёк тальвегов для инструмента 2.16.	создаётся
Доля площади под область работ (доп.)	Размер области под проектную площадку.	0.4
Сдвиг отметки площадки, м (доп.)	Уводит баланс в привозной или вывозной грунт.	0
Проектная поверхность (демо)	Пара к рельефу для инструмента 2.18.	выкл.
Участки работ (демо)	Три полигона для разбивки ведомости 2.18.	выкл.

Инструмент существует для примеров руководства, тестов и работы без сети. Живые данные

даёт 2.01. Флажок **Компактный int16** отдаёт растр в целых метрах для поставки демо-фрагментов.

Пара поверхностей для объёмов

Два выхода, по умолчанию выключенных, дают готовую пару для инструмента **2.18 Насыпи и выемки**: проектную площадку и полигоны участков работ. Площадка горизонтальная, снаружи области работ остаётся натуральный рельеф.

Отметка площадки берётся средним рельефа внутри области, и это не вкусовщина, а точный ответ. Объём есть сумма разностей, умноженная на площадь ячейки, и нетто обращается в ноль ровно тогда, когда отметка равна среднему. Медиана делит пополам ячейки, а не кубометры, и баланс при ней не сходится. Поэтому демо сразу даёт сошедшийся баланс, а сдвиг отметки в дополнительных параметрах уводит его в привозной или вывозной грунт: все три вердикта 2.18 проверяются в два прогона.

Вместе с рельефом выдаются три демо-точки створов и две демо-трассы канав: нагорная канава выше самого сильного тальвега и кювет ниже по склону, обе ломаные с изломом, чтобы проверялась и растеризация трассы с поворотом. Они ставятся у самых сильных тальвегов, разнесённых по гриду, и нарочно сдвигаются на несколько ячеек в сторону от водотока: так видно, как притяжка в инструменте 2.15 возвращает створ на водоток. Точки детерминированы тем же зерном, что и рельеф.

Овражно-балочная сеть

Флажок **Овражно-балочная сеть** врезает в рельеф тальвеги с крутыми бортами и отвершками, входящими под острым углом. Врез углубляется вниз по течению, как у настоящего оврага: вершина мелкая, устье глубокое.

Нужен этот режим для проверочных наборов. Узкий врез между соседними горизонталями это самое тяжёлое место для любой интерполяции: горизонтали его почти не описывают, и поверхность, построенная по ним, срезает овраг. На профиле поперёк это видно сразу, а инструменты 2.11 и 2.12 дают этому число.

Куда ложится демо

Если охват не задан, демо ложится к слоям проекта: их общий охват приводится к выбранной системе координат и берётся за место укладки. В пустом проекте деваться некуда, и демо создаётся в условном месте, одном и том же, чтобы примеры руководства воспроизводились. В местной системе координат, например рудничной, условное место оказывается далеко от рабочих данных, поэтому в пустом проекте задавайте параметр **Куда положить (охват)**: рельеф ляжет туда, а размер грида посчитается от охвата и размера ячейки.

2. Топография: диагностика и правка

2.11 Разделить горизонтали для проверки

Инструмент делит набор горизонталей на два: по одному строят рельеф, по второму проверяют результат. Нужен он затем, чтобы получить цифру, которую можно предъявить.

Зачем разделять

Соблазн проверить рельеф прост: взять исходные горизонтали, снять с построенной ЦМР значения в их точках и посчитать невязку. Цифра выйдет хорошая, но она измеряет не то, что кажется. Интерполятор эти точки видел, они были входными данными, и воспроизвести их он почти обязан. Это проверка воспроизведения входа, а не точности предсказания.

Настоящая проверка требует данных, которых модель не видела. Их и создаёт этот инструмент.

Почему делим по отметкам, а не по объектам

Убрать из построения отдельные звенья одной горизонтали бессмысленно: соседние звенья того же уровня подскажут ответ, и проверка окажется завышенной. Поэтому отложенный уровень исчезает целиком, со всеми своими звеньями. Восстановить его интерполятор может только по соседним уровням, а это и есть предсказание.

Крайние отметки набора всегда остаются в построении. За пределами набора интерполятор экстраполирует, и невязка там измеряла бы не то, ради чего проверка затевалась.

Что на выходе

Два слоя, **Горизонтالي для построения** и **Горизонтали для проверки**. Оба получают поле **hold**: 0 для построения, 1 для проверки. Инструмент **Невязка горизонталей против ЦМР** это поле узнаёт сам и печатает две цифры отдельно, поэтому проще подать ему объединённый набор, чем считать дважды.

Рабочий порядок

Разделить горизонтали. Построить рельеф по набору для построения, например через **Топо2Raster**. Измерить невязку по обоим наборам сразу. Сравнить две цифры.

Параметры

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Горизонтали (линии)	Исходный набор.	-
Поле отметки	Числовое поле высоты горизонталей.	-
Откладывать каждую N-ю отметку	Шаг прореживания по уровням. 4 означает, что в проверку уходит примерно четверть.	4
Сдвиг выбора (Доп.)	Смещает выбор уровней, чтобы прогнать проверку по разным подмножествам.	0

2.12 Невязка горизонталей против ЦМР

Инструмент измеряет, насколько построенная ЦМР воспроизводит исходные горизонтали. В точках вдоль горизонтали берётся значение раstra и сравнивается с отметкой самой горизонтали. Невязка положительна там, где ЦМР лежит ниже горизонтали.

Какие числа выдаются

Среднее это смещение: ненулевое означает, что поверхность в целом сдвинута по высоте. СКО и RMSE это разброс. Медиана модуля устойчива к единичным выбросам, максимум показывает худшее место на площади.

Отдельно считается доля точек, промахнувшихся больше чем на половину сечения рельефа. Это практическая величина: если она заметна, горизонталь, проведённая по такой ЦМР, встанет не там, где была исходная, и карта перестанет совпадать сама с собой.

Сечение рельефа инструмент определяет по набору отметок сам, как наименьшую разность между соседними уровнями. Если набор собран из разных источников, задайте сечение вручную.

Две цифры вместо одной

Если в слое есть поле **hold** от инструмента 2.11, невязка считается отдельно для построения и для проверки, и в журнал уходят обе строки. Первая говорит, как модель воспроизводит вход, вторая - как она предсказывает. Вторая всегда хуже первой, и это нормально. Смотреть надо на разрыв между ними: если он велик, модель хорошо запоминает и плохо обобщает, то есть форма рельефа между горизонталями восстанавливается неверно.

Без поля **hold** инструмент считает одну цифру и предупреждает в журнале, что это воспроизведение входа.

Отчёт

HTML-отчёт содержит таблицу чисел по наборам, гистограмму невязок с отмеченными границами в половину сечения, разброс средней невязки по отметкам и короткий разбор: есть ли систематическое смещение, велик ли разброс относительно сечения, заметна ли доля промахов, есть ли разрыв между воспроизведением и предсказанием.

Разброс по отметкам стоит смотреть внимательно. Если невязка растёт к вершинам или к тальвегам, это говорит о срезании форм, а не о случайном шуме.

Слой точек

Выдаётся точечный слой невязок с полями: **fid_src** (объект исходной горизонтали), **elev** (отметка), **z_dem** (значение ЦМР), **resid** и **abs_resid**, **hold**. Раскрасьте его по **resid** расходящейся шкалой - и места, где поверхность систематически уходит вниз или вверх, видны сразу, без всякой статистики.

Параметры

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Горизонтالي (линии)	Слой с отметками. Годится объединённый набор с полем hold .	-
Поле отметки	Числовое поле высоты.	-
ЦМР (построенный рельеф)	Растр, который проверяем.	-
Канал ЦМР (Доп.)	Канал раstra.	1
Шаг опробования вдоль горизонтали	0 - только вершины. Больше нуля добавляет точки на длинных прямых участках.	0
Выборка раstra (Доп.)	Билинейно или ближайший. Для гладкой поверхности точнее билинейно.	билинейно
Сечение рельефа (Доп.)	0 - определить по отметкам.	0
Точки невязок	Выходной точечный слой.	создаётся
Отчёт о невязках (HTML)	Таблица, гистограмма, разбор.	создаётся

2.13 Диагностика террасинга ЦМР

Инструмент ищет террасинг: характерную болезнь рельефа, построенного по горизонталям. Склон идёт ступенями, возле уровня горизонтали полка, между уровнями резкий сброс. На

отмывке это выглядит как свадебный торт, на профиле как лесенка. Уклоны в таком рельефе неверны, а расчёты стока по нему рвутся.

Два независимых признака

Вертикальная кривизна это вторая производная вдоль склона. У ступенчатой поверхности она даёт всплески на сбросах и почти нули на полках, а вся картина полосами повторяет рисунок горизонталей. Растр кривизны выдаётся на выход, и террасинг на нём виден глазами, без всякой статистики.

Притяжение отметок к уровням это прямая проверка по самим значениям, без производных. У здоровой поверхности отметки между соседними уровнями распределены более-менее равномерно, поэтому доля ячеек в узкой полосе вокруг уровня близка к ширине этой полосы, и отношение выходит около единицы. У террасированной поверхности отметки липнут к уровням, и отношение растёт.

Читается отношение так. Около единицы - признаков нет. Полтора - повод посмотреть растр кривизны глазами. Два и выше - террасинг.

Два признака стоит смотреть вместе. Кривизна убедительна визуально, но её всплески бывают и от настоящих форм рельефа, например от бровок. Притяжение к уровням даёт число, но не показывает, где именно нарушение. Вместе они отвечают и на вопрос «есть ли», и на вопрос «где».

Сечение рельефа

Инструмент считает фазу отметки внутри сечения, поэтому сечение ему необходимо. Его можно задать вручную или подать слой горизонталей: тогда берутся и сечение, и базовая отметка от реального набора. Второй путь надёжнее, если отметки не начинаются от круглого числа.

Плоские участки в счёт не идут

Ячейки с околонулевым уклоном исключаются из индекса притяжения. Порог задаётся долей сечения: ячейка не учитывается, если перепад высот на ней меньше сотой доли сечения. При сечении 0.5 м это 5 мм на ячейку. Параметр **Не учитывать ячейки с перепадом меньше, доля сечения** лежит в дополнительных, ноль его отключает.

Без этого отсева индекс искажается на любой реальной матрице с водоёмом. Отметки водной глади стоят на одном месте и все попадают в одну фазу внутри сечения, из-за чего распределение перекашивается, а индекс уезжает вниз и показывает ложное благополучие. На матрице, где водохранилище занимало 44.5 процента площади, индекс без отсева давал 0.50 вместо 0.97, а по одной суше выходило 1.00.

Доля исключённых ячеек печатается в журнал и попадает в отчёт. Это важно видеть: если инструмент выбросил половину площади, вы должны знать об этом, а не искать причину изменения результата самостоятельно.

Отчёт

HTML-отчёт содержит таблицу чисел и гистограмму фазы, то есть распределение отметок внутри сечения. Ровная гистограмма означает, что террасинга нет. Пик в нуле означает, что отметки собираются у уровней, и поверхность ступенчатая.

Чем лечить

Террасинг лечится структурными линиями (тальвеги, бровки, водоразделы) и уплотнением исходных данных, а не сглаживанием. Сглаживание уберёт ступени вместе с формами рельефа, и цифры станут лучше при том, что карта станет хуже.

Параметры

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
ЦМР (проверяемый рельеф)	Растр, который проверяем.	-
Канал ЦМР (Доп.)	Канал раstra.	1
Сечение рельефа	0 - взять из слоя горизонталей.	0
Горизонталы для определения сечения	Необязательный слой, из него берутся сечение и базовая отметка.	-
Поле отметки горизонталей	Числовое поле высоты.	-
Базовая отметка уровней (Доп.)	Отсчёт уровней, если сечение задано вручную.	0
Полуширина полосы вокруг уровня (Доп.)	Доля сечения. Ожидаемая доля равна удвоенному значению.	0.1
Вертикальная кривизна	Выходной растр.	создаётся
Отчёт о террасинге (HTML)	Таблица, гистограмма фазы, разбор.	создаётся

2.14 Снятие ступеней (сглаживание с ограничением)

Инструмент лечит террасинг: убирает ступени со склонов, не сдвигая сами горизонталы.

Как это возможно

Поверхность сглаживается итеративно, но каждой точке запрещено уходить от исходного значения дальше заданной доли сечения. По умолчанию это половина сечения, то есть ровно ошибка квантования: поверхность, построенная по горизонталям с шагом сечения, и так известна не точнее.

Отсюда два свойства, ради которых всё и делается. Метод не может выдумать формы тоньше, чем позволяет исходное сечение, потому что размах правки ограничен сверху. И он не может перекинуть точку через горизонталь, так как сдвиг меньше половины шага между уровнями.

На эталонном ступенчатом рельефе индекс притяжения падает с 5.00 до 1.13, а средняя ошибка против истинной поверхности с 1.25 м до 0.12 м.

Лечение самопроверяемое

Индекс притяжения к уровням считается до и после правки, обе цифры уходят в журнал вместе с наибольшим фактическим сдвигом поверхности. Если после лечения индекс остался выше двойки, инструмент прямо говорит, что ступени не ушли, и советует добавить итераций или проверить сечение.

Отчёт HTML содержит таблицу чисел до и после, две гистограммы фазы рядом и разбор. Это готовый документ для заказчика или рецензента: видно, что было, что стало и какой ценой.

Чего инструмент не делает

Он не возвращает того, чего в данных нет. Если узкий врез срезан при построении рельефа, сглаживание его не восстановит: правка ограничена половиной сечения, а врез глубже. На водной глади он тоже не поможет, там нужна маска, а не сглаживание.

Параметры

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
ЦМР со ступенями	Проверяемый растр.	-
Канал ЦМР (Доп.)	Канал растра.	1
Сечение рельефа	0 - взять из слоя горизонталей.	0
Горизонталы для определения сечения	Необязательный слой, из него берётся шаг.	-
Поле отметки горизонталей	Числовое поле высоты.	-
Итераций сглаживания	Больше значит глаже. Полсотни хватает почти всегда.	50
Допустимый сдвиг, доля сечения (Доп.)	Ноль запрещает правку вовсе.	0.5
Рельеф без ступеней	Выходной растр.	создаётся
Отчёт до и после (HTML)	Таблица, гистограммы, разбор.	создаётся

2. Топография (продолжение)

2.15 Отчёт по створу

Инструмент считает морфометрию водосбора от **створа** - точки замыкания на водотоке. Это классическая задача инженерной гидрологии и изысканий: характеристики бассейна от заданной точки. Инструменты 2.05 - 2.07 дают сток, речную сеть и бассейны по территории в целом, а 2.15 отвечает на вопрос про конкретный створ.

Поля исходного объекта переносятся в выход: выберите нужные в дополнительных параметрах, и в водосборе появятся название реки, номер створа или что там есть. Без этого в выходе остаётся только номер, и чей это водосбор, приходится искать в исходном слое. При совпадении имени к пришедшему полю добавляется префикс `src_`.

Как это работает

Каждая точка створа притягивается к ячейке с наибольшей аккумуляцией в радиусе притяжки, поэтому створ можно ставить на глаз рядом с тальвегом, а не попадать в ячейку водотока мышью. От притянутой ячейки собирается полный водосбор, по нему считается зональная статистика, а главный водоток трассируется вверх по решётке: из каждой ячейки шаг в соседа с наибольшей аккумуляцией, до ячейки без притоков.

Водосборы соседних створов на одном водотоке вкладываются друг в друга: каждый створ получает свой полный бассейн, а не остаток после вышележащего. Это отличает 2.15 от 2.07, где территория делится на непересекающиеся бассейны.

Что считается

Показатель	Поле	Единицы
Площадь бассейна	area_km2	км ²
Средняя высота	z_mean	м
Минимальная высота	z_min	м
Максимальная высота	z_max	м
Средний уклон бассейна	slope_deg	градусы (Horn 3x3)
Отметка створа	z_gauge	м

Показатель	Поле	Единицы
Длина главного водотока	stream_km	км
Падение водотока	fall_m	м
Средний уклон водотока	slope_ppm	промилле
Ячеек в бассейне	cells	шт.

Величина, которую посчитать не из чего, пишется пустым значением, а не нулём: ноль это измерение, пусто это его отсутствие.

Параметры

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Входная ЦМР	Рельеф в метрах в метрической СК.	-
Точки створов	Точечный слой, по точке на створ.	-
Радиус притяжки, м (доп.)	Окно поиска максимальной аккумуляции.	150
Заполнить понижения	Подготовка рельефа перед расчётом стока.	вкл.
Epsilon уклона, м (доп.)	Наклон засыпки при заполнении.	как в 2.04
Водосборы створов (полигоны)	Полигоны с атрибутами по таблице выше.	создаётся
Отчёт по створам (HTML)	Таблица на каждый створ.	создаётся

Ключевые цифры по каждому створу дублируются в журнал Processing двумя строками, чтобы результат читался без открытия таблицы атрибутов.

Быстрая проверка на демо

Запустите **2.10 Демо-рельеф**: кроме растра он выдаст слой **Точки створов (демо)** - три точки у тальвегов, сдвинутые в сторону от водотока. Подайте рельеф и эти точки в 2.15 с радиусом притяжки по умолчанию. Полигоны лягут по водоразделам, а в отчёте у створов одного водотока совпадёт падение и будет расти уклон вверх по течению.

Границы применимости

Инструмент считает морфометрию бассейна и только её. Расходы, модули стока, гидравлика и снеготаяние сознательно не входят в задачу: это расчётная гидрология по нормативам, отдельная тема. Единицы предполагаются метрическими, ЦМР в метрах в метрической системе координат.

Водосборы строятся по топологии рельефа. На территориях без чётких границ стока - плоских поймах, при гидравлических перетоках и подпорах - результат следует проверять гидродинамическим моделированием.

Расчёт по СП 33-101-2003

Гидрологи считают сток по нормативной методике, и две величины в ней определяются формулами, которые не совпадают с физическими. Параметр **сечение горизонталей** включает их расчёт, ноль отключает.

Средний уклон склонов Иск считается по формуле

$$I_{ск} = h \cdot \Sigma l_i / (2A),$$

где h - сечение горизонталей, Σl_i - суммарная длина горизонталей в пределах водосбора, A - его площадь. Горизонталы ради этого не строятся: длина считается подсчётом переходов через уровень между соседними ячейками и выводится в поле **sp_iso_km**.

$I_{ск}$ это не физический уклон. На плоскости формула даёт половину тангенса, потому что двойка в знаменателе учитывает двусторонность склонов: вода стекает к водотоку с обоих бортов долины. Величина осмысленна только внутри методики СП, поэтому лежит отдельным полем рядом с физическим уклоном, а не вместо него.

Средневзвешенный уклон водотока считается как произведение частных уклонов участков между точками перегиба профиля, каждый в степени доли своей длины. На ровном профиле совпадает с простым падением на длину, на ломаном даёт меньше: река с крутым верховьем и пологим низовьем одним отношением не описывается.

Для сравнения в выходе остаются и физические величины: **slope_deg** - средний уклон ячеек по методу Хорна, **stream_ppm** - падение водотока, делённое на его длину.

2.16 Водосбор. Линии и контуры (канавы, карьеры)

Инструмент считает площадь водосбора приёмника: нагорной канавы, лотка, кювета дороги или контура карьера. Вопрос ставится так: какую площадь перехватывает приёмник, если самого приёмника на ЦМР ещё нет.

Поля исходного объекта переносятся в выход: выберите нужные в дополнительных параметрах, и в водосборе появятся название реки, номер створа или что там есть. Без этого в выходе остаётся только номер, и чей это водосбор, приходится искать в исходном слое. При совпадении имени к пришедшему полю добавляется префикс **src_**.

Как это работает

Врезать трассу в рельеф для этого не нужно. Трасса растеризуется в ячейки грида, все они берутся приёмниками, и водосбор собирается как множество ячеек, чей путь стока приходит в любую ячейку трассы. Трасса может быть ломаной, может пересекать водораздел, может выходить за рамку ЦМР - наружная часть просто не участвует.

Растеризация идёт с шагом поля ячейки, поэтому на изломах и диагоналях трассы нет пропусков, через которые вода «протекала» бы мимо приёмника.

Водосборы соседних трасс вкладываются друг в друга: нижняя по склону канава получает и то, что перехватывает верхняя. Это то же поведение, что у створов в 2.15, и оно правильное - каждая трасса получает свой полный водосбор, а не остаток.

Контур вместо линии

Входом принимаются и линии, и полигоны. Полигон считается приёмником целиком: и контур, и вся площадь внутри.

Для карьера это принципиально. Внутри он депрессия, после заполнения понижений направления стока там становятся условными - порядок обхода плоской залитой поверхности назначает их произвольно. Если приёмником взять только линию борта, часть внутренних ячеек «стечёт» мимо неё по этим условным направлениям и утащит за собой внешние. Опора на всю внутренность снимает вопрос: что бы ни творилось с направлениями в яме, вся её площадь уже в водосборе, а снаружи вода трассируется по реальному рельефу.

Внутренние кольца полигона входят в приёмник наравне с остальной площадью - внешнего рельефа внутри контура нет. Мультиполигон обрабатывается по частям. Обводить борт линией больше не нужно, подаётся готовый контур.

Врезка трассы

Отдельная галочка **Врезать трассу в рельеф** отвечает на другой вопрос: удержит ли канава поток, если она мельче местных форм рельефа. Врезка опускает рельеф вдоль трассы на заданную глубину, и дальше сток считается уже по изменённому рельефу.

Врезка меняет гидрологию намеренно, поэтому по умолчанию выключена, а результат зависит от заданной глубины. Факт врезки и глубина печатаются в журнал и попадают в HTML-отчёт, чтобы цифру нельзя было принять за расчёт по исходному рельефу.

Что считается

Показатель	Поле	Единицы
Площадь водосбора	area_km2	км ²
Средняя высота	z_mean	м
Минимальная высота	z_min	м
Максимальная высота	z_max	м
Средний уклон водосбора	slope_deg	градусы (Horn 3x3)
Длина трассы или контура	trace_km	км
Площадь приёмника	seed_km2	км ²
Ячеек приёмника	trace_cells	шт.
Ячеек в водосборе	cells	шт.

Параметры

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Входная ЦМР	Рельеф в метрах в метрической СК.	-
Трассы и контуры	Линии или полигоны, по объекту на приёмник.	-
Все объекты как один водосбор	Общий водосбор вместо отдельных.	выкл.
Врезать трассу в рельеф	Проверка удержания потока.	выкл.
Глубина врезки, м (доп.)	Насколько опустить рельеф вдоль трассы.	2.0
Заполнить понижения	Подготовка рельефа перед расчётом стока.	вкл.
Epsilon уклона, м (доп.)	Наклон засыпки при заполнении.	как в 2.04
Водосборы трасс (полигоны)	Полигоны с атрибутами по таблице выше.	создаётся
Отчёт по трассам (HTML)	Таблица на каждую трассу.	создаётся

Быстрая проверка на демо

2.10 Демо-рельеф выдаёт слой **Трассы канав (демо)**: нагорную канаву выше сильного тальвега и кювет ниже по склону, обе ломанные с изломом. Подайте рельеф и этот слой в 2.16. Водосбор должен лечь выше трасс по стоку и упереться в водоразделы, а не в рамку грида.

Границы применимости

Инструмент отвечает на вопрос о площади, а не о расходе. Расходы, модули стока и пропускная способность канавы - расчётная гидрология по нормативам, и в задачу не входят. Единицы предполагаются метрическими.

Водосборы строятся по топологии рельефа. На территориях без чётких границ стока - плоских поймах, при гидравлических перетоках и подпорах - результат следует проверять гидродинамическим моделированием.

2.17 Отчёт по готовому водосбору

Инструмент считает морфометрию по **готовым** полигонам водосборов: площадь, среднюю и крайние отметки, средний уклон бассейна, длину главного водотока и падение.

Он нужен там, где водосбор уже есть: нарисован руками, взят из чужого проекта, посчитан другой программой. Границы не пересчитываются - расчёт идёт по тому полигону, который подали, иначе ответ был бы про другой водосбор.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Входная ЦМР	Растр отметок, по которому считаются характеристики.	-
Полигоны водосборов	Готовые контуры, по которым считать.	-
Точки замыкания	Створы. Пусто - точка берётся по наибольшей аккумуляции внутри полигона.	пусто
Считать длину водотока и падение	Требуется трассировки по ЦМР и заметно дороже остального.	включено
Радиус притяжки точек (доп.)	Двигает створ к ячейке с наибольшей аккумуляцией поблизости.	0
Заполнить понижения (доп.)	Без заполнения вода останавливается в локальных ямах ЦМР.	включено
Водосборы с характеристиками	Выход: те же полигоны с дописанными полями.	-

Точка замыкания

Длина водотока и падение отсчитываются от точки, куда стекает вода. При построении водосбора она известна из створа, а у готового полигона её нет.

Если точки заданы, берутся они: створ ищется внутри каждого полигона. Если не заданы, берётся ячейка с наибольшей аккумуляцией внутри контура.

Именно с наибольшей аккумуляцией, а не самая низкая. Низшая точка может оказаться в яме внутри площади или на краю, задевшем соседнюю долину, и водоток потянулся бы не туда. В поле **outlet** записано, какой способ сработал для каждого полигона.

Водоток обрезается границей полигона: длина считается внутри заданного водосбора, а не по всей трассе, которая может уйти за его пределы.

Поля исходных полигонов сохраняются, расчётные дописываются к ним. При совпадении имени к расчётному полю добавляется суффикс.

Расчёт по СП 33-101-2003

Гидрологи считают сток по нормативной методике, и две величины в ней определяются формулами, которые не совпадают с физическими. Параметр **сечение горизонталей** включает их расчёт, ноль отключает.

Средний уклон склонов **Иск** считается по формуле

$$I_{ск} = h \cdot \sum l_i / (2A),$$

где h - сечение горизонталей, $\sum l_i$ - суммарная длина горизонталей в пределах водосбора, A - его площадь. Горизонталю ради этого не строятся: длина считается подсчётом переходов через уровень между соседними ячейками и выводится в поле **sp_iso_km**.

Иск это не физический уклон. На плоскости формула даёт половину тангенса, потому что двойка в знаменателе учитывает двусторонность склонов: вода стекает к водотоку с обоих бортов долины. Величина осмысленна только внутри методики СП, поэтому лежит отдельным полем рядом с физическим уклоном, а не вместо него.

Средневзвешенный уклон водотока считается как произведение частных уклонов участков между точками перегиба профиля, каждый в степени доли своей длины. На ровном профиле совпадает с простым падением на длину, на ломаном даёт меньше: река с крутым верхом и пологим низом одним отношением не описывается.

Для сравнения в выходе остаются и физические величины: **slope_deg** - средний уклон ячеек по методу Хорна, **stream_ppm** - падение водотока, делённое на его длину.

2.18 Насыпи и выемки (объёмы работ)

Инструмент считает объёмы земляных работ между двумя поверхностями: что насыпано, что снято и сходится ли баланс. Он нужен везде, где есть съёмка до и после или проектная поверхность: площадка под планировку, отвал, карьер, заиливание пруда, оседания земной поверхности.

Формула проста до неприличия: разность отметок по ячейкам, умноженная на площадь ячейки. Вся сложность лежит не в ней, а вокруг неё, и об этом остальные разделы.

Знак и поверхность сравнения

Разность считается «стало минус было». Положительная разность это насыпь, материал добавлен. Отрицательная это выемка, материал снят. В ArcGIS в инструменте Cut/Fill знак обратный, при сверке цифр это стоит помнить.

Поверхность сравнения задаётся растром или, если её нет, одной отметкой числом. Отметка удобна для площадки под планировку и для подсчёта от уреза воды: подавать растр постоянной высоты ради этого не нужно.

Приведение к одной сетке

Две матрицы почти никогда не лежат на одной сетке. Хозяином сетки берётся первая поверхность, вторая приводится к ней билинейно. Ближайший сосед здесь не годится: он возвращает ступени, ровно те, что ловит диагностика террасинга. За краем данных объём не считается, высоты не экстраполируются.

В журнал печатаются начало сетки, шаг и число ячеек обеих матриц, а также было ли приведение. Это не украшение, а рабочий инструмент, см. следующий раздел.

Почему цифры расходятся с другими программами

Почти никогда не из-за формулы. Билинейное приведение объём сохраняет: веса билинейки в сумме дают единицу, поэтому сдвиг сетки сам по себе ничего не меняет. Это закреплено тестом.

Расхождение даёт состав ячеек: чуть иначе обрезанная рамка, другая маска, полшага на границе участка работ. Поэтому при сверке с Civil, Кредо или любой другой программой сначала сравнивайте описание сетки из журнала и число учтённых ячеек, и только потом объёмы. В девяти случаях из десяти на этом разбирательство и заканчивается.

Мёртвая зона

Две поверхности, полученные разными способами, всегда шумят на сантиметры. Без отсечки весь этот фон попадает то в насыпь, то в выемку и завышает обе величины, не меняя нетто.

Мёртвая зона задаётся в метрах: ячейки, где модуль разности меньше этого числа, считаются неизменными. По умолчанию отсечки нет. Задавайте её осознанно и указывайте в отчёте: она входит в ведомость отдельной строкой именно для этого.

Участки и баланс

Полигоны участков считаются отдельно, каждый со своими числами. Поле названия участка может быть числовым или текстовым. В ведомости по участкам есть строка итога, и она должна сходиться с шапкой: это простая и надёжная проверка того, что растеризация участков не потеряла и не задвоила ячейки.

Вердикт по балансу смотрит на долю нетто в обороте, а не на его величину. Сто кубов невязки при обороте в сто тысяч это баланс, а при обороте в двести кубов это вывоз половины. Допуск задаётся долей оборота, по умолчанию пять процентов.

Выходы

Растр разности в метрах, положительное это насыпь. Ведомость HTML с итогом, разбивкой по участкам и описанием сетки. Слой **Участки с объёмами**: те же полигоны, что подали на вход, плюс объёмы в атрибутах (fill_vol, cut_vol, net_vol, площади, наибольшие отметки, число ячеек и вердикт). Ведомость нужна для согласования, а подписать участки прямо на карте можно только атрибутами, поэтому выход отдельный.

Флажок **Обрезать растр разности по участкам** гасит разность за контуром работ. За контуром она складывается из шума съёмки, а растянутая на неё цветовая шкала прячет то, ради чего растр и смотрят. На числа обрезка не влияет: статистика считается до неё, и в ведомости остаются оба итога, по всей площади и по участкам.

Линия нулевых работ отдельным инструментом не строится, и это осознанно: это изолиния нуля по растру разности, стройте её инструментом **1.04 Изолинии из растра**.

Параметры

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Поверхность «стало»	Проектная или новая съёмка. Задаёт сетку.	обязательна
Поверхность «было»	Исходная съёмка. Пусто - сравнение с отметкой.	пусто
Отметка сравнения, м	Работает, когда растра «было» нет.	0
Участки работ (полигоны)	Разбивка ведомости по участкам.	пусто
Поле названия участка	Числовое или текстовое.	пусто
Мёртвая зона по высоте, м	Отсечка фонового шума.	0
Обрезать растр разности по участкам	Гасит разность за контуром. На числа не влияет.	выкл.
Участки с объёмами (полигоны)	Полигоны участков с объёмами в атрибутах.	создаётся
Допуск баланса (доп.)	Доля оборота для вердикта.	0.05
Растр разности	Выходной растр, насыпь положительна.	создаётся
Ведомость объёмов (HTML)	Отчёт с итогом и участками.	создаётся

Быстрая проверка на демо

2.10 Демо-рельеф выдаёт готовую пару: включите выходы **Проектная поверхность (демо)** и **Участки работ (демо)**. Подайте площадку как «стало», рельеф как «было», участки полигонами. Насыпь и выемка обязаны выйти равными число в число, нетто нулевым, вердикт про сошедшийся баланс. Сдвиг отметки площадки в дополнительных параметрах 2.10 уводит баланс в привозной или вывозной грунт, так что все три вердикта проверяются в два прогона.

Совпадение насыпи с выемкой при нулевом сдвиге это ещё и независимая проверка самого инструмента: ошибка в формуле или в приведении сеток здесь бы и вылезла.

Границы применимости

Объём геометрический. Разрыхление, уплотнение и послойные грунты здесь не применяются, это работа проектировщика.

Точность у границы работ определяется размером ячейки: объём вдоль контура всегда смещён на величину порядка полуячейки на погонный метр границы. На мелком контуре при крупной ячейке это смещение может превысить сам объём, поэтому мелкие площадки считайте на сетке, соразмерной их размеру.

Инструмент не строит откосы с заложением, бермы, послойные ведомости и не сажает проектную поверхность на рельеф. Это работа систем автоматизированного проектирования.

2.19 Кандидаты бровок и подошв

Находит места, где уклон меняется быстрее всего, и трассирует их в линии: бровки и подошвы уступов, борта карьеров, кромки насыпей и врезов.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Входная ЦМР	Растр рельефа по грунту, не DSM. Ячейка из плотности съёмки: 20-25 см при 20 точках на квадратный метр.	-
Минимальный перепад, м	Отсечка шума: гребень признака обязан набрать этот перепад рельефа в базе замера.	0.5
Минимальная длина линии, ячеек	Отсекает обрывки.	10
База замера перепада, ячеек (Доп.)	Полуширина окна, в котором меряется перепад поперёк линии.	8

Признак излома - это градиент уклона, а не уклон. На ровном откосе, даже отвесном, уклон постоянен и признак мал. Признак велик там, где уклон меняется, то есть на самой бровке и на самой подошве. Знак профильной кривизны делит найденные линии: выпуклый излом даёт бровку, вогнутый подошву, и это уходит в поле **kind** значениями brow и toe.

Излом без перепада не излом. Гребень признака отбрасывается до всяких порогов, если в его окрестности нет заданного перепада рельефа. Шум плотной съёмки в сантиметры не набирает его никогда, окрестность настоящей бровки набирает всегда. Это главный фильтр, и он физический, а не статистический: пороги внутренней математики подбираются сами и наружу не вынесены.

Перепад меряется в базе замера, а не по всей ширине уступа. Это первое, обо что спотыкаются: у десятиметрового уступа при базе в три ячейки поле **drop** покажет три метра,

а не десять. База по умолчанию 8 ячеек в каждую сторону, на метровой ячейке это ± 8 м, чего хватает на карьерный уступ. Ширина откоса известна вам, а не инструменту, поэтому базу задавайте по ней. В журнал база печатается и в ячейках, и в метрах.

Поля выхода: **kind**, **drop** (перепад, м), **length_m**, **slope_deg** (средний уклон сторон). Слой приходит раскрашенным по перепаду, бровки тёплым, подошвы холодным. Классы появляются, только когда перепад действительно разный: на карьере с одинаковыми уступами разброс единицы процентов, и деление на классы резало бы шум, поэтому там остаётся один класс на вид.

Порог значимости остаётся человеку. Формального признака бровки не существует, распознавание держится на опыте топографа. Существует перепад, который вы готовы считать уступом, и он разный на карьере, дорожной насыпи и береговом уступе. Поэтому инструмент нарочно отдаёт больше, чем нужно, вместе с числами для отбора, а в журнал печатает проценты перепада - готовую подсказку, где резать. Отбирайте фильтром слоя по полю drop, глядя на карту: пересчитывать при этом ничего не надо.

2.20 Бровки и подошвы в работу

Превращает линии бровок и подошв в рабочие структурные линии: снимает отметки с ЦМР, собирает формы бровка-подошва и раскладывает их по двум слоям.

Сценариев два, и второй важнее первого. Первый очевиден: линии пришли из 2.19 по плотной съёмке. Второй - линии уже есть в топографическом комплекте, где бровки описываются обязательно и своими кодами классификатора. Детектор там не нужен вовсе, а нужно ровно то, что делает этот инструмент: вид линии закодирован, а какая бровка с какой подошвой образуют форму - нет, и связь приходится собирать. Таких комплектов много, а плотных съёмок мало.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Кандидаты (выход 2.19)	Линейный слой с полем вида. - Годится и слой бровок с подошвами из топографического комплекта.	
ЦМР	Та же, что подавалась в 2.19.	необязательно
Поле вида	Поле со значениями brow и toe.	kind
Отсечка по перепаду, м	Повторяет фильтр 2.19, чтобы не заводить отдельный отфильтрованный слой.	0 (взять всё)
Предел пути спуска, м	Дальше этого спуск прекращается, и бровка уходит в непарные.	50
Доля согласных проб (Доп.)	Ниже этой доли форма не собирается.	0.4

Формы собираются спуском по склону, а не по близости. От пробных вершин бровки идёт спуск по направлениям стока, пока не встретится подошва, и подошвы голосуют. Так работает физика уступа: вода с бровки скатывается по откосу ровно к его подошве. На кривом борту с узкими бермами ближайшая по расстоянию подошва часто принадлежит соседнему уступу, и выбор по близости ошибается там, где спуск прав. Предел пути держите близким к заложению откоса: слишком большой предел позволит бровке добежать до чужой подошвы и составить с ней правдоподобную ложную пару.

ЦМР необязательна, и это важнее, чем кажется. Спуск по склону отвечает на один вопрос: где низ. Когда у линий есть собственные отметки (выход 2.22), ответ уже в данных, и

рельеф не нужен: подошвой считается ближайшая линия, лежащая ниже бровки.

Без этого топографический сценарий ходил по кругу. Чтобы построить рельеф формами, нужны пары, а чтобы собрать пары спуском, нужен рельеф - которого ещё нет, его как раз и строят. Приходилось делать черновой проход 2.03 по одним горизонталям, зная, что внутри карьера он неверен. Теперь порядок прямой: 2.22 даёт отметки, 2.20 без ЦМР собирает пары, 2.03 строит поверхность.

С ЦМР работает прежний спуск, и на кривом борту с узкими бермами он точнее: там ближайшая по расстоянию подошва часто принадлежит соседнему уступу.

Форма это одна подошва и множество бровок при ней. Трассировка режет длинную бровку на куски: съезд разрывает контур, признак прерывается на пологих участках. Все куски спускаются к той же подошве, поэтому результат группируется по подошве, а не выписывается парами: подошва попадает в выход один раз, а её бровки получают общее поле **link**. Это тот же взгляд, что и в построении поверхности между структурными линиями, где стороны - множества, а не отдельные линии.

Непарные линии не пропадают молча. Третий слой собирает их с причиной в атрибуте: спуск не дошёл до подошвы (мал предел пути или бровка ложная) либо спуск разошёлся по разным подошвам (линия склеила два уступа). Наименьшая доля согласных проб печатается в журнал и служит указателем на такую склейку.

Выходы **Верх** и **Низ** идут LineStringZ с полями kind и link, отметки сняты с ЦМР в геометрию. Это готовые входы для построения поверхности и для выгрузки трёхмерными линиями в АвтоКАД и Кредо.

2.21 Пример карьера (демо)

Строит демо-карьер и, что важнее, истинные структурные линии к нему. Пара растр-линии служит эталоном для 2.19, входом для построения поверхности и учебным примером, и всё это без закрытых данных.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Ширина, Высота, ячеек	Размер грида.	400 x 300
Размер ячейки, м	Шаг грида.	1
Зерно генератора	Повторяемость: одно зерно - один и тот же карьер.	7
СК выхода	Метрическая. При местной СК проекта выбирайте её же.	EPSG:32640
Число уступов	Сколько уступов в борту.	3
Высота уступа, м (Доп.)	Превышение одного уступа.	10
Шум съёмки, м (Доп.)	Имитация погрешности плотной съёмки.	0.03
Отвал, Сходящаяся канава (Доп.)	Дополнительные формы.	включены
Куда положить (охват)	Кладёт демо на место, размер не меняет.	по слоям проекта

Состав рельефа подобран так, чтобы каждая форма проверяла свою сторону детектора. Эллиптический карьер с уступами и бермами даёт правильные пары. Съезд, прорезающий уступы, даёт **настоящий разрыв**: на его дуге истинные линии обрываются, и кандидаты обязаны обрываться там же. Отвал с плоским верхом даёт замкнутую пару. Сходящаяся нагорная канава даёт три линии, сходящиеся в точку, - тот случай, где вес поверхности между линиями вырождается, а отметка остаётся верной.

Охват кладёт демо на место и не меняет его размер. Формы карьера физичны: уступ 10 м при откосе 7 м. Растянутый до километров карьер превращается в блин, на котором

детектору нечего искать, поэтому размер задают только «Ширина» и «Высота». И отдельно про систему координат: если у проекта она местная или неизвестная, выберите её же в «СК выхода». Пересчёт охвата из неизвестной системы в UTM даёт бессмыслицу, и демо уедет неизвестно куда.

Второй выход, **истинные линии**, несёт поля kind (brow, toe, thalweg) и link, а отметки лежат в геометрии Z. По нему полнота и точность детектора меряются числом, а не глазами: положите кандидатов из 2.19 поверх истинных линий и посмотрите, где они разошлись.

2.22 Профилирование откосов

Даёт немой линиям профиль по горизонталям, которые к ним примыкают.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Линии без отметок	Бровки и подошвы из комплекта или из 2.20.	-
Горизонтали	Слой горизонталей того же комплекта.	-
Поле высоты горизонталей	Атрибут отметки. Пусто - Z вершин.	ELEV
Допуск примыкания, м	Насколько конец горизонтали может не дойти до линии.	0.5

Откуда берутся отметки. У бровки в топографическом чертеже своей отметки нет, и это долго выглядело тупиком. Но норматив требует доводить горизонтали до линии описания объекта с **формированием узловых точек**, и каждая такая точка несёт отметку своей горизонтали. Отсюда профиль всей линии: переменная отметка из самих данных, а не одно число на весь объект.

Важная поправка, стоившая одной редакции постановки: горизонталь **не идёт по бровке**. По откосам горизонтали режутся, и та единственная, что легла вдоль бровки, ложится так лишь при совпадении отметки с сечением, то есть случайно. Работает именно примыкание, а не совпадение.

Что считается встречей. Пересечение линии с горизонталью насквозь и конец горизонтали в пределах допуска. Между встречами отметка интерполируется по дуге линии, за крайними держится постоянной: экстраполировать уклон вдоль бровки опасно, он часто ломается на поворотах.

Честность результата. Метод работает ровно настолько, насколько комплект топологически согласован. Если горизонтали до линии не доведены, линия остаётся немой и уходит в отдельный слой с причиной. Число опорных точек пишется в атрибут n_samples и в журнал медианой и минимумом: одна точка означает постоянную отметку по всей линии, и это видно сразу.

Место в конвейере. Выход - LineStringZ, готовая сторона формы для входов **Верх форм** и **Низ форм** инструмента 2.03. Вместе с 2.20, который собирает пары и заполняет поле связи, это замыкает топографический сценарий: площадные карьеры, выемки, насыпи и отвалы, где горизонтали внутри по нормативу не описываются, получают поверхность из одних бровок и подошв.

3. Дополнительные инструменты анализа

Высотные отметки как второй источник

Топоплан, пришедший из Автокада, часто не несёт Z у бровок и откосов: топограф ставит отметки отдельными точками, а линии оставляет плоскими. Поэтому вторым источником идут **высотные отметки**.

Точка линию не пересекает, значит встречей считается близость: точка не дальше допуска примыкания даёт опорную отметку на своей дуговой координате. Дальше всё как с горизонталями - профиль строится по всему ряду опорных точек.

Куда ставятся вершины

Отметка живёт в вершине, а встречи случаются где придётся, поэтому вершины приходится добавлять. Правило такое.

Если вершина уже стоит рядом со встречей, ближе допуска привязки, новая не добавляется. Вместо этого встреча относится к существующей вершине: отметка задаётся в ней точно, а число узлов линии не растёт.

Если ближайшая вершина дальше, вершина вставляется в точке встречи.

Вставки прореживаются наименьшим шагом: две подряд не ближе заданного расстояния. На густых горизонталях без этого линия обрастает узлами гуще, чем нужно рельефу. Проба, которой не досталось вершины, при этом не пропадает - профиль считается по всему ряду проб, и соседние вершины к ней тянутся.

3.01 Категориальный индикаторный кригинг

Инструмент **Категориальный индикаторный кригинг** строит карту вероятности по категориальному полю: минеральному типу, литотипу, любому текстовому классу. В отличие от обычного кригинга, который интерполирует величину, здесь оценивается, насколько вероятен каждый класс в каждой точке площади. Это нужно там, где важна не величина, а принадлежность к типу: где ожидать замещение, где сменяется состав пласта, где проходит граница между разностями.

Параметры:

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Точечный слой	Исходные точки.	-
Категориальное поле (класс)	Поле класса (минтип, литотип). Пустые и NULL не идут.	-
Радиус поиска, мин./макс. точек, размер ячейки, охват	Поиск и сетка - как в «2D Kriging».	как у «2D Kriging»
Доля самородка	Доля самородка в подобранной вариограмме, от 0 до 1. Пусто - как подобралось.	пусто
Вероятности по классам (многополосный)	Растр: одна полоса на класс, имя класса в описании полосы.	-
Карта зон (самый вероятный класс)	Растр кода самого вероятного класса, соответствие кодов в Журнал.	-

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Уверенность (макс. вероятность)	Растр максимума вероятности: где класс уверенный, где спорный.	необязательный
Уровни вероятности	Уровни для векторных границ, доли от 0 до 1.	0.25 0.5 0.75
Класс для контуров	Имя класса ровно как в поле классов. Пусто = все классы.	пусто
Бикубическое сглаживание границ (доп.)	Сгущение грида перед контурингом, как в 1.04.	×2
Скругление границ (Chaikin), итераций (доп.)	Дополнительное лёгкое скругление.	2
Границы уровней вероятности (линии)	Линии уровней с классом и уровнем.	необязательный
Полосы вероятности (полигоны)	Полосы между уровнями с готовой раскраской.	необязательный

Обрезка по маске такая же, как в 1.02: полигон из проекта либо выпуклая оболочка точек с буфером. Маска применяется ко всем трём выходам - вероятностям, зонам и уверенности.

Как считается

Кодировать классы числами 1, 2, 3 и интерполировать этот код нельзя. У категорий нет порядка, класс 3 не «дальше» класса 1, и среднее между ними бессмысленно. Поэтому инструмент идёт индикаторным путём. На каждый класс строится индикатор: единица там, где скважина этого класса, ноль везде иначе. Каждый индикатор кригуется отдельно ординарным кригингом, как обычное поле, и даёт поверхность от нуля до единицы, это и есть вероятность класса. Вариограмма индикатора подбирается автоматически сферической моделью по экспериментальной.

Раздельные индикаторы в сумме не дают ровно единицу и могут немного выходить за диапазон, это известное свойство метода. Поэтому оценка каждого класса обрезается в ноль один, а затем вероятности по классам нормируются так, чтобы в каждой ячейке их сумма равнялась единице.

Когда скважина не попала в свою зону

Обычная жалоба: скважина опасного класса нарисовалась вне опасной зоны. Это не сбой подбора, а свойство самородка, и разобраться в нём стоит до того, как крутить остальные параметры.

Ровно в точке замера кригинг точен при любом самородке: оценка в узле, который лёг на устье, равна самому индикатору. Но узел сетки почти никогда не садится на устье. При ненулевом самородке поверхность около точки терпит разрыв, и уже в нескольких метрах от скважины оценка проваливается к местному среднему. На синтетическом примере с самородком 0.5 в пяти метрах от одиночной скважины класса «В» вероятность падает до 0.47, то есть под порог 0.5, а при обнулённом самородке остаётся 0.97.

Отсюда параметр **Доля самородка**. Пустое поле оставляет автоподбор как есть. Ноль делает поверхность гладкой у данных, и скважина удерживает свой класс в своей ячейке. Общая дисперсия при переносе доли сохраняется, меняется только гладкость, поэтому масштаб вероятностей не плывёт. Подобранные доли по классам печатаются в Журнал, так что сначала имеет смысл просто посмотреть на них: большой самородок означает, что классы перемешаны на коротких расстояниях, и это содержательный факт о данных, а не помеха.

Обнулять самородок нужно с открытыми глазами. Он не выдумка подбора: он измеряет, насколько соседние скважины расходятся в классе. Ноль означает решение считать каждый

Индикаторный кригинг: вероятность зоны замещения

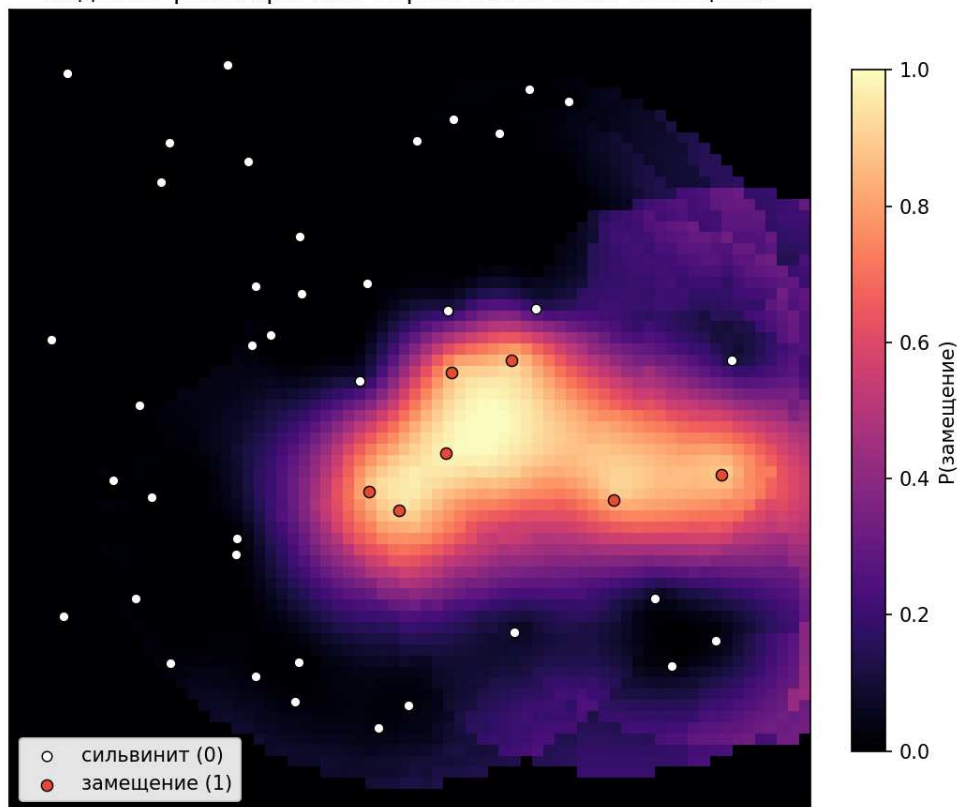


Рис. 21: Индикаторный кригинг на синтетике: скважины с категорией (красные - замещение, белые - сильвинит) превращаются в карту вероятности класса. Порогом 0.5 из неё режется контур домена.

замер точным и обязательным к исполнению. Для карт опасности это часто правильно, потому что цена пропуска и цена ложной тревоги несимметричны, но карта после этого становится жёстче и пятнистее.

Второе, от чего зависит попадание, - ячейка. Оценка считается в центре ячейки, и если в одну ячейку попали скважины разных классов, никакой самородок их не разведёт. Ячейку задавайте мельче расстояния между соседними скважинами. Третье - граница полигона: полосы вероятности строятся из растра со сглаживанием и скруглением, оба немного двигают линию уровня относительно ячеек. Если точка вышла за полосу на волосок, проверьте сначала это, сняв оба сглаживания.

Что на выходе

Три результата. Многополосный растр вероятностей, одна полоса на класс, имя класса записано в описание полосы. Карта зон, код самого вероятного класса в ячейке, соответствие кодов и классов печатается в Журнал. Необязательный растр уверенности, максимум вероятности в ячейке, по нему видно, где класс уверенный, а где зоны спорят и проходит граница.

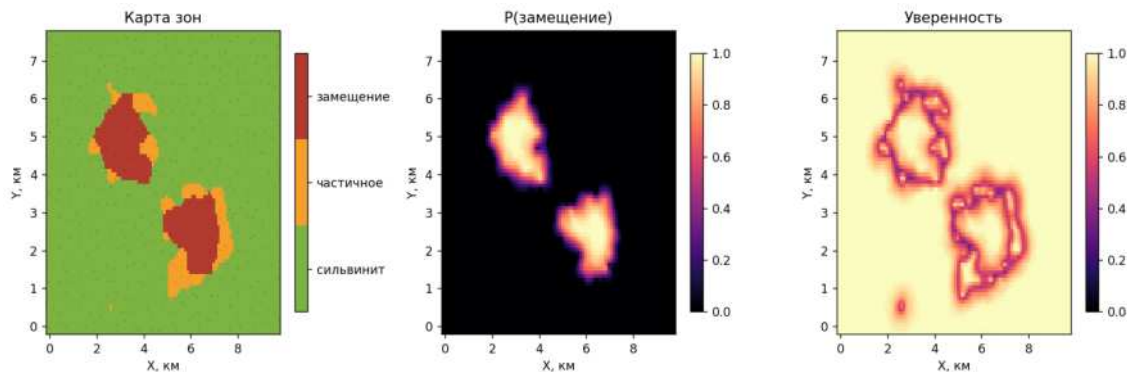


Рис. 22: Результат категориального индикаторного кригинга: карта самого вероятного класса по минеральному типу, фон сильвинита с очагами замещения, сверху нанесены точки скважин.

Ещё одно достоинство обнаруживается на данных с выбросами. Обычный кригинг вынужден интерполировать величину, и одна аномальная проба ломает вариограмму: пара близких точек с несопоставимыми значениями поднимает наггет, и карта вырождается в среднее. Индикатор работает не с величиной, а с фактом принадлежности к классу, поэтому аномальное значение в нём неотлично от любого другого по ту же сторону порога. Там, где показатель ведёт себя дико, а вопрос по сути двоичный, индикаторный путь надёжнее прямой интерполяции.

Категориальный подход удобен тем, что не требует заранее проводить границу. Не нужно решать, считать ли частичное замещение опасным. Картируются все типы как есть, а нужную комбинацию классов собирают потом из вероятностей. Редкие классы с малым числом скважин дают шумную вариограмму, инструмент предупреждает об этом в Журнал, вероятность по такому классу читайте осторожно.

Чтобы освоить инструмент без реальных данных, включите в **Пример скважин (демо)** галку **Добавить категориальное поле минтипа**. В слой добавится поле `mintype` с фоном сильвинита и очагами замещения по образцу рудника, на нём инструмент можно сразу прогнать.

При неравномерной сети можно задать необязательное поле весов **wt** из инструмента **1.01 Декластеризация**. Тогда индикатор каждого класса кригуется к его декластеризованной доле, а не к нулю, поэтому вдали от данных вероятность стремится к представительной доле класса. Без весов поведение прежнее.

Векторные границы по вероятностям

Карта зон отвечает на вопрос «кто победил в ячейке», и этого часто мало. Для планирования нужнее полоса перехода: где класс уверенный, где спорный, где уверенно другой. Это дают два необязательных векторных выхода, по умолчанию выключенных.

Уровни задаются параметром, по умолчанию 0.25, 0.5 и 0.75, то есть четыре полосы: уверенно нет, две спорные и уверенно да. Линии несут класс и уровень. Полигоны несут класс, границы полосы в полях **P_MIN** и **P_MAX** и готовую подпись полосы в поле **band** вида «0.25 - 0.5». По этой подписи слой сразу раскрашивается категориями от зелёного к красному, настраивать легенду руками не нужно.

Одна полоса может приехать несколькими объектами, если она разбита на отдельные участки площади. Это нормально и удобно: площади считаются по каждому участку отдельно. В легенде при этом ровно столько строк, сколько полос, потому что раскраска идёт по полосе, а не по одной её границе.

Границы строятся по каналу вероятностей, а не по карте зон, и это не мелочь. Карта зон хранит только победителя в ячейке, а где именно внутри ячейки прошла граница, в ней уже потеряно, и контур такой карты идёт ступенями по краям ячеек. Сглаживать такую лесенку значит выдумывать положение границы. Поле вероятностей эту информацию держит, и контур по нему ложится туда, куда его ставит сама модель.

При двух классах уровень 0.5 совпадает с границей зон: класс побеждает ровно там, где его вероятность выше половины. Поэтому один уровень 0.5 даёт обычную бинарную карту, только с гладкой границей вместо ступенчатой. При трёх и более классах это уже разные вещи, победить можно и с 0.4, и здесь строится именно вероятность быть данным классом, а не граница победителя.

При двух классах вписывайте в **Класс для контуров** интересующий. Вероятности дополняют друг друга до единицы, и второй набор будет зеркальным дублем первого.

3.02 Кригинг с внешним дрейфом (External Drift)

Инструмент **Кригинг с внешним дрейфом (External Drift)** оценивает поле по точкам, когда оно закономерно связано с величиной, которая уже известна всюду в виде раstra. Такой растр называют дрейфом. Им может быть структурная поверхность соседнего пласта, грубая региональная модель, поверхность по редкой сетке или сейсмический атрибут. Обычный кригинг видит только сами скважины, а здесь к ним добавляется знание о форме поля между ними, и оценка опирается на эту форму там, где скважин нет.

Инструмент стоит в группе **Дополнительные инструменты анализа** и опирается на то же ядро, что и **2D Kriging**. Математика кригинга не меняется. Меняется только то, по чему снимается региональная составляющая.

Параметры:

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Точечный слой	Исходные точки.	-
Поле значения (Z)	Интерполируемый атрибут.	-
Растр внешнего дрейфа	Сторонняя поверхность s, известная всюду. В одной CRS с точками, покрывает область.	-
Канал раstra дрейфа (Доп.)	Полоса многополосного раstra дрейфа.	1
Степень дрейфа	Линейная ($a_0 + a_1 \cdot s$) или квадратичная связь.	1 (линейный)

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Тип кригинга, радиус, мин./макс., наггет, структуры	Кригинг остатков - как в «2D Kriging».	как у «2D Kriging»
Сгладить грид (Гаусс), радиус сглаживания	Необязательное сглаживание результата.	выкл. / 1
Растр кригинга с дрейфом	Выходная оценка (дрейф + кригинг остатков).	-
Стандартная ошибка кригинга	Необязательный растр стандартной ошибки остатков.	пропущен

В чём отличие от снятия тренда

Флажок **Снять полиномиальный тренд** у **2D Kriging** описывает региональную составляющую полиномом от координат, то есть наклонной или изогнутой плоскостью. Это годится, когда падение пласта однородно и его форма проста. Но если у поля есть выраженная структура, повторяющая известную поверхность, плоскость её не опишет.

Внешний дрейф снимает региональную составляющую не по координатам, а по стороннему растру. Если, например, кровля интересующего пласта повторяет рельеф подстилающего, для которого поверхность уже построена, эту связь снимают регрессией на подстилающую поверхность, а кригуют уже отклонения от неё. Дрейф здесь не функция места на карте, а функция значения внешнего растра в той же точке. Всё остальное совпадает со снятием полиномиального тренда. Это та же схема регрессия-кригинг.

Как считается

Сначала растр дрейфа считывается в каждой скважине, билинейно по четырём соседним ячейкам. Затем значение поля регрессируется на это считанное значение методом наименьших квадратов. **Степень дрейфа** задаёт вид связи. Степень 1 это линейный дрейф вида значение равно a_0 плюс a_1 на дрейф, обычный выбор для External Drift. Степень 2 описывает изогнутую связь с квадратом дрейфа, но может вобрать в себя часть реальной структуры, поэтому после неё стоит посмотреть на вариограмму остатков.

Дальше кригуются остатки регрессии, ровно как обычное поле в **2D Kriging**, со своей вариограммой, поиском и анизотропией. На последнем шаге растр дрейфа пересчитывается на сетку кригинга, и дрейф добавляется к кригованной оценке остатков обратно. Итоговая оценка в каждой ячейке равна дрейфу плюс кригинг остатка. Поскольку дрейф известен всюду, оценка между скважинами тянется не к локальному среднему, а к форме внешней поверхности.

Скважины, которые попали за пределы растра дрейфа, в подбор не идут, инструмент сообщает в Журнал, сколько их отброшено. Ячейки сетки, не покрытые растром дрейфа, достроить нечем, поэтому они остаются пустыми вместе со стандартной ошибкой в них.

Атрибуты сгенерированного слоя

Поле	Тип	Что содержит
well	текст	Имя скважины.
roof	число	Отметка кровли, м.
thick	число	Мощность пласта, м.
X	число	Содержание полезного компонента, проценты.
head	число	Напор (гидрогеологический вариант данных), м.

Поле	Тип	Что содержит
K	число	Коэффициент фильтрации, м/сут.
T	число	Водопроводимость, м ² /сут.
mintype	текст	Минеральный тип (класс для индикаторного кригинга).
dz	число	Погрешность отметки - для взвешивания и экспериментов.

Набор полей закрывает все инструменты плагина: интерполируйте roof и thick обычным кригингом, X - с трендом, mintype - индикаторным, head/K/T - гидрогеологическими инструментами.

Параметры

Точечный слой и поле значения Z задаются как в **2D Kriging**. Параметр **Растр внешнего дрейфа** это и есть сторонняя поверхность, известная всюду. Необязательный **канал растра дрейфа** выбирает полосу многополосного растра. Поиск, размер ячейки, охват, обрезка по контуру скважин, наггет и структуры вариограммы, отсев ураганных проб и сглаживание грида работают и описаны так же, как у **2D Kriging**, с теми же умолчаниями.

Важное условие. Растр дрейфа и точечный слой должны быть в одной системе координат, иначе значение дрейфа снимется не в той точке. При несовпадении CRS инструмент предупреждает в Журнал. Растр дрейфа должен покрывать всю область оценки, иначе по краям появятся пустые ячейки.

Вариограмма по остаткам

Как и при снятии тренда, вариограмму здесь задают по остаткам регрессии, а не по сырому значению. После снятия дрейфа вариограмма остатков возвращается к нормальному виду, выходит на порог с наггетом, и радиус отражает истинный масштаб локальной корреляции. Растр стандартной ошибки в этом режиме это ошибка кригинга остатков. Дрейф считается детерминированным и собственной погрешности к ней не добавляет.

Удобный способ подобрать вариограмму остатков, не выходя из инструмента вариограммы, пока не предусмотрен, поэтому остатки оценивают по доле снятой дисперсии, которую инструмент печатает в Журнал. Если дрейф убрал заметную часть разброса, связь с внешней поверхностью реальна и дрейф уместен. Если почти ничего не убрал, поле с этим растром не связано, и обычный **2D Kriging** даст тот же результат проще.

3.03 Карта вероятности превышения

Инструмент **Карта вероятности превышения** отвечает на вопрос не «сколько», а «какова вероятность, что значение превысит порог». Из растра оценки кригинга и растра его стандартной ошибки он строит растр вероятности от 0 до 1: в каждой ячейке вероятность того, что истинное значение выше заданного порога.

Инструмент стоит в группе **Дополнительные инструменты анализа** и работает как постобработка, подобно гидравлическому градиенту. Своего кригинга он не выполняет и окно **2D Kriging** не трогает, а берёт уже готовые растры. Поэтому он одинаково работает с выходом обычного кригинга и кригинга с внешним дрейфом.

Как получить входы

Запустите **2D Kriging** (или **Кригинг с внешним дрейфом**) по своему полю и включите необязательный вывод **Стандартная ошибка кригинга**. Получите два растра, оценку и ошибку, и подайте их сюда. Решётки у них совпадают, так как они из одного запуска, но если подать растры с разной сеткой, ошибка будет приведена к сетке оценки билинейно.

Параметры

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Растр оценки (кригинг)	Растр оценки поля (результат кригинга).	-
Растр стандартной ошибки кригинга	Растр стандартной ошибки того же запуска.	-
Сторона	Считать вероятность выше порога $P(Z > \text{порог})$ или ниже $P(Z < \text{порог})$.	выше
Порог	Значение, относительно которого считается вероятность.	0
Канал растра оценки, канал растра ошибки (Доп.)	Полосы многополосных растров.	1
Растр вероятности (0...1)	Выходной растр вероятности.	-

Применение

Бортовые содержания: порог равен кондиции, и карта показывает вероятность того, что содержание выше кондиции. Это нагляднее одной линии по оценке, потому что у границы рудного тела уверенность падает, и карта вероятности это показывает. Зоны риска по любому порогу: мощность ниже критической, отметка выше или ниже опасной. Карта вероятности дополняет карту оценки там, где важна не только величина, но и уверенность в ней.

3.04 Гидравлический градиент и направление потока

Инструмент **Гидравлический градиент и направление потока** работает с полем напора, то есть с пьезометрической поверхностью, и показывает, куда и насколько круто течёт подземная вода. На вход подаётся растр напора, обычно результат **2D Kriging** по уровням в скважинах. Для гидрогеолога это такой же естественный шаг после построения поверхности напора, как изолинии после кригинга.

На выходе три слоя. Растр **модуля градиента** показывает крутизну поверхности напора, гидравлический градиент i равен модулю ∇h и безразмерен. Растр **азимута** хранит направление потока в градусах, где ноль это север, а отсчёт идёт по часовой стрелке. Точечный слой **векторов потока** прорежен по сетке и сразу оформлен стрелками, поэтому картина фильтрации видна без настройки символики.

Направление считается строго. Вода течёт вниз по градиенту, от большего напора к меньшему, поэтому стрелка смотрит в сторону падения поверхности. На пологих участках, где напор почти постоянен, направление не определено, и азимут там остаётся пустым.

Без проницаемости

Инструмент описывает геометрию поля напора, но не скорость потока. Скорость фильтрации по закону Дарси равна минус коэффициент фильтрации K на градиент, и для неё нужен сам коэффициент K , который инструмент не запрашивает и не считает. Иначе говоря, карта отвечает на вопрос куда и насколько круто, но не как быстро. Когда есть K (или

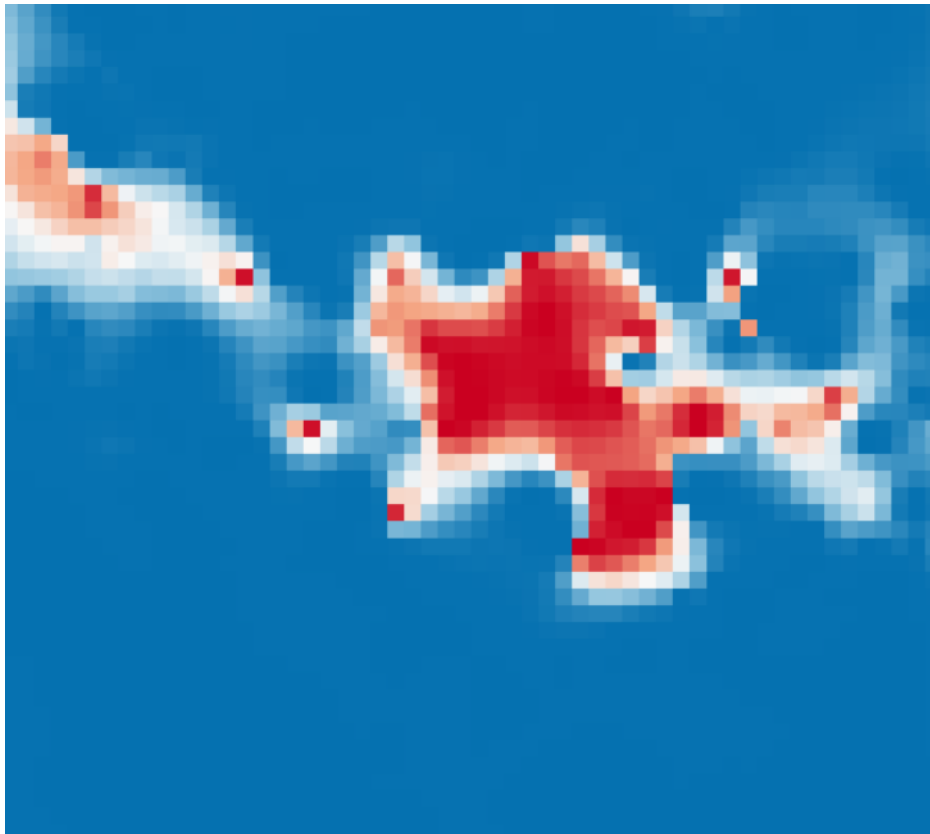


Рис. 25: Карта вероятности превышения с расходящейся шкалой и переломом на 0.5. Красное - значение уверенно выше порога, синее - уверенно ниже, белый поясok по линии $P=0.5$ - зона неопределённости (спорные значения). Чем дальше от скважин, тем шире поясok.

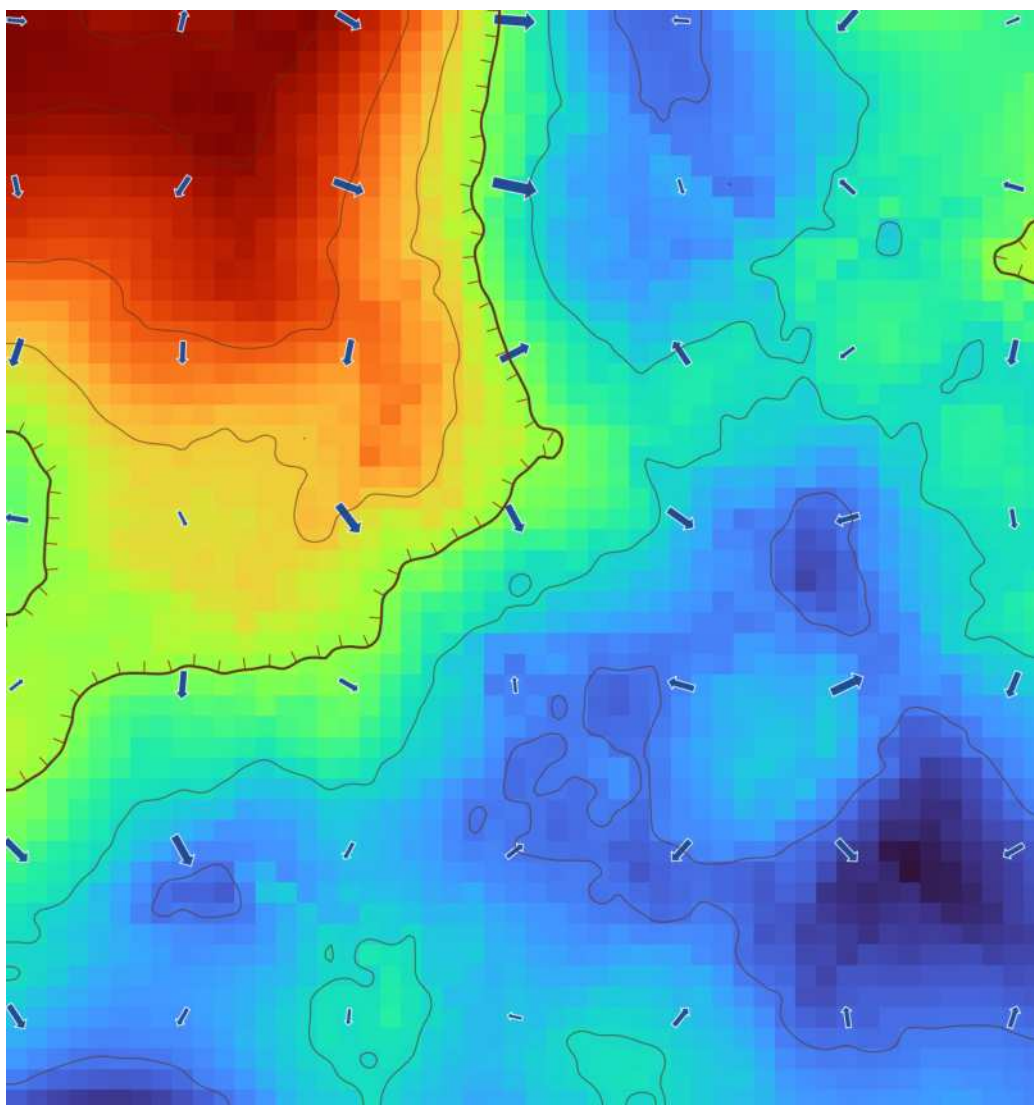


Рис. 26: Векторы потока на поверхности напора: стрелки идут вниз по градиенту, от высокого напора (тёплые тона) к низкому (холодные), поверх изолиний напора. Длина стрелки растёт с крутизной градиента.

водопроницаемость T) по площади, скорость фильтрации и расход считает соседний инструмент «Удельный расход (закон Дарси)»: он домножает этот градиент на свойства пласта.

Параметры и сглаживание

Вход это **растр напора** и его **канал**. Параметр **векторы потока, шаг прореживания** задаёт, через сколько ячеек ставить стрелку, чтобы они не сливались, по умолчанию восемь. Параметр **сглаживание напора перед расчётом** убирает мелкую рябь грида, задаётся в ячейках, по умолчанию выключен.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Растр напора	Входная пьезометрическая поверхность (обычно результат «2D Kriging»).	-
Канал (Доп.)	Полоса входного растра.	1
Сглаживание напора перед расчётом, ячеек	Гасит шум грида перед дифференцированием. 0 = без.	0
Векторы потока: шаг прореживания, ячеек	Через сколько ячеек ставить стрелку.	8
Гидравлический градиент (модуль)	Выходной растр $ \nabla h $.	-
Направление потока (азимут)	Выходной растр азимута (вниз по градиенту).	создаётся по умолчанию
Векторы потока (точки)	Точечный слой стрелок (поля az, grad).	создаётся по умолчанию

Сглаживание включают не для красоты, а по существу. Дифференцирование усиливает шум, поэтому даже аккуратный грид кригинга способен дать пятнистое поле градиента с дёргаными стрелками. Лёгкое сглаживание возвращает картину к читаемому виду. Того же эффекта можно добиться, сгладив сам напор ещё в **2D Kriging**.

Стрелки из точек

Слой векторов это точки, а стрелки рисует символика. Пресет накладывается автоматически. Маркер-стрелка поворачивается по полю **az**, поэтому показывает направление потока, а размер масштабируется по полю **grad**, поэтому стрелка длиннее там, где градиент круче. Размер задан в миллиметрах и не зависит от масштаба карты. Символику можно поменять в свойствах слоя. Если нужна классическая квивер-диаграмма, где длина стрелки отложена в единицах карты, маркер заменяют генератором геометрии, рецепт лежит в папке стилей рядом с пресетом.

Поля слоя векторов потока:

Поле	Тип	Что содержит
az	число	Азимут направления потока, градусы (0 = север, по часовой стрелке, вниз по градиенту).
grad	число	Модуль гидравлического градиента \

Учебный цикл

Чтобы пройти весь путь без реальных данных, включите в **Пример скважин (демо)** галку **Добавить поле напора**. В слой добавится поле head с выраженным региональным уклоном. Постройте по нему грид в **2D Kriging**, подайте растр сюда, и стрелки пойдут вниз по склону напора. Тот же сквозной сценарий, что и для остальных инструментов, только про гидрогеологию.

3.05 Удельный расход (закон Дарси)

Инструмент **Удельный расход** добавляет к геометрии потока проницаемость. Гидравлический градиент показывает, куда и насколько круто падает напор, но не сколько воды течёт. Закон Дарси связывает эти величины через свойства пласта: чем выше проницаемость и круче градиент, тем больше расход. Из раstra напора и растров свойств пласта инструмент строит физический поток, а не безразмерный градиент.

Инструмент стоит в группе **Дополнительные инструменты анализа** и работает как постобработка. Свой кригинг не выполняется: растры свойств готовят отдельно кригингом по точкам испытаний.

Что считается

Скорость фильтрации (удельный расход) по закону Дарси равна произведению коэффициента фильтрации на гидравлический градиент: $q = K \cdot |\nabla h|$, размерность метр в сутки. Это объём воды через единицу площади сечения в единицу времени. Если вместо коэффициента фильтрации задан растр водопроницаемости, инструмент считает расход через единицу ширины потока $Q = T \cdot |\nabla h|$, размерность квадратный метр в сутки. Водопроницаемость это коэффициент фильтрации, умноженный на мощность, поэтому расход через ширину уже учитывает мощность пласта и не требует её отдельно. Направление обоих потоков совпадает с направлением градиента, вниз по склону напора.

Истинная скорость движения воды получается делением удельного расхода на эффективную пористость, $v = q/n$. Пористости в данных обычно нет, поэтому инструмент её не запрашивает и истинную скорость не считает: при необходимости разделите растр q на пористость в растровом калькуляторе.

Как получить растры K и T

Свойства пласта известны в точках испытаний (откачки, наливов), а нужны всюду. Их интерполируют кригингом, как любое поле. Важная тонкость: коэффициент фильтрации и водопроницаемость почти всегда лог-нормальны, их значения разбросаны на порядки. Кригинг по самим значениям исказит результат, поэтому кригуют логарифм. Проще всего включить в «2D Kriging» преобразование **ln**: тогда кригуется $\ln$, а растр возвращается уже в исходных единицах, и здесь галка **ln** не нужна. Если же вы кригуете заранее залогарифмированное поле, включите в этом инструменте **Растры K и T заданы как ln**, и значения вернуться экспонированием. Напорные и безнапорные пласты разумнее криговать отдельно, у них разная физика мощности.

Параметры

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Растр напора	Пьезометрическая поверхность (результат кригинга по уровням).	-

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Растр коэффициента фильтрации K (м/сут)	Свойство пласта для скорости фильтрации. Необязателен, но нужен хотя бы один из K, T.	-
Растр водопроводимости T (м ² /сут)	Свойство пласта для расхода через ширину.	-
Растры K и T заданы как ln	Применить ехр к входным растрам (для лог-кригинга K и T).	выкл.
Сглаживание напора, ячеек	Гасит шум напора перед дифференцированием.	0
Векторы потока: шаг прореживания	Через сколько ячеек ставить стрелку.	8
Каналы растров (Доп.)	Полосы многополосных растров напора, K, T.	1
Скорость фильтрации q (м/сут)	Выходной растр $q = K \cdot \nabla h $.	создаётся, если задан K
Расход через ширину Q (м ² /сут)	Выходной растр $Q = T \cdot \nabla h $.	создаётся, если задан T
Направление потока (азимут)	Выходной растр азимута.	необязательный
Векторы потока (точки)	Слой стрелок (поворот по аз, размер по удельному расходу).	создаётся по умолчанию

Применение

Где вода движется быстрее и где медленнее, оценка притоков к выработкам, зоны повышенной фильтрации вдоль проницаемых пачек. Совместно с картой вероятности превышения можно показать не только ожидаемый расход, но и уверенность в нём там, где точек испытаний мало.

3.06 Гауссова симуляция (SGS)

Кригинг даёт одну сглаженную поверхность и дисперсию оценки. Последовательная гауссова симуляция отвечает на другой вопрос - какова неопределённость. Она строит ансамбль равновероятных реализаций: каждая воспроизводит гистограмму и вариограмму данных, проходит через скважины и потому остаётся шершавой, а не сглаженной. По набору реализаций в каждом узле набирается распределение значений, и отсюда видно, где оценка надёжна, а где данные молчат.

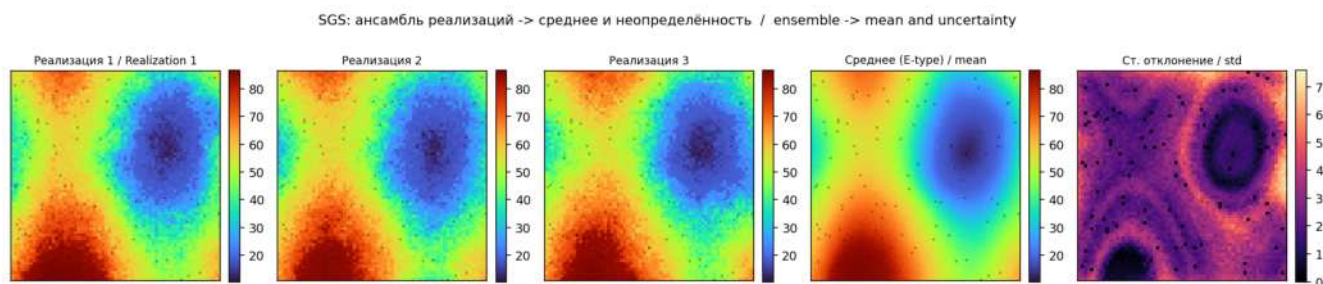


Рис. 27: Ансамбль реализаций SGS и производные от него среднее и неопределённость.

Как это работает. Значения переводятся в нормальные баллы (normal score), и симуляция идёт в гауссовом пространстве. Узлы грида обходятся в случайном порядке, в каждом узле простой кригинг по соседям и уже симулированным точкам даёт локальное среднее и

дисперсию, из этого нормального распределения разыгрывается значение, которое тут же становится обуславливающим для следующих узлов. Скважины привязываются к ближайшим узлам и фиксируются во всех реализациях. В конце каждая реализация переводится обратно в исходные единицы. Вариограмма нормальных баллов подбирается автоматически, её порог близок к единице.

Обрезка по маске такая же, как в 1.02, и применяется к каждой реализации. На большом ансамбле это заметное время: если оно мешает, обрежьте стопку отдельно после расчёта.

Параметры

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Точки (скважины)	Точечный слой с данными.	-
Поле значения	Числовой атрибут для симуляции.	-
Размер ячейки	Шаг грида. 0 - авто, min(охват)/50.	0
Количество реализаций	Сколько прогонов усреднять.	60 (50-100)
Порог отсечки	Включает карту вероятности превышения.	не задан
Вероятность ВЫШЕ порога	Направление вероятности.	да
Охват раstra	Прямоугольник результата.	по слою
Модель вариограммы баллов (Доп.)	Модель для нормальных баллов.	авто
Макс. количество соседей на узел (Доп.)	Сколько точек в простом кригинге узла.	16
Радиус поиска (Доп.)	0 - авто, 3 радиуса вариограммы.	0
Зерно ГСЧ (Доп.)	Для воспроизводимости. 0 - случайно.	0
Поле весов декластеризации (Доп.)	Веса wt из инструмента 1.01 , необязательно.	нет

Выходы это раstra по ансамблю. **Среднее (E-type)** похоже на кригинг. **Стандартное отклонение** показывает неопределённость, малую у скважин и большую вдали от них. Квантили **P10, P50, P90** очерчивают вероятный диапазон, а **Вероятность превышения** при заданном пороге даёт непараметрическую альтернативу карте из инструмента вероятности. Время растёт с размером грида и числом реализаций, поэтому начинайте с грубой ячейки.

Если данные сгущены неравномерно, подайте поле весов **wt** из инструмента **1.01 Декластеризация**. Тогда нормально-балльное преобразование строит функцию распределения с весами, и гистограмма ансамбля не перекошена в сторону переразведанных богатых участков.

Виды кригинга: какой выбрать

Под словом «кригинг» в плагине живёт семейство методов, и выбор между ними влияет на результат сильнее, чем тонкая настройка вариограммы. Все виды решают одну и ту же систему уравнений с ковариациями из вариограммы. Различаются они тем, что считается известным про среднее поле и что именно оценивается - точка, блок или вероятность. Эта глава - навигатор. Параметры каждого инструмента описаны в своих главах.

Простой кригинг (SK) предполагает, что среднее поля известно заранее и постоянно по площади. Вблизи скважин оценка следует данным, по мере удаления стягивается к заданному среднему. Берите его, когда среднее подтверждено статистикой по представительной выборке того же домена, среднее «на глаз» уводит все недоразбуренные края в сторону ошибки. Включается выбором типа в **2D Kriging**.

Ординарный кригинг (ОК) среднего не знает и оценивает его локально в каждой окрестности - за это отвечает дополнительное уравнение с условием «сумма весов равна единице». Вдали от скважин оценка тянется к среднему ближайшей окрестности, а не к глобальному. Это выбор по умолчанию: не знаете, с чего начать, - начните с ОК.

Кригинг с трендом (галка снятия тренда в **2D Kriging**) - для полей с закономерным региональным уклоном: кровля на моноклинали, крыло складки. Полином 1-й или 2-й степени снимается МНК, кригуются остатки, тренд возвращается к оценке. Два правила: вариограмму задавайте по остаткам (плагин печатает долю снятой дисперсии - если она мала, тренд не нужен), и не экстраполируйте квадратичный тренд далеко за облако скважин.

Кригинг с внешним дрейфом (глава 3.02) - когда тренд известен не как формула, а как поле: структурная поверхность соседнего пласта, региональная модель, сейсмический атрибут. Схема та же - регрессия на дрейф, кригинг остатков, возврат регрессии.

Блочный кригинг (параметр дискретизации в **2D Kriging**) оценивает среднее по блоку, а не значение в точке: правая часть системы усредняется по дискретизации, дисперсия ошибки падает, выбросы гасятся. Берите его для подсчёта запасов по сетке блоков и помните про эффект носителя: грид блочного кригинга закономерно глаже точечного, сравнивать содержание пробы и содержание блока напрямую нельзя.

Индикаторный кригинг (глава 3.01) - для категорий: минтип, фация, зона замещения. Категория превращается в индикатор 0/1, кригуется обычным ОК, результат - вероятность класса в точке, порогом из неё получают домены. Вариограмма индикаторов своя и обычно короче вариограммы содержания.

Гауссова симуляция (глава 3.06) - не кригинг, а его дополнение: вместо одной сглаженной поверхности ансамбль равновероятных шершавых реализаций, из которого неопределённость видна напрямую.

Шпаргалка

Задача	Вид	Где включается
Универсальный случай, старт любой задачи	Ординарный (ОК)	2D Kriging, тип по умолчанию
Данных много, среднее домена обосновано	Простой (SK)	2D Kriging, тип SK + среднее
Кровля или подошва с региональным уклоном	С трендом	2D Kriging, снятие тренда
Тренд известен как растр	С внешним дрейфом	глава 3.02
Запасы по сетке блоков	Блочный	2D Kriging, дискретизация
Минтип, замещение, категории	Индикаторный	глава 3.01
Оценка неопределённости	Симуляция SGS	глава 3.06

Окрестность поиска общая для всех видов, и три правила снимают большинство проблем: радиус порядка радиуса вариограммы, максимум соседей 12-16, анизотропия окрестности согласована с анизотропией вариограммы из вариограммной карты.

3.07 Плотность по замерам (переменная опора)

Инструмент строит карту плотности, где замер задан не точкой, а носителем конечного размера: точка с сигмой неопределённости, отрезок линии (коридор полуширины) или полигон. Единичная масса замера размазывается по своему носителю. Масса сохраняется, а плотность обратна площади носителя, поэтому грубые привязки самоослабляются геометрически, без порогов и фильтров. Это оценка плотности (сколько и где), а не интерполяция значения - для значений остаётся кригинг.

Тип геометрии один на запуск. Смешать точки, линии и полигоны можно серией запусков в один растр (режим дописывания). По каждому типу масса раскладывается по-своему:

- **Точка** - гауссово пятно с сигмой из поля точности, обрезка на три сигмы. Сигма ниже полуячейки поднимается до полуячейки.
- **Линия** - коридор мягких краёв: полилиния уплотняется, масса делится по длине, каждая подточка - гауссов профиль с сигмой-полушириной. Поля from_m/to_m вырезают интервал по линейной привязке.
- **Полигон** - масса делится по площади равномерно либо, в дазиметрическом режиме, пропорционально вспомогательному растру (население, застройка). При пустом растре внутри полигона - откат на равномерное.

Выход и инвариант

Основной выход - трёхканальный растр. Канал 1 - плотность в массе на км² (не зависит от размера ячейки). Каналы 2 и 3 служебные ($\Sigma m \cdot \sigma$ и Σm), чтобы дописывание сериями и карта эффективной сигмы оставались точными. Необязательный второй растр - средневзвешенная сигма по ячейке, карта эффективной точности: она отделяет плотность, обеспеченную точными привязками, от размазанной. Это аналог кригинговой дисперсии для этажа плотности.

Инвариант: интеграл плотности по растру равен сумме масс входа. Считается всегда и пишется в лог. Расхождение - признак того, что носители вышли за область, поведение задаёт переключатель края (донормировать внутри или потерять массу с предупреждением).

Как читать

Плотность показывает, где сгущаются замеры с учётом их надёжности. Точная привязка даёт компактное пятно, грубая - размытое и низкое. По карте эффективной сигмы видно, где плотность набрана точными носителями, а где размазанными - там доверия меньше.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию
Замеры	Точки, линии или полигоны (один тип).	-
Поле массы	Масса объекта.	1
Поле точности	Сигма точки или полуширина линии.	сигма по умолчанию
Размер ячейки, м	Шаг сетки.	50
Область	Экстент.	по слою
Носитель за краем	Донормировать внутри или потерять массу.	донормировать
Сигма по умолчанию (Доп.)	Когда поле точности пусто.	полуячейка
from_m / to_m (Доп.)	Вырезка интервала линии.	вся линия
Вспом. растр (Доп.)	Дазиметрия для полигонов.	-
Дописать в растр (Доп.)	Существующий трёхканальный растр.	-
Плотность	Трёхканальный растр (плотность, $\Sigma m \cdot \sigma$, Σm).	-
Эффективная сигма	Карта эффективной точности (необязательно).	-

Окно «Карта плотности» (живой предпросмотр)

Лицом инструмента служит отдельное окно **Карта плотности** на панели **Isoliner**. Слева задаются слой и поля, справа идёт предпросмотр на грубой сетке: он считается за

миллисекунды, поэтому сигма и размер ячейки меняют картинку сразу, а не после запуска. Внизу постоянно горит инвариант: масса входа, масса на сетке и доля, потерянная на краю.

Кнопка **Демо** создаёт учебный набор инструментом 3.08. Кнопка **Записать растр** запускает полный расчёт тем же алгоритмом 3.07 и кладёт результат на карту уже одетым: псевдоцвет с прозрачными нулями, изолинии плотности и слой эффективной сигмы как карта доверия. Форма Processing остаётся для моделей и пакетных прогонов, ядро расчёта у них общее.

3.08 Пример для плотности (демо)

Инструмент создаёт синтетический набор для 3.07 с известной суммарной массой, чтобы проверить инвариант глазами. Десять точек с разными сигмами (от долей ячейки до крупных, масса 500), две линии (масса 200, у одной вырезка интервала from_m/to_m), два полигона (масса 300, один под дазиметрию) и вспомогательный растр. Итого масса 1000.

Прогоните 3.07 на слое точек - интеграл плотности в логе должен дать 500, на линиях 200, на полигонах 300. Поля слоёв: **mass, prec, from_m, to_m**.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию
Область (экстент)	Границы генерации.	-
Ячейка вспом. растра, м	Шаг вспомогательного растра.	50
Зерно ГСЧ (Доп.)	Повторяемость примера.	1
Демо-точки / линии / полигоны	Три слоя замеров.	-
Вспом. растр	Растр для дазиметрии.	-

Полный перечень полей выходных слоёв - в приложении **Плотность (демо)** (раздел «Поля демо-слоёв» в конце руководства).

4. Разрез

4.01 Разрез по линии

Инструмент **Разрез по линии** строит геологический разрез из набора поверхностей. Это не просто кривая профиля, а пласты как залитые полосы между кровлей и подошвой. Поверхности обычно получают кригингом, а инструмент собирает их в разрез вдоль заданной линии.

Инструмент стоит в группе **Разрез** и работает как постобработка готовых растров. Свой кригинг он не выполняет.

Как задаются пласты

Поверхности подаются списком и упорядочиваются сверху вниз: кровля, подошва, при необходимости следующая кровля и так далее. Пласты строятся как полосы между соседними поверхностями, поэтому из N поверхностей получается N минус один пласт. Для одного пласта достаточно двух поверхностей, кровли и подошвы. Для пачки пластов добавляйте поверхности по порядку залегания. Одна поверхность тоже допустима, это разрез по рельефу без пластов, см. следующий раздел.

Разрез по одной поверхности

Одна поверхность это законный случай, а не ошибка. Пластов при ней не будет по определению, зато строятся линия рельефа, рамка, оси с отметками, угловые точки и определение разреза. С этого геологический разрез обычно и начинается: сначала профиль

по ЦМР, поверх него пересечения с плановой геологией инструментом **4.05**, а геология вниз рисуется вручную.

Полосы пластов и забор 3D в таком прогоне не строятся, и слои для них не создаются вовсе. Пустой слой в проекте выглядит полумкой, хотя всё построено верно, поэтому его лучше не создавать, чем создавать и прятать.

Рельеф выходит слоем **Линии поверхностей на чертеже**. Задайте ему свой стиль линии и подписи: чертёж дооформляется поверх этого слоя.

Низ рамки в таком разрезе задавайте отметкой в дополнительных параметрах. Без неё рамка обжимает данные с небольшим отступом, и рисовать под рельефом негде. Отметка учитывается до расчёта вертикального масштаба, поэтому в режиме отношения габаритов чертёж выходит в масштабе именно той рамки, которую вы увидите. Отметка выше данных игнорируется: это низ рамки, а не обрезка сверху.

Верх рамки задаётся так же и по той же причине: чертёж часто продолжают вверх, чтобы вошли устья скважин, отметки уровня воды или подписи, которых нет среди самих поверхностей. Верх ниже низа отвергается - рамка вывернулась бы наизнанку.

Вместе с рамкой стоит задать и **шаг отметок на осях**. По умолчанию подписи выбираются округлёнными числами по их количеству, и это удобно, пока рамка сама по данным. Когда рамка задана числами, подписи хочется теми же числами: шаг два при рамке от ста пятидесяти до ста семидесяти даёт ровно те отметки, которые ожидаешь увидеть. Ноль возвращает автоматический выбор.

Связка полезна на серии разрезов: одинаковая рамка и одинаковые подписи позволяют класть чертежи рядом на лист без подгонки.

Порядок поверхностей задаёт дерево слоёв

Это главное, что нужно знать про инструмент. Порядок поверхностей не второстепенная деталь оформления, а исходные данные наравне с самими гридами. Именно он определяет, какая полоса чей пласт.

По умолчанию порядок берётся из дерева слоёв проекта, сверху вниз, ровно как показано в панели **Слои**. Что видите в панели, то и получите на чертеже. Отметки в мультиселекте задают, какие поверхности участвуют, но не в каком они порядке.

Отсюда простое правило работы. Прежде чем строить разрез, разложите поверхности в панели слоёв по залеганию: кровля верхней вмещающей вверх, подошва нижней вниз. Перетаскивайте слои мышью, если они пришли вперемешку. Это займёт полминуты и избавит от разбирательств.

Если порядок нарушен, инструмент не выдаст ошибку. Он построит полосы между теми парами, которые вы ему дали. Часть пар окажется перевернутой, у них подошва выше кровли, такие полосы отбрасываются молча. Внешне это выглядит так: пластов на чертеже меньше, чем ожидалось, или они лежат в неправдоподобной последовательности. Увидели такое - первым делом проверьте порядок в панели слоёв, а не параметры кригинга.

Когда порядок в дереве по каким-то причинам не годится, снимите галочку **Порядок поверхностей из дерева слоёв проекта**. Тогда порядок берётся из последовательности отметок в списке, как в прежних версиях. Слои, которых нет в дереве проекта (добавленные файлом прямо в виджете), уходят в конец списка, сохраняя взаимный порядок.

Генератор примера (4.10) сам раскладывает шесть поверхностей в дереве по залеганию, поэтому на демо-данных ничего перекладывать не нужно.

Выходы

Чертёж разреза это полигоны в осях расстояние вдоль линии и высота. Высоту можно растянуть вертикальным преувеличением, чтобы тонкие пласты читались. Этот слой кладут

в макет печати как готовый разрез. Система координат у него условная, расстояние и высота в единицах карты.

Линии поверхностей это каждая поданная поверхность отдельной линией в осях чертежа, с полями **sec**, **sec_id**, **num** и **name**. Разрывы по отсутствию данных сохраняются. При работе с пластами слой необязателен, кровля и подошва и так видны как края полос, но он позволяет подписать и оформить линию кровли отдельно от заливки. При одной поверхности это единственный слой с рельефом.

Забор 3D это те же полосы, но как вертикальные стенки PolygonZ в реальных координатах. Их смотрят в 3D Map View рядом с поверхностями кригинга: грид задаётся рельефом, а стенки разреза показывают пласты в пространстве.

Вертикальный масштаб

Горизонталь разреза (длина линии) и вертикаль (десятки метров пластов) несопоставимы, поэтому без растяжения по высоте чертёж выглядит плоским. Масштаб задаётся тремя способами.

Режим **отношение масштабов Г:В (1:N)** это привычная чертёжная запись. Значение 50 означает $G:B = 1:50$, то есть вертикальный масштаб крупнее горизонтального в пятьдесят раз. Так задают масштаб на калийных разрезах, где горизонталь идёт километрами, а мощности измеряются метрами. Множитель растяжения равен N.

Режим **множитель** это то же число, поданное напрямую, без чертёжной формулировки.

Режим **отношение Г:В (ширина:высота чертежа)** работает от габаритов: вы задаёте желаемое отношение ширины листа к высоте (например 10), а множитель инструмент считает сам по длине линии и размаху высот. Удобно, когда важно вписать разрез в лист, а не выдержать заданный масштаб.

Фактический множитель печатается в журнал. Для точного наложения слоёв он должен совпадать у разреза, скважин и состава. В режиме Г:В разрез (4.01) видит весь разрез по высоте. Скважины (4.02) берут множитель из определения и совмещаются сами. Состав (4.03) считает отношение по одному пласту, поэтому для наложения возьмите множитель, напечатанный 4.01, и задайте его в 4.03 в режиме **множитель**.

Несколько разрезов за один прогон

По умолчанию инструмент строит разрез по каждой линии слоя. Это обычный режим работы: линейный слой с профилями обрабатывается целиком, запускать инструмент по разу на линию не нужно. Если нужны не все линии, выделите нужные на карте и включите **Только выделенные объекты** у параметра линии. Снятая галочка **Разрез по каждой линии слоя** возвращает прежнее поведение, разрез по первой линии.

Все разрезы попадают в один комплект слоёв и различаются атрибутами, а не отдельными слоями на каждый створ. Так их удобно подписывать и фильтровать выражением, а стили не приходится назначать заново. Имя разреза берётся из поля линейного слоя, если оно задано параметром **Поле имени разреза**, иначе разрезы нумеруются по порядку.

На чертеже разрезы разводятся раскладкой в общей чертёжной системе координат. **Стопкой сверху вниз** ставит их один под другим с общим нулём расстояний, и левый край у всех совпадает. **В ряд слева направо** ставит их бок о бок с общей отметкой высоты, тогда шкала высот сквозная для всего листа. **Сеткой** сочетает оба правила: строка держит общую отметку, столбец - общий ноль расстояний, число столбцов задаётся в дополнительных параметрах. Шаг решётки берётся от самого крупного чертежа плюс зазор, поэтому чертежи не пересекаются, как бы ни различались длины створов. Зазор задаётся долей от габарита, по умолчанию 0.15.

Вертикальный масштаб на весь прогон один. Иначе короткий створ и длинный вышли бы в разном растяжении и стали бы несопоставимы на одном листе. В режимах отношения масштабов и множителя это просто заданное число. В режиме отношения габаритов

множитель считается по самой длинной линии и общему по набору размаху высот, поэтому заданную пропорцию точно получает самый широкий чертёж, а остальные выходят выше него, но в том же масштабе.

Забор 3D раскладкой не смещается. Он стоит в реальных координатах, каждая стенка на своём створе, и в 3D Map View набор разрезов выглядит как настоящий забор по площади.

Первый разрез всегда получает нулевое смещение, поэтому прогон по одной линии даёт ровно тот же чертёж, что и раньше.

Цвет полос: справочник пластов

Полосы пластов красятся по имени кровли. Без справочника цвет считается от самого имени: он не пляшет между прогонами, но он условный.

Необязательный вход **Справочник пластов (таблица)** делает цвет осмысленным. Справочник это обычный слой проекта, GeoPackage или таблица Excel, где на каждый пласт и каждое междупластье приходится одна строка сверху вниз по разрезу. Обязательных колонок три: код тела, номер сверху вниз и тело. Цвет необязателен, но именно ради него справочник чаще всего и подают.

Колонка **тело** содержит слово «пласт» или «междупластье», и это закон, а не догадка. Вывести тело из кода нельзя. Пласт **АБ** по написанию выглядит как «А плюс Б», но это цельный пласт, внутри которого лежат А, Б, корж А-А' и А'. Междупластье **Б-В** по коду не выводится вовсе, потому что пласта Б в списке нет, есть АБ. Определяет тело геолог, машина не пересчитывает.

Порядок сверху вниз даёт справочнику вторую способность: находить тело между двумя границами. Если на разрезе идут кровли KpII и KpIIIa, то между ними по порядку лежит междупластье KpII-KpIII, и полоса получает его имя и цвет. Пласты, которых на разрезе не оказалось, помечаются серым, а их перечень печатается в журнал - по нему сразу видно, чего не хватает в наборе поверхностей.

Имена слоёв обычно не совпадают с кодами дословно, поэтому поиск идёт лестницей от строгого к терпимому: точный код, затем без учёта регистра и крайних пробелов, затем приведённый вид (снят хвост роли `_top`, `_bottom`, `_кровля`, `_подошва`, латинские двойники букв сложены в кириллицу), и наконец тот же вид без апострофов. Так `KpII_top` находит код KpII, а `A'B_top` находит АБ. Строгие шаги идут первыми, поэтому если в справочнике есть и АБ, и А'Б как разные тела, каждый получит своё.

Тот же справочник подаётся в 4.02, и тогда полосы и колонки скважин говорят на одном языке кодов и совпадают по цвету.

Готовый образец для Верхнекамского месторождения лежит в папке **templates** внутри каталога плагина: 36 строк от покровных отложений до нижней каменной соли, с цветами и телами. Файл есть в двух видах, `plast_reference_vkms.xlsx` и `plast_reference_vkms.csv`. Возьмите его за основу и правьте под своё месторождение: колонки **толща** и **примечание** необязательные, они читаются, но пока не используются, и оставлены под будущее развитие.

Атрибуты выходных слоёв

Все слои разреза несут два общих поля: **sec** с именем разреза и **sec_id** с номером объекта исходной линии. По ним подписывают чертежи, фильтруют слой на один створ и раскрашивают разрезы по-разному.

Определение разреза - по линии на каждый разрез, с исходной геометрией створа и полями, которые читают последующие инструменты группы:

Поле	Что содержит
<code>sec</code> , <code>sec_id</code>	Имя разреза и номер исходной линии.
<code>vex</code>	Вертикальное преувеличение чертежа.

Поле	Что содержит
step	Шаг пикетажа, м (вершины ломаной включаются в пикетаж всегда).
zmin, zmax	Диапазон отметок чертежа.
ox, oy	Смещение чертежа в раскладке. Ноль у одиночного разреза.

Разрез (3D-забор) - вертикальные полигоны PolygonZ вдоль створа, по одному на пласт:

Поле	Что содержит
sec, sec_id	Имя разреза и номер исходной линии.
bed	Номер пласта сверху вниз.
top, bot	Имена поверхностей кровли и подошвы.
t_mean	Средняя мощность пласта вдоль створа, м.
seclen	Длина створа, м.

Угловые точки разреза: sec и sec_id, num (номер угла), name (имя УГ-1, УГ-2, ...), pos (верх или низ), d (пикет, м), x и y (координаты на карте), az (азимут следующего колена), label (готовая подпись). **Горизонтальные оси:** sec, sec_id, elev (отметка оси, м) и label. **Таблица углов:** sec, sec_id, kind (тип строки) и text (содержимое ячейки).

Параметры

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Линия разреза	Линейный слой. Годится галочка Только выделенные объекты .	-
Поверхности сверху вниз	Список растров-поверхностей. Нужно минимум две.	-
Порядок поверхностей из дерева слоёв проекта	Порядок берётся из панели Слои сверху вниз. Снятая галочка возвращает порядок отметок в списке.	включено
Разрез по каждой линии слоя	Пакетный режим. Снятая галочка строит разрез по первой линии.	включено
Поле имени разреза	Поле линейного слоя, из которого берётся имя. Пусто - нумерация по порядку.	-
Раскладка нескольких разрезов	Стопкой, в ряд или сеткой.	стопкой
Шаг выборки вдоль линии	Через сколько единиц карты брать отсчёт. 0 - по размеру ячейки.	0
Вертикальный масштаб	Режим: отношение габаритов, множитель или отношение масштабов Г:В.	отношение габаритов
Значение масштаба	Отношение ширина:высота, множитель или N из записи 1:N.	10

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Столбцов в сетке (Доп.)	Число столбцов для раскладки сеткой.	2
Зазор между разрезами (Доп.)	Доля от габарита чертежа.	0.15
Выборка раstra (Доп.)	Билинейно или ближайший.	билинейно
Справочник пластов (таблица)	Цвет, тело и порядок из данных.	пусто
Низ рамки, отметка (доп.)	Опускает рамку, чтобы было где рисовать. Пусто - по данным.	пусто
Верх рамки, отметка (доп.)	Поднимает рамку: устья скважин, уровни воды, подписи. Пусто - по данным.	пусто
Шаг отметок на осях (доп.)	Подписи с заданным шагом вместо округлённых по количеству. 0 - автоматически.	0
Линии поверхностей на чертеже	Выходной линейный слой, по линии на поверхность.	создаётся
Чертёж разреза (расстояние x высота)	Выходной полигональный слой для макета. Не создаётся при одной поверхности.	создаётся
Забор 3D (PolygonZ)	Выходной слой вертикальных стенок в реальных координатах. Не создаётся при одной поверхности.	создаётся

Каждый пласт получает атрибуты: номер, имена кровли и подошвы, среднюю мощность и длину разреза. Раскрашивайте слой по номеру пласта или по мощности. Там, где поверхность не определена (nodata), полоса разрывается, и пласт распадается на несколько полигонов.

Как попробовать на демо

Готовый учебный набор даёт инструмент **Пример для разреза (демо)** (4.10): шесть поверхностей сверху вниз, три линии разрезов, пара слоёв модели бурения collar и interval и многоканальные гриды пластов. Поверхности он раскладывает в дереве по залеганию сам, а три линии разной длины и с разным числом изломов удобны, чтобы посмотреть раскладку и общий вертикальный масштаб. Запустите его, затем подайте поверхности и линию сюда, пару collar и interval с определением в **Скважины на разрезе**, а грид пласта (каналы 1/2/3) в **Состав пласта на разрезе**. Полный состав набора в разделе 4.10.

Связь с QGIS

Простую кривую профиля по одному гриду строит штатная панель **Elevation Profile**, отдельный инструмент для этого не нужен. Разрез же показывает именно пласты между поверхностями, чего штатные средства не делают. Поверхность кригинга в 3D можно посмотреть и без разреза: в 3D Map View задайте грид рельефом.

4.02 Скважины на разрезе (модель бурения)

Инструмент **Скважины на разрезе** кладёт скважины на чертежи разрезов из пары слоёв модели бурения. Он стоит в группе **Разрез** и работает пакетно: один прогон обслуживает все разрезы определения.

Модель бурения

Скважины описываются двумя таблицами по минимальной модели горных пакетов (Leapfrog, Micromine, Datamine, Surpac). **collar** это точечный слой устьев с полями **hole_id** (идентификатор, строка), **z** (отметка устья) и **eoH** (глубина забоя по стволу). **interval** это обычная таблица интервалов с полями **hole_id**, **from**, **to** и **code** (чем красим: индекс пласта, литотип, класс). Глубины считаются по стволу от устья, вниз положительные, не отметками, поэтому наклонные скважины модель не ломают. Любые прочие колонки таблицы интервалов едут в атрибуты чертежа как есть.

Такую пару выдаёт **Пример для разреза (демо)** (4.10) и корпоративная выгрузка. Поля обеих таблиц инструмент находит сам по ожидаемым именам и распространённым синонимам (Hole_ID, elev, depth_from, litho), регистр не важен. Выбор полей спрятан в дополнительные параметры и нужен только для нестандартных слоёв. Что нашлось, печатается в журнал одной строкой.

Наклонные скважины

Третья таблица, **инклинометрия**, необязательна. Без неё скважина считается вертикальной: глубина по стволу переводится в отметку вычитанием из устья, и колонка стоит в одной точке разреза.

Инклинометрия задаёт ось замера: скважина, глубина по стволу, азимут от севера по часовой стрелке, зенитный угол от вертикали. Ноль зенита это вертикальная скважина, девяносто - горизонтальная. Такое соглашение принято в буровой документации.

Ось строится методом минимальной кривизны: между соседними замерами ствол считается дугой окружности. Касательный метод, при котором весь участок считается по нижнему замеру, при редких замерах уводит забой на десятки метров.

С инклинометрией меняются три вещи. Интервалы выносятся вдоль оси, поэтому кровля и подошва пласта стоят на разных расстояниях по разрезу. Ствол выходит ломаной, а не отрезком. Отбор по коридору идёт по всей оси, а не по устью: скважина с далёким устьем, но забоем у самой линии, при отборе по устью не попала бы на чертёж.

Наклон на чертеже с преувеличением отметок выглядит слабее, чем он есть. Отметки растянуты в $\sqrt{2}$ раз, а расстояние вдоль линии нет, поэтому видимый угол сжимается во столько же: при $\sqrt{2}$ около шестидесяти ствол с наклоном сорок пять градусов выглядит вертикалью. Инструмент выводит в журнал число наклонных стволов и наибольшее смещение забоя по горизонтали - по ним наклон проверяют числом, а не глазом.

Скважины без интервалов

Таблица интервалов тоже необязательна. Без неё на чертёж идут стволы и подписи: положение и глубину скважин показывают и на стадии проекта, когда геология ещё не описана.

Длину ствола в этом случае задаёт только забой eoH. Скважина без забоя пропускается, и число таких выводится в журнал: выдумывать глубину неправильно.

Когда устья и интервалы не сходятся

Самая частая ошибка комплекта - несовпадение hole_id между таблицами. Читатель сообщает не только число осиротевших интервалов, но и сами ключи с обеих сторон, а если причина распознаётся, называет её прямо: различается только регистр, строки набраны в разных раскладках, различаются только пробелами. Последнее особенно важно: кириллическая Н и латинская N на экране неотличимы.

Если ключи различаются по существу, причина не выдумывается. Тогда сверяют номера скважин в двух таблицах вручную.

Терпимый читатель

Данные читаются без предварительной чистки. Пустые и нечисловые глубины пропускаются, перепутанные from и to меняются местами, интервалы за забоем рисуются как есть, перехлёсты не разрешаются и не прячутся, разрывы между соседними интервалами не заполняются, интервалы без устья пропускаются. Всё пропущенное и принятое с оговоркой считается и выводится в журнал короткой сводкой. На чистых данных сводка состоит из одной строки. Разрыв в колонке на чертеже означает, что на эти глубины в таблице интервалов нет строк: инструмент рисует данные и ничего не додумывает, а число разрывов печатает в сводке.

Пакетность и совмещение

Линии, вертикальный масштаб и раскладка берутся из определения разреза, которое выдаёт **Разрез по линии**. Каждая скважина проецируется на каждую линию и попадает на те чертежи, к которым она ближе коридора (0 - на все). Глубины переводятся в отметки вычитанием из z, множитель vех общий из определения, поэтому колонки ложатся на пласты по высоте без подгонки.

Слой устьев может лежать в другой системе координат, чем определение, например при выгрузке из корпоративной базы в рабочей системе предприятия. Инструмент переводит устья в систему определения сам и печатает об этом строку в журнал вместе с координатами первого устья. Если коридор оказался пуст, журнал сообщает удаление ближайшего устья от линии, и по этому числу сразу видно, узок ли коридор или слои живут в разных местах.

Раскраска и легенда

Слой интервалов сразу выходит раскрашенным: категория на каждый код в порядке первого появления сверху вниз, цвет детерминирован от самого кода и не меняется между прогонами и машинами. Легенда «код - цвет» появляется в дереве слоёв сама. Последней стоит серая категория **прочее**, в неё попадает всё, что не сопоставилось с известными кодами, поэтому ничего не исчезает молча. Колонки обведены тонким чёрным контуром и читаются поверх полос разреза. Полосы пластов в **Разрез по линии** красятся тем же механизмом по имени кровли, поэтому пласт, названный тем же кодом, что в таблице интервалов, совпадает по цвету с колонками сам собой. Стволы рисуются тонкой серой линией от устья до забоя, устья точками с короткой подписью. Подпись берётся из поля **number** слоя устьев (синонимы name и label), а без него из hole_id, составной идентификатор при этом остаётся в атрибутах для стыковки.

Обрезка по чертежу и рамке

По умолчанию колонки обрезаются рамкой чертежа - интервалом отметок zmin и zmax из определения. Интервал на кромке подрезается до кромки, интервал целиком за рамкой пропускается, ствол и подпись зажимаются рамкой, скважина целиком за рамкой выпадает из чертежа. Галочка выключает обрезку совсем.

Рамка одна на весь чертёж, а кровля верхней толщи в каждой точке своя, поэтому для среза по пластам подайте необязательный вход **Чертёж разреза** - полигоны полос из **Разрез по линии**. Колонки режутся по верхней и нижней огибающей полос в своей позиции, скважины не вылезают за чертёж, как в горных пакетах. За краем полос этот вход не действует, там продолжает работать рамка.

Допуск в дополнительных параметрах расширяет рамку и полосы наружу, в единицах отметки. Обрезается только геометрия, в атрибутах ztop и zbot остаются настоящие отметки интервала.

Цвет колонок: справочник пластов

По умолчанию цвет интервала считается от его кода и не меняется между прогонами. Необязательный вход **Справочник пластов (таблица)** заменяет эти цвета на цвета справочника: найденные коды красятся из него, порядок категорий в легенде идёт по залеганию сверху вниз, коды вне справочника сохраняют прежний цвет. В журнале появляются сводка чтения и строка о том, сколько кодов нашлось.

Справочник у 4.01 и 4.02 может быть один и тот же, и это его сильная сторона. Полосы чертежа несут код пласта, а интервалы скважин часто несут породу. Если в таблице интервалов есть поле с индексом пласта, укажите его как поле кода и подайте тот же справочник, что в 4.01 - тогда колонки сольются с полосами по цвету, и на чертеже останется видно только расхождение скважины с построенной поверхностью. Если же интервалы несут литологию, справочник пластов ей не поможет, там нужна своя легенда.

Параметры

Параметр	Что задаёт	По умолчанию
Определение разреза	Линии, vех и раскладка от Разрез по линии.	-
Устья скважин (collar)	Точечный слой устьев.	-
Интервалы скважин (interval)	Таблица интервалов.	-
Коридор от линии	Буфер, единицы карты. 0 - все скважины на все разрезы.	0
Обрезать интервалы по рамке чертежа	Рамка zmin и zmax из определения.	включено
Чертёж разреза (для обрезки)	Полигоны полос из 4.01, срез по огибающим.	пусто
Поля collar и interval (Доп.)	Переопределение автопоиска полей.	находятся сами
Поле подписи устья (Доп.)	Откуда короткая подпись устья.	number
Допуск обрезки (Доп.)	Расширение рамки и полос, единицы отметки.	0
Справочник пластов (таблица)	Цвет и порядок кодов из данных.	пусто
Интервалы скважин (чертёж)	Вертикальные отрезки с раскраской по коду.	создаётся
Стволы скважин (чертёж)	Линии от устья до забоя.	создаётся
Устья на чертеже	Точки с подписью из number.	создаётся
Интервалы скважин (3D)	LineStringZ в реальных координатах, глубина в Z.	по запросу

Выбранные слои и коридор запоминаются, следующий запуск в том же проекте открывается с уже подставленными входами.

4.03 Состав пласта на разрезе

Инструмент **Состав пласта на разрезе** красит полосу одного пласта по гриду состава вдоль линий. Он берёт кровлю, подошву и грид состава, свой кригинг не делает, и работает по одному пласту за раз. Он стоит в группе **Разрез**.

Так показывают смену литологического состава внутри промышленного пласта вдоль разреза. Грид состава готовят отдельно: содержание обычным кригингом, минеральный тип - индикаторным (инструмент **Категориальный индикаторный кригинг**).

Два режима

Непрерывное содержание (KCl, нерастворимый остаток): полоса режется на тонкие вертикальные срезы, каждый со средним значением. Стиль слоя ставьте градиентный (по полю **value**), тогда вдоль полосы виден плавный переход содержания.

Категориальный минеральный тип или фации (сильвинит, замещение, галит): смежные срезы одного класса сливаются в фациальные зоны. Стиль ставьте по категориям (по полю **class**). Зоны замещения видны как смена цвета вдоль линии.

Параметры

Параметр	Что задаёт	По умолчанию
Линия разреза	Та же линия, что и для разреза.	-
Кровля пласта	Растр кровли.	-
Подошва пласта	Растр подошвы.	-
Грид состава	Растр содержания или класса.	-
Состав	Непрерывное или категориальное.	непрерывное
Шаг выборки вдоль линии	Через сколько единиц брать отсчёт. 0 - по ячейке.	0
Вертикальный масштаб	Режим: отношение Г:В или множитель.	Г:В
Значение масштаба	Отношение Г:В или множитель.	10
Выборка раstra (Доп.)	Билинейно или ближайший (для класса всегда ближайший).	билинейно
Состав пласта (чертёж)	Выходные полигоны в осях расстояние×высота.	создаётся
Состав пласта (3D)	Полигоны PolygonZ в реальных координатах.	по запросу

Запускайте инструмент по каждому промышленному пласту отдельно, со своим гридом состава. Полосу состава кладите поверх чертежа разреза. Для точного наложения возьмите множитель, напечатанный инструментом **Разрез по линии**, и задайте его здесь в режиме **множитель** (отношение Г:В считается по одному пласту и для наложения не годится).

Определение разреза и общие параметры

Геометрически разрез задают две вещи - линия в реальной системе координат и вертикальный масштаб vex. Инструмент **Разрез по линии** выдаёт их вместе как слой **Определение разреза**: по линии на каждый разрез, с полями sec, sec_id, vex, step, zmin, zmax, ox и oy. Это общий источник правды.

Инструменты пересечения, проекции, обратной проекции читают линию и vex из этого определения, поэтому их результаты ложатся на разрез без ручной подгонки масштаба. Постройте разрез один раз, определение переносится вместе с проектом и подаётся в остальные инструменты группы.

Когда разрезов несколько, определение несёт их все. Инструменты **Пересечение поверхностей с разрезом** (4.04), **Пересечение векторов с разрезом** (4.05) и **Пересечение TIN с разрезом** (4.06) обрабатывают весь набор за один прогон: каждый результат ложится на свой чертёж по смещению из полей ox и oy и получает поля sec и sec_id. Нужен один разрез

- поставьте фильтр на слой определения или выделите нужную линию, порядок объектов сохраняется. Если в определении окажутся разрезы с разным *vex* (такое бывает, если склеить определения от разных запусков), инструмент предупредит, что чертежи несопоставимы, и посоветует пересобрать их одним прогоном.

Инструменты **Состав пласта на разрезе** (4.03), 4.07 и 4.08 пока работают по одному разрезу и берут из определения первый. **Скважины на разрезе** (4.02) обрабатывают весь набор пакетно. При нескольких разрезах подавайте им определение, отфильтрованное на нужный створ.

Слой определения, сделанные прежними версиями плагина, читаются по-старому. Полей *sec* и *ох* в них нет, поэтому имя выходит пустым, смещение нулевым, и результат ложится ровно так же, как раньше.

Инструмент **Состав пласта на разрезе** принимает определение разреза необязательным входом: если оно задано, вертикальный масштаб берётся из него, и полоса состава точно ложится на пласты по высоте. **Скважины на разрезе** работают только от определения, отдельного выбора масштаба у них нет.

Разрез также обрезает выклинивания: где кровля опускается до подошвы, пласт пропадает, полоса не строится. Так в демо второй промышленный пласт выклинивается к востоку.

Для ломаной линии «Разрез по линии» по запросу выдаёт три служебных слоя в осях чертежа. Угловые точки ставятся на каждом узле ломаной, сверху и снизу разреза. У точки поля: номер, имя (УГ-1, УГ-2 ...), сторона (верх или низ), расстояние вдоль линии, плановые X и Y, азимут отрезка и готовая подпись. Сверху подписывается имя, снизу - плановые координаты X и Y, округление до сотых. Азимут и расстояние остаются полями слоя - их удобно вынести в таблицу макета. Прилагается стиль: вверху треугольник вершиной вверх, внизу полка.

Опционально выдаётся таблица углов - слой-полигоны под разрезом. Ячейки лежат между угловыми вертикалями, границы проходят под ними, две строки: длина и азимут отрезка между соседними углами, подпись по центру, заливка белая. Она рисуется прямо на холсте и уезжает в макет вместе с разрезом. Угловые вертикали - линии на узлах ломаной на всю высоту разреза. Горизонтальные оси - линии равной высоты с отметками (по умолчанию пять, с хорошим округлением) для шкалы высот. Поля чертежа расширены на пять процентов вверх и вниз, угловые точки сидят на этих краях.

4.04 Пересечение поверхностей с разрезом

Инструмент **Пересечение поверхностей с разрезом** наносит поверхности-гриды на разрез линиями в осях расстояние-высота. Каждый грид выбирается вдоль линии определения, и его сечение ложится на чертёж рядом с пластами. Линия и *vex* берутся из определения разреза, поэтому совпадение с разрезом автоматическое.

Так на разрез наносят водоносные горизонты, маркирующие поверхности, кровлю соли, поверхности аномалий. На вход - определение разреза и список гридов, на выходе линии в осях разреза (и при желании 3D-линии в реальных координатах).

Проекция объектов и обратная проекция проверены на реальных данных и метку **(бета)** больше не несут. Развёртка стенки ствола остаётся помеченной: она рабочая, но её интерфейс и набор примеров ещё уточняются.

Параметры

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Определение разреза	Слой определения от 4.01: линия с полями <i>vex</i> и <i>step</i> . Задаёт линию, масштаб и высоту рамки.	-

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Поверхности-гриды	Список растров, чьи сечения наносятся на разрез линиями.	-
Шаг выборки вдоль линии (Доп.)	Через сколько единиц карты брать отсчёт. 0 - по размеру ячейки.	0
Выборка раstra (Доп.)	Билинейно или ближайший.	билинейно
Линии поверхностей на разрезе (чертёж)	Выходные линии в осях расстояние × высота.	создаётся
Линии поверхностей (3D)	Выходные 3D-линии в реальных координатах.	по запросу

4.05 Пересечение векторов с разрезом

Если поверхности 4.04 наносятся гридами, то этот инструмент наносит на разрез **векторные** объекты по точному пересечению с линией разреза. Тип результата зависит от объекта.

Линия **без отметки высоты** (плоская в плане - разлом, граница, контур) даёт **вертикаль на всю высоту** в станции пересечения. Известно, где разрез её пересекает по горизонтали, но не на какой глубине, поэтому метка идёт через всю рамку. Линия **с отметкой Z** (3D-объект, наклонный, контур поверхности) даёт **точку** на реальной высоте в месте пересечения - например, контур кровли с отметкой ложится точкой ровно на пласт. Полигон (зона в плане - замещение, шахтное поле, лицензия) даёт **вертикальную полосу** на интервале, где разрез идёт сквозь зону.

Линия, вех и высота рамки берутся из определения разреза - его пишет **Разрез по линии**, и в нём теперь хранится вертикальный размах. Поэтому для объектов без Z подавать ничего не нужно. Для старых определений без высоты остаётся запасной путь: **Чертёж разреза** необязательным входом или диапазон Z в дополнительных. Когда у объекта есть Z, высота не нужна - точка ставится по отметке. Пустые выходы не создаются: разлом даёт только вертикали, маркер - только точки, зона - только полосы.

В отличие от **Проекции объектов на разрез** (приблизительной, по коридору) это точное пересечение - метка появляется только там, где геометрия реально режет линию разреза. На вход можно подать **сразу несколько слоёв** (линии и полигоны вперемешку) - все обработаются за один прогон, как список поверхностей в 4.04, а в выходах поле **src** хранит слой-источник каждой метки. Демо-генератор выдаёт разлом, маркер с Z и зону замещения, пересекающие демо-разрез, - на них инструмент пробует сразу.

Параметры

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Определение разреза	Слой определения от 4.01: линия, вех и высота рамки. Для объектов без Z этого достаточно.	-
Слои для пересечения	Линии и полигоны вперемешку, за один прогон. В выходах поле src хранит слой-источник.	-
Чертёж разреза	Запасной источник высоты рамки для старых определений без zmin/zmax.	по желанию

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Переносить атрибуты объектов на разрез	Поля исходных объектов уходят в выходы, чтобы красить и подписывать метки по своим данным.	включено
Сохранять имя исходного слоя	Выход называется по исходному слою, когда он один.	выключено
Сохранять стиль исходного слоя	Оформление берётся у исходного слоя, а не из штатного стиля модуля.	выключено
Линия рельефа на чертеже	Слой линий поверхностей от 4.01. Верх зон и разломов ложится по рельефу, а не по рамке.	по желанию
Линия низа на чертеже	Тот же слой или его часть. Низ зон и разломов ложится по подошве, а не по рамке.	по желанию
Поле нижней отметки полос и вертикалей	Низ каждого объекта из его собственного атрибута.	по желанию
Нижняя отметка это глубина от верха (Доп.)	Переключает чтение поля с абсолютной отметки на глубину.	выключено
Низ диапазона Z (Доп.)	Нижняя отметка рамки, если нет ни определения с высотой, ни чертежа.	0
Верх диапазона Z (Доп.)	Верхняя отметка рамки в том же случае.	0
Вертикали на разрезе	Выход для линий без Z (разлом, граница): вертикаль на всю высоту.	создаётся
Точки пересечения	Выход для линий с Z (контур с отметкой): точка на реальной высоте.	создаётся
Полосы зон на разрезе	Выход для полигонов (зона в плане): вертикальная полоса на интервале.	создаётся

Пустые выходы не создаются: каждый тип объекта идёт только в свой слой.

Имя и стиль исходного слоя

Две галочки для случая, когда на вход подан один слой. Обе по умолчанию выключены, поэтому прежние прогоны воспроизводятся без изменений.

Сохранять имя исходного слоя. Выход называется по источнику: слой геологии даёт «Геология на разрезе» вместо универсального «Полосы зон на разрезе». Если один слой родил сразу несколько видов объектов, к имени добавляется вид, иначе три слоя в дереве назывались бы одинаково.

Сохранять стиль исходного слоя. Оформление берётся у самого слоя, а не из штатного стиля модуля. Вместе с переносом атрибутов это снимает главную ручную работу на разрезе: категорийная раскраска геологии по полю ложится на полосы как есть, повторять палитру вручную не нужно. Стиль переносится, когда тип геометрии совпадает: полигоны в полосы, линии без отметки в вертикали. Линия с отметкой Z даёт точку, линейный стиль на неё не встанет, и там остаётся штатный.

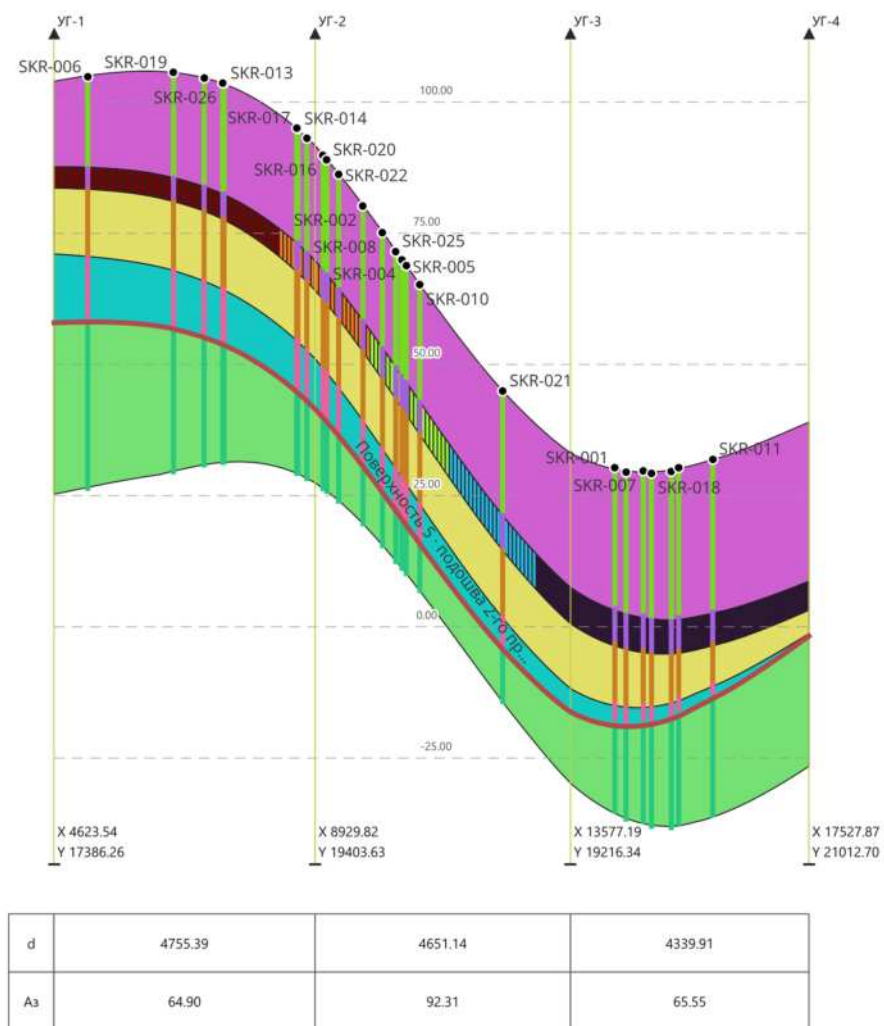


Рис. 28: Оформление разреза: рамка с угловыми вертикалями и треугольниками, горизонтальные оси с отметками слева и таблица углов под разрезом.

Слоёв подано несколько - обе галочки молчат, потому что выходы сводят все источники в один слой, и в журнал уходит строка почему.

Обрезка по рельефу и линии низа

Зоны и разломы по умолчанию рисуются на всю высоту рамки: известно, где объект пересекает линию, и неизвестно, на какой он глубине. Три необязательных параметра снимают это ограничение по краям.

Линия рельефа на чертеже обрезает объекты сверху. Подавайте слой линий рельефа, который выдаёт **4.01 Разрез по линии**. Верх зон и разломов ляжет по рельефу, а кромка полосы повторит его переломы, а не останется прямой.

Обрезка идёт именно по линии с чертежа, а не по растру ЦМР, и это осознанно. Разрез мог строиться по другой поверхности, и тогда растр с чертежом разойдутся. Обрезать надо по тому, что человек видит перед собой. Разрезы сопоставляются по полю **sec_id**, поэтому в пакетном прогоне каждый чертёж режется своим профилем.

Линия низа на чертеже обрезает объекты снизу и устроена так же. Подавайте подошву, почву пласта или любую нижнюю поверхность с того же чертежа. Линии нет, низ остаётся по рамке.

Если в слое несколько поверхностей, обрезка идёт по огибающей: сверху по самой высокой, снизу по самой низкой. Поэтому выход **Линии поверхностей на чертеже** годится как есть, подавать его можно сразу в оба входа. Когда нужна одна конкретная поверхность, подайте слой, отфильтрованный по полю **name**.

Кромки считаются в одних и тех же станциях, узлы обеих линий сводятся в общий набор. Иначе верх и низ, посчитанные каждый по своим станциям, пересеклись бы между узлами и полоса вышла бы вывернутой. Низ не поднимается выше верха: там, где линия низа прошла над рельефом, полоса схлопывается и объект не выдаётся вовсе. Число срезанных целиком печатается в журнал, обычно это зоны, лежащие выше рельефа.

Поле нижней отметки задаёт низ полос и вертикалей поштучно, из атрибута самого объекта. По умолчанию значение читается как абсолютная отметка. Флажок в дополнительных параметрах переключает его на глубину от верха объекта: это удобно, когда в данных записана мощность зоны, а не её подошва. Ниже рамки низ не опускается ни в каком случае.

Атрибуты объектов на разрезе

Флажок **Переносить атрибуты объектов на разрез** включён по умолчанию. Смысл простой: полосы и вертикали на чертеже красятся и подписываются по вашим же полям, без ручного связывания с исходным слоем.

Слоёв подаётся несколько, схемы у них разные, поэтому колонки сводятся в один общий набор. Поле, которого у слоя нет, остаётся пустым. Одинаковое имя в разных слоях считается одной колонкой, тип берётся от первого слоя, где оно встретилось.

Имена, совпадающие со служебными (**sec, src, label, d, z, d1, d2**), переименовываются с суффиксом. Это не косметика: колонка **d** несёт расстояние вдоль разреза, и атрибут объекта с тем же именем молча подменил бы координату, а заметили бы это уже на чертеже.

Число собранных колонок печатается в журнал.

Угол и азимут падения. Линия без отметки по умолчанию даёт вертикаль: известно где, неизвестно под каким углом. Если заданы угол и азимут падения - полями по имени или постоянными на слой, - вместо вертикали рисуется след падения от поверхности вниз, а полоса зоны становится параллелограммом.

На чертёж выходит не истинный угол, а **видимый**:

$$\text{tg(видимый)} = \text{tg(истинный)} \cdot \cos(\text{азимут падения} - \text{азимут разреза})$$

Разрез вкрест простирания даёт истинный угол, разрез по простиранию - ноль, и объект ложится горизонтально. Азимут разреза берётся по звену, на котором лежит пересечение, поэтому на ломаном профиле наклон в разных местах разный.

Азимут обязателен и из геометрии не выводится: один и тот же объект может падать в любую сторону. Без него объекты остаются вертикальными - молчаливое допущение «плоскость перпендикулярна разрезу» и есть частая ошибка построения. Сторону наклона задавать не надо, её решает знак косинуса.

Длина следа задаётся по горизонтали в метрах, ноль означает до рамки. Короткий след-указатель обычно берут в полтора-два сантиметра на листе: при 1:2000 это 30-40 м.

В атрибуты пишутся три числа: **dip** (истинный), **dip_az** и **app_dip** (видимый). Мерить угол транспортиром по чертежу нельзя - вертикальный масштаб искажает нарисованный наклон, как искажает и всё остальное на разрезе.

4.06 Пересечение TIN с разрезом

Растровый грид (4.04) - это $z = f(x, y)$, одно значение высоты на точку плана. Опрокинутую складку он передать не может в принципе: над одной точкой у неё несколько отметок одной поверхности. Этот инструмент режет разрезом **TIN** - поверхность из настоящих 3D-треугольников, которая умеет нависать.

Механика чисто геометрическая. Разрез - вертикальная штора вдоль ломаной. Каждый треугольник TIN пересекается с вертикальной плоскостью своего сегмента, даёт отрезок (станция вдоль линии, реальная высота), и все отрезки собираются в трассу поверхности. Нависание выходит само собой: над одной станцией оказывается несколько отрезков по высоте, и трасса заворачивается - крылья опрокинутой складки ложатся как есть.

На вход - слои **3D-полигонов** (PolygonZ, грани TIN, при этом не-треугольники разбиваются веером на треугольники) и при желании **меш-слой**. Линия и вех берутся из определения разреза, высота - с самих граней, поэтому для TIN задавать ничего не нужно. Кроме чертёжной трассы можно получить её и в реальных 3D-координатах.

Важное ограничение: **меш QGIS - это 2.5D**, высота в нём скаляр на вершине, над точкой снова одно значение, опрокинутое в меше не сохраняется. Поэтому нависание дают только настоящие 3D-грани от геоделлера (Leapfrog, Micromine и подобные). Меш принимается для общности, на однозначных поверхностях. Демо-генератор выдаёт опрокинутую TIN-складку - на ней заворот трассы виден сразу.

Параметры

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Определение разреза	Слой определения от 4.01: линия и вех. Высота берётся с самих граней.	-
Грани TIN (PolygonZ)	Слои 3D-полигонов - грани TIN от геоделлера. Нависание и опрокинутое воспроизводятся.	необязательно
Меш-слой (2.5D)	Меш QGIS для общности. Над точкой одно значение, опрокинутое в меше не сохраняется.	необязательно
Трасса TIN на разрезе (чертёж)	Выходная 2D-трасса в осях разреза, может заворачиваться.	создаётся

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Трасса TIN (3D)	Выходная трасса в реальных 3D-координатах.	по запросу

Подайте хотя бы один из двух входов - грани TIN или меш.

4.07 Проекция объектов на разрез

Инструмент **Проекция объектов на разрез** проецирует точки, линии и полигоны на линию разреза. Для каждой вершины горизонталь это расстояние вдоль линии до её проекции, высота - отметка из 3D-геометрии или из выбранного поля. Дальние объекты отсекаются коридором.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Определение разреза	Линия разреза с полем vex (вертикальное преувеличение).	-
Объекты для проекции	Слой, объекты которого проецируются на плоскость разреза.	-
Поле отметки	Атрибут Z, если геометрия объектов без Z.	-
Коридор от линии	Ширина полосы захвата от линии разреза. 0 = все объекты.	0
Сохранять имя исходного слоя	Имя выхода строится от имени источника.	снято
Сохранять стиль исходного слоя	Оформление берётся у самого слоя, а не из штатного стиля.	снято
Объекты на разрезе (чертёж)	Выход: объекты в координатах чертежа разреза.	-

Это обобщение проекции скважин на любые объекты: аномалии, точки опробования, трассы, контуры. Результат в осях разреза, кладётся поверх чертежа.

Все разрезы определения

Инструмент работает по всем разрезам определения, а не по первому. Каждый объект выносится на тот чертёж, к линии которого он попал в коридор, и в атрибутах остаются имя разреза и его номер - по ним результат делится на чертежи. Чертежи разносятся смещением из определения, как в 4.01.

Галочка **Выносить на все разрезы** снимает отбор по коридору, и объект ложится на каждый чертёж. Это нужно для линий самих створов и для объектов, общих на всю площадь: по расстоянию они попадали бы только на свой разрез.

Имя и стиль исходного слоя

Две галочки для тех, кто уже настроил оформление в плане. Имя выхода строится от имени источника, а оформление берётся у самого слоя. Категорийный стиль ложится на разрез как есть, и легенда остаётся прежней. Так же устроено в **Пересечении векторов с разрезом** (4.05).

Стиль переносится, когда тип геометрии выхода совпадает с типом источника. Точки проецируются точками, полигоны полосами - там оформление встаёт один в один. Линия с отметкой Z даёт на разрезе точку, и линейное оформление на неё не встанет: в этом случае остаётся штатный стиль, о чём сказано в журнале.

4.08 Спроецировать с разреза

Инструмент **Спроецировать с разреза** делает обратное: объекты, нарисованные на чертеже разреза, возвращает в реальные координаты. Горизонталь вершины читается как расстояние вдоль линии (даёт план), высота - как отметка $Z = \text{высота} / \text{вех}$. Линия и вех берутся из того же определения, по которому строился чертёж.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Определение разреза	Линия разреза с полем вех.	-
Объекты с чертежа разреза	Объекты в координатах чертежа для возврата в план.	-
Объекты в плане (с отметкой Z)	Выход: объекты в плановых координатах с восстановленной отметкой.	-

Так нарисованный руками на разрезе объект - контур залежи, нарушение, граница - попадает обратно в план и в 3D с отметкой Z.

Манифест модели вместо списка слоёв

Инструмент **Манифест модели** (5.05) записывает в свойства проекта, какую роль играет каждый слой: опорная поверхность, контакт тела, устья, интервалы, замеры оси, справочник. Разрез и скважины эту разметку читают.

Если поверхности в 4.01 не заданы, берутся все слои с ролью контакта тела, в порядке дерева слоёв. Если в 4.02 не заданы устья, интервалы или инклинометрия, каждый из этих входов ищется по своей роли. Взятые из манифеста называются в журнале поимённо, чтобы подстановка не осталась незамеченной.

Правило одно и оно важнее удобства: манифест сокращает путь, но не становится условием работы. Нет ролей, потому что проект чужой или унаследованный, - всё работает по явному выбору, как раньше.

Обратный ход: правка контакта на разрезе

Цикл замыкается так. Геолог видит на чертеже, что контакт пласта проведён неверно, и рисует его правильно линией в осях разреза. Инструмент возвращает эту линию в план с отметкой Z у каждой вершины.

Галочка **Отдавать вершинами** превращает результат в точки. Это нужно потому, что дальше отметки идут в построение поверхности, а туда принимаются наблюдения точками: в кригинге такая точка закрепляет поверхность точно при нулевом наггете, в Topo2Raster становится жёстким узлом.

Поле **src** помечает происхождение. Контакт, снятый с разреза, это интерпретация, а не замер, и в общей выборке со скважинами его надо отличать. По этому полю точке задают меньший вес полем весов декластеризации, и рисунок перестаёт весить столько же, сколько скважина.

Раскоп: все борта сразу

У раскопа или карьера по каждой стенке строится свой разрез. Чертежи ложатся на один холст рядом, разнесённые смещением из определения. Геолог рисует слои на каждом чертеже по ортофото стенки.

Обратный ход возвращает нарисованное в план, и каждый объект садится на линию своего разреза: инструмент выбирает разрез по тому, в чьей полосе чертежа объект нарисован. Расстояние вдоль оси отсчитано от начала своего разреза, и на чужой линии оно указывало бы не туда.

Тип геометрии сохраняется. Точки возвращаются точками, линии линиями, полигоны вертикальными площадями. Вертикальная площадь правильно выглядит в 3D, но в плане это полоса на линии разреза с нулевой площадью, поэтому для расчётов по ней берут вершины.

Дальше контакты со всех стенок собираются в одну выборку, к ним добавляются точки кровли, снятые внутри раскопа, и по общей выборке строится поверхность. Контакты с разреза это интерпретация по фотографии, а снятые точки - инструментальный замер, поэтому происхождение стоит пометить полем **src** и задать разный вес в кригинге.

4.09 Развёртка стенки ствола (бета)

Инструмент **Развёртка стенки ствола** строит цилиндрический разрез. Вокруг оси ствола на заданном радиусе берётся окружность с угловым шагом (по умолчанию 1 градус), и поверхности-гриды выбираются вдоль неё. Развёртка ложится в оси длина дуги по окружности - высота.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Ось ствола (точка устья)	Точка устья ствола.	-
Радиус ствола, ед. карты	Радиус развёртки стенки.	4
Поверхности-гриды (маркирующие)	Гриды поверхностей, отметки которых наносятся на развёртку.	-
Угловой шаг, градусы	Шаг обхода стенки по азимуту.	1
Вертикальный масштаб	Режим вертикального преувеличения (отношение Г:В или множитель).	отношение
Значение масштаба	Число преувеличения по выбранному режиму.	10
Выборка раstra (доп.)	Способ снятия значения с грида поверхности.	-
Развёртка стенки (дуга × высота)	Выход: развёртка стенки ствола.	-

Каждая маркирующая поверхность даёт линию своего пересечения со стенкой ствола - при падении пластов линии наклонены и волнисты. Ось задаётся точечным слоем устья, радиус в единицах карты, вертикальный масштаб как у разреза.

4.10 Пример для разреза (демо)

Инструмент **Пример для разреза (демо)** готовит полный учебный набор для группы **Разрез**, чтобы опробовать её инструменты без кригинга реальных данных. В панели он стоит в группе **Разрез** последним.

За один прогон выдаются шесть стопкой поверхностей с падением и переменной мощностью (пять пластов в переслаивании, второй и четвёртый промышленные и тонкие), три линии

разрезов через площадь (ломаная с двумя изломами, короткая прямая и наклонная с одним изломом), готовая пара слоёв модели бурения, таблица инклинометрии и по многоканальному гриду на каждый промышленный пласт. Каждая третья скважина в наборе наклонная: зенит от 45 до 70 градусов с набором по стволу, азимут вдоль линий разрезов. Скважина, наклонённая поперёк разреза, проецировалась бы почти в точку, и проверить по ней вынос интервалов вдоль оси было бы не на чем. Остальные скважины вертикальные, чтобы на одном наборе было видно и то, и другое поведение. Конвенция каналов грида пласта: канал 1 - кровля, канал 2 - подошва, каналы 3 и далее - параметры (здесь содержание и минеральный тип с зоной замещения, поля содержания у пластов независимые, стохастические). Один файл описывает пласт целиком - как блочную модель, куда новые параметры добавляются каналами. Для инструментов пересечения добавлены демонстрационные векторы: разлом без отметки высоты, маркирующий контур с Z, зона замещения и опрокинутая TIN-складка из 3D-граней PolygonZ.

Скважины с интервалами опробования

Пара слоёв модели бурения выдаётся готовой, в том же формате обмена, в котором выгружает Геоинструмент. Вместе с ней выдаётся **справочник пластов демо**: те же коды, что стоят в интервалах, с порядком залегания, телом и цветом. Поставляемый справочник из 4.11 собран по Верхнекамскому месторождению и кодов демо не знает, поэтому без своего справочника колонки демо оставались без цвета.

Полосы пластов в 4.01 демо-справочник не красит, и это не недоделка, а устройство поиска. Пласт там определяется по именам слоёв кровли и подошвы: у слоя **KpII_top** снимается роль и остаётся код **KpII**, по нему справочник и опрашивается. Поверхности демо названы просто номерами и кода пласта не несут, поэтому полосы остаются в цветах по умолчанию. На своих данных, где слои названы кодами пластов, тот же справочник красит и полосы, и колонки. **Устья collar** это точечный слой с отметкой устья и глубиной забоя, **интервалы interval** это обычная таблица с глубинами по стволу от устья и кодом пласта.

Поэтому инструмент **4.02 Скважины на разрезе** пробуете без своих данных и без обращения к базе: запустите 4.10, затем 4.01 по любой из трёх линий, затем 4.02 с этой парой, определением разреза и демо-справочником. Колонки скважин получают цвет и порядок в легенде. Скважины стоят вдоль всех трёх линий, так что колонки лягут на любой чертёж. Та же пара без изменений годится и для трёхмерного просмотра: там глубина уходит в Z напрямую, без вертикального масштаба и смещения раскладки.

Многоканальный грид пласта (GeoTIFF)



Рис. 29: Конвенция многоканального грида пласта: каналы 1-2 несут геометрию (кровля и подошва), каналы 3 и далее - параметры. Один файл кормит инструмент 4.03.

Слои демо и их атрибуты

Слой	Геометрия	Атрибуты
Линии разрезов (демо)	линия	name (Разрез 1, 2, 3). Три створа разной длины: ломаная с двумя изломами (вершины проверяют пикетаж), короткая прямая и наклонная с одним изломом.
Устья collar (демо)	точки	hole_id, z (отметка устья), eoh (глубина забоя), number для подписи.
Интервалы interval (демо)	таблица	hole_id, from, to (глубины по стволу от устья), code (индекс пласта).
Справочник пластов (демо)	таблица	code, order, body, color, strata. Под коды интервалов демо.
Зона (демо, полигон)	полигон	name. Для инструмента пересечения векторов 4.05.
Разлом (демо, 2D)	линия	name. Секущая створа, смещена с излома линии.
Маркер с Z (демо, 3D)	линия Z	name. Проверка 3D-геометрий в 4.05.
Опрокинутая TIN (демо)	полигоны Z	name. Опрокинутая складка для 4.06.
Поверхность 1...6	растр	Один канал отметок.
Пласт 1-й/2-й пром.	растр	Каналы: 1 кровля, 2 подошва, 3 содержание, 4 минтип.

Рабочий цикл показан в разделе 4.01: поверхности идут в **Разрез по линии**, пара collar и interval в **Скважины на разрезе**, грид состава в **Состав пласта на разрезе**, а демо-векторы и TIN в инструменты пересечения 4.05 и 4.06. Так вся группа разреза прокатывается на согласованных данных.

Параметры

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Область (экстент)	Прямоугольник, в котором генерируется набор.	задать по проекту
Зерно генератора (Доп.)	Зерно ГСЧ для воспроизводимости. 0 - случайно при каждом запуске.	0
Поверхность 1...6	Шесть растров сверху вниз: кровли и подошвы вмещающих и двух промышленных пластов.	создаются
Линии разрезов (3 шт.)	Три створа через площадь для подачи в 4.01. Инструмент по умолчанию строит разрез по каждому.	создаются
Устья скважин collar	Точечный слой модели бурения (hole_id, z, eoh, PointZ).	создаётся
Интервалы скважин interval	Таблица модели бурения (hole_id, from, to, code, kcl).	создаётся

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Пласт 1-й пром.	Многоканальный грид: кровля, подошва, содержание, минтип.	по запросу
Пласт 2-й пром.	То же для второго промышленного пласта, поля независимые.	по запросу
Разлом, маркер с Z, зона	Демо-векторы для 4.05: линия без Z, контур с Z, полигон зоны.	по запросу
Опрокинутая TIN	3D-границы опрокинутой складки для 4.06.	по запросу

Полный перечень полей выходных слоёв - в приложении **Данные для разреза** (раздел «Поля демо-слоёв» в конце руководства).

Структурные элементы и следы выхода. Демо отдаёт два слоя с аналитическим эталоном для проверки углов.

Структурные элементы: три линии пересекают прямой Разрез 2 при одном истинном угле 25 градусов и разных азимутах падения. Видимые углы выходят 25, 18.25 и ноль, ожидаемое значение записано в поле **app_exp**, поэтому результат 4.05 сверяется числом, а не на глаз. Прямой разрез выбран нарочно: на ломаном азимут звена меняется по ходу, и эталон перестаёт быть однозначным.

Следы выхода для 4.12: пологий (20 градусов), крутой (72) и намеренно прямой в плане. По первым двум инструмент обязан вернуть числа из полей `dip_true` и `az_true`. Третий проверяет отказ - залегание по прямому следу не определено. Крутой нужен отдельно: подгонка по z на нём поплыла бы.

4.11 Образец справочника пластов

Инструмент кладёт в проект поставляемый образец справочника пластов - тот самый, который читают **4.01** и **4.02**. Нужен он по простой причине: образец лежит файлом в каталоге плагина, куда пользователь обычно не заглядывает. Без этого шага справочник приходится искать руками, а не найдя, подать в разрез первую попавшуюся таблицу и получить чертёж без цвета.

Параметров у инструмента нет. Один прогон - и слой **Справочник пластов (образец)** появляется в проекте и сразу виден в выпадающем списке инструментов разреза.

Что внутри

Таблица без геометрии, одна строка на пласт или междупласть, сверху вниз по разрезу. Колонки: код тела, номер сверху вниз, тело (пласт или междупласть), цвет, а также необязательные толщина и примечание, которые читаются, но пока не используются.

Образец собран по Верхнекамскому месторождению: 37 строк от покровных отложений до нижней каменной соли. Для другого месторождения он служит скелетом. Сохраните слой в файл штатными средствами QGIS и правьте коды, порядок и цвета под свою стратиграфию.

Тело заполняет геолог

Это главное, что стоит понять про справочник, и потому повторяется здесь. Тело из кода не выводится. Пласт **АБ** по написанию выглядит как «А плюс Б», но это цельный пласт, внутри которого лежат А, Б, корж А-А' и А'. Междупласть **Б-В** из кода не выводится вовсе, потому что пласта Б в списке нет, есть АБ. Инструмент значения тела не пересчитывает и в этом смысле не умнее человека, который их проставил.

Составные тела серые

В образце есть **КрIIIa+б** - составное тело, сумма КрIIIa, междупластья КрIIIa-б и КрIIIб. Такие конгломераты в справочнике красятся серым, тем же оттенком, каким плагин помечает неопознанное. Причина в том, что цвет составного тела из цветов его частей не выводится: части могут быть разных цветов, и любой выбор был бы произволом. Серый читается как «цвет не задан», и его ставит человек.

Соседство целого с частями в одном списке имеет цену, о которой стоит знать. Порядок сверху вниз един, поэтому между **КрIIIб** и **КрIIIв** теперь лежат два тела, а не одно, и пара таких границ на разрезе даст серую полосу с перечнем вместо имени междупластья. На крупной гранулярности, между **КрIIIa+б** и **КрIIIв**, всё сходится обычным образом.

Тот же файл вне QGIS

Образец лежит в папке **templates** внутри каталога плагина в двух видах, `plast_reference_vkmks.xlsx` и `plast_reference_vkmks.csv`. В книге Excel есть второй лист с правилами заполнения. Правьте любым удобным способом, инструменты разреза принимают и таблицу проекта, и GeoPackage, и CSV.

4.12 Элементы залегания по следу выхода

Считает угол и азимут падения по трёхмерному следу выхода границы на поверхность.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Следы выхода	Линии с отметками (Z в вершинах).	-
Окно, вершин	0 - одно залегание на весь след, иначе скользящее окно.	0
Наименьшая изогнутость (доп.)	Порог обусловленности, ниже которого следует отказ.	0.15

Откуда берётся залегание. Если граница пласта или разлома оцифрована с отметками, плоскость по ней восстанавливается однозначно, а из плоскости выпадают оба элемента залегания. Правило трёх точек - минимальный случай, здесь считается по всем вершинам сразу.

Метод по Альмендингеру: нормаль к плоскости это собственный вектор матрицы ориентации при наименьшем собственном значении. Подгонка вида $z = a \cdot x + b \cdot y + c$ проще, но разваливается на крутых залеганиях, где коэффициенты уходят в бесконечность. Через собственные векторы крутизна перестаёт быть особым случаем.

Прямой в плане след залегания не определяет. Через одну прямую в пространстве проходит бесконечно много плоскостей: они вращаются вокруг неё как страницы вокруг корешка. Инструмент видит это по отношению собственных значений и отказывает с причиной вместо уверенного числа из шума округления. Мера пишется в поле **planar**: ноль - точки на прямой, единица - размах в двух направлениях.

Складка ловится невязкой. Метод предполагает, что след лежит на одной плоскости, а длинная граница редко лежит: флексур, смещение разломом, перегиб. Средняя невязка точек от плоскости пишется в поле **rms**, и большое значение означает, что одного залегания на весь след не существует. Тогда включайте окно: залегание считается по скользящему участку, и на выходе будет его изменение вдоль границы, что полезнее одного среднего числа.

Место в цепочке. Выход подаётся прямо в 4.05, где поля `dip` и `dip_az` и ожидаются. Если рельеф задан горизонталями, а след плоский, проведите его сперва через 2.22 - отметки снимутся с примыкающих горизонталей.

Геологическая модель

Группа собирает инструменты, работающие не с одной поверхностью, а с пачкой: кровли и подошвы соседних тел связаны между собой, и связь эта либо соблюдается, либо нарушена. Проверить её и есть первая задача. Вторая - иметь под рукой заведомо известный материал, на котором видно, где гридовое представление работает, а где перестаёт.

5. Геологическая модель (бета)

5.01 Согласованность пачки пластов

Кровли и подошвы обычно строятся порознь: каждая поверхность интерполируется по своим замерам и ничего не знает о существовании соседних. Пока пласты выдержаны, это сходит с рук. В зоне выклинивания, где мощность идёт к нулю, две независимо построенные поверхности почти неизбежно пересекаются, и дальше арифметика по такой пачке даёт отрицательные мощности и объёмы, а на разрезе видны вывернутые полосы.

Инструмент отвечает на вопрос, есть ли такие места и где именно.

Что считается

Выклинивание - мощность в пределах допуска от нуля. Это геология, а не дефект, и в отдельный счёт.

Отрицательная мощность - кровля пласта ниже его подошвы.

Перехлёт соседей - подошва вышележащего опустилась ниже кровли нижележащего. Проверка отдельная и не сводится к предыдущей: каждый пласт по одиночке может быть цел, а вместе они перекрываются.

Наименьший зазор между соседями выдаётся картой, а не только числом. Число говорит, сколько, карта - где, и второе важнее: там перехлёт и возникнет при следующем пересчёте поверхностей.

Признак перевёрнутого порядка срабатывает, если перехлёт занял почти всю площадь, а внутри пластов чисто. Геология так не выглядит: настоящий перехлёт местный и соседствует с выклиниванием. Почти наверняка пласты поданы снизу вверх.

Допуск выклинивания задаётся параметром и по смыслу равен точности построения поверхностей. При нулевом допуске численный шум в зоне схождения посыплется в ошибки.

Откуда берётся порядок пластов

Порядок залегания сверху вниз инструмент берёт из дерева слоёв проекта, а если подан справочник пластов - из него. Порядок выбора файлов в диалоге не значит ничего: QGIS его не сохраняет, и полагаться на него нельзя. Откуда взят порядок, печатается в журнал.

Справочник применяется, только если описывает поданные пласты. Чужой справочник, не совпадающий ни одним кодом, игнорируется с сообщением, а не задаёт случайный порядок.

Что на выходе

Растр зон с кодами: согласовано, выклинивание, отрицательная мощность, перехлёт. Карта наименьшего зазора до соседнего пласта. В журнал по каждому пласту идёт диапазон мощности и площади зон, по каждой паре соседей - наименьший зазор и площадь перехлёста.

Площади печатаются в гектарах, а не в ячейках: тысяча ячеек на метровой сетке и на тридцатиметровой различаются в девятьсот раз.

Чего инструмент не решает

Отрицательная мощность бывает двух происхождений, и арифметикой их не различить: ошибка интерполяции либо опрокидывание пласта на складке. Инструмент отмечает места и печатает числа, но приговора не выносит. Различают данные бурения: если коды по стволу идут не в стратиграфическом порядке, это признак опрокидывания, и считается он прямо по модели бурения.

Отличить срез от выклинивания без поверхности растворения на входе тоже нельзя: у среза мощность обрывается на зеркале, у выклинивания кровля с подошвой сходятся между собой, но на карте зон оба случая выглядят одинаково.

5.02 Пример разреза (демо)

Инструмент строит учебный разрез верхнекамского типа со всеми случаями, ради которых существует остальная группа. Полезен он тем, что ответ известен заранее: любое расхождение с ним есть ошибка инструмента, а не данных.

Что в примере

Колонка взята из справочника пластов целиком, тридцать шесть тел сверху вниз: покровные отложения, пестроцветная и терригенно-карбонатная толщи, соляно-мергельная толща, дальше соль с переходной пачкой, покровной каменной солью, карналлитовой зоной с междупластьями, сильвинитовыми пластами, подстилающей солью, маркирующей глиной и нижней солью. Междупластья здесь такие же тела, как пласты.

Лежачая складка в середине площади. У её замка вертикальная скважина пересекает одно и то же тело трижды: в горизонтальном крыле, в верхней дуге и в нижней, а соседнее вскрывается дважды. Над точкой в плане оказывается несколько кровель, и отметка перестаёт быть функцией двух координат. Никакая плотность сети этого не исправит.

Выклинивание сводит мощность одного пласта к нулю сглаженной ступенью между двумя границами. Границы выдаются линиями - тем самым входом, который нужен для построения тренда мощности.

Соляной купол со срезанной верхушкой стоит в стороне от складки. Купол поднимает соль целиком, а поверхность растворения срезает поднятое сверху, и срезается не одно тело, а вся колонка вниз до уровня растворения. Зеркало это кровля не назначенного тела, а того, которое уцелело: в стороне от купола переходная пачка, над сводом покровная соль.

Соляно-мергельная толща легла на срезанную соль и заполняет всё до подошвы терригенно-карбонатной, поэтому над куполом она тонкая, а в стороне полная.

Гриды в зоне складки неверны нарочно

Поверхности строятся по первому сверху вскрытию, то есть ровно так, как их собрал бы человек, разобравший замеры из скважин и не заметивший опрокидывания. В зоне складки они недействительны по построению, и это сделано намеренно: 5.01 на таких гридах обязана показать перехлёст и отрицательные мощности. Контур зоны выдаётся отдельным слоем, чтобы не принимать её за ошибку инструмента.

Что на выходе

Поверхности пишутся в папку по файлу на контакт и грузятся в группу в порядке колонки. Тридцать семь отдельных строк в диалоге открывать было бы нечем, поэтому в параметрах стоит одна папка.

Кроме поверхностей выдаются зеркало растворения, карта выхода под зеркало, мощность водозащитной толщи от кровли пласта В до зеркала, устья и интервалы модели бурения с

номером вскрытия в поле entry, границы выклинивания линиями, контур зоны складки и справочник пластов с кодами, порядком, видом тела и цветом.

Всё детерминировано: одни и те же параметры дают один и тот же разрез.

Как этим пользоваться

Постройте пример, подайте его поверхности в **5.01** и убедитесь, что перехлест находится в зоне складки, а выклинивание там, где заданы границы. Затем проведите линию разреза через свод купола инструментом **4.01**, подав справочник пластов: полосы обрываются на зеркале, над сводом верхнего тела нет вовсе, а следующее оборвано. Это и есть картина, которую даёт эрозионный контакт, и по ней удобно проверять, как ведут себя разрезы на настоящих данных.

5.03 Сборка пачки от рельефа

Колонка строится сверху вниз, тело за телом по справочнику. Для каждого тела интерполируется мощность по скважинам, подошва получается вычитанием мощности из вышележащей поверхности, и она же служит верхом для следующего.

Почему это надёжно

Если мощности неотрицательны, поверхности не могут пересечься: они получаются вычитанием одна из другой. Непротиворечивость выходит по построению, а не проверкой после. Это главное достоинство схемы, и оно важнее её простоты.

Чем за это платят

Ошибка каждой мощности складывается с предыдущими, и к нижним телам накопленное отклонение способно превысить саму мощность. Схема годится для неглубоких пачек и инженерных задач, где верхний контакт и есть дневная поверхность.

Для глубоких пачек подайте опорной прослеженный контакт и укажите, чьей кровлей он служит. Тогда сборка идёт от него в обе стороны, вниз вычитанием и вверх прибавлением, и ошибка делится пополам.

Что считается мощностью

Мощность берётся по стволу и приводится к вертикали по углу падения: у наклонной скважины вскрытая мощность больше истинной, и без поправки суммарная мощность пачки завышается. Угол читается из поля у устья, без него ствол считается вертикальным.

Отсутствие тела в скважине это ноль, а не пропуск. Между такой скважиной и соседней мощность уходит в ноль, и тело выклинивается само, без отдельного механизма.

Линии контакта

Там, где тело выходит на поверхность, мощность всего вышележащего равна нулю по определению границы, и это значение известно, а не оценено. Узлы линии прореживаются с шагом порядка ячейки: густота оцифровки не должна превращаться в вес.

5.04 Коррекция пачки по статистике мощностей

Правит унаследованную пачку, которую никто не станет пересобирать заново. По замерам считается статистика мощности каждого тела, берётся доверительный интервал, и мощности на гриде срезаются по его границам: всё, что вышло за них, заменяется самой границей. Из исправленных мощностей пачка собирается заново.

Число ячеек при этом не меняется, в отличие от выбрасывания: место остаётся, обезврежена только величина. В статистике приём называется винзорированием.

Срезание отделяет артефакт интерполяции от геологии. Мощность вне интервала на выдержанном теле почти наверняка есть разгон метода между скважинами, а не настоящее утолщение. Там, где тело закономерно меняет мощность, интервал широк, и правка не срабатывает.

Статистика берётся из замеров, если они поданы. Без них интервал считается по самому гриду, и это слабее: грид уже содержит артефакт, который мы ищем. Инструмент об этом предупреждает.

5.05 Манифест модели

Записывает, какую роль играет каждый слой проекта: опорная поверхность, контакт тела, зеркало, устья, интервалы, замеры оси, справочник, наземные наблюдения, створ, разрез.

После сборки проект превращается в кучу растров и таблиц без явной структуры. Что из этого что, знает пользователь, но голова не передаётся вместе с проектом. Манифест живёт в пользовательских свойствах проекта QGIS - штатное место, которое сохраняется в файле проекта и переносится вместе с ним.

Правило, которое важнее прочих: инструменты читают манифест, но не требуют его. Есть роли - входы находятся сами. Нет ролей, потому что проект чужой или унаследованный, - всё работает по явному выбору. Манифест сокращает путь, а не становится условием работы.

Роли угадываются по именам слоёв и выдаются таблицей на проверку: имя ничего не гарантирует. Чужие роли, записанные другими модулями, сохраняются: манифест общий, и вычищать незнакомое значит ломать соседям работу.

5.06 Складчатость поверхности

Считает, насколько поверхность смята, по разбросу отметок вокруг местного наклона.

Складчатость мерится по поверхности, а не по мощности: цилиндрическая складка с постоянной истинной мощностью существует и по мощности невидима вовсе.

Прямая дисперсия отметок не годится. На общем наклоне она велика всюду, и спокойный склон получает ту же оценку, что смятая зона. Поэтому в каждом окне подгоняется плоскость и считается разброс остатков вокруг неё: наклон уходит, извилистость остаётся. Тренд именно линейный, квадратичный вобрал бы в себя часть самой складчатости.

Одно окно ничего не решает. Дисперсия зависит от масштаба, и правильная мера это скорость её роста с размером окна. Наклон в двойном логарифме и есть эта скорость: на спокойной поверхности он около нуля, на смятой заметно больше.

Остаток поверхности выдаётся отдельно и годится входом для фрактальной размерности: на детрендрованной поверхности наклон вариограммы описывает извилистость, а не общее падение слоя.

Мощность из базы остаётся вторым, независимым признаком складчатости: она вскрытая, а не истинная, и на крыле растёт тем сильнее, чем круче залегание. Два разных измерения, сходящихся в одном месте, надёжнее одного.

Гидрология рек

Группа отвечает на вопрос, которым обосновывают затопление: до какой отметки поднимется вода при заданном расходе и какой расход проходит при заданной отметке. Связь между расходом и отметкой строится по створу и называется кривой расходов.

Задача пришла из практики: гидрологи строят такие кривые в программах с ручным вводом, где пары расстояние-отметка вбиваются таблицей по каждому створу, а коэффициенты и уклоны прописываются руками. Между тем всё перечисленное - данные, которые в ГИС уже есть: расстояния сидят в геометрии створа, отметки в промерах, уклон между створами считается из километража.

Ветка самостоятельна и с геологической моделью не пересекается, общего у них только аппарат профилей.

6. Гидрология рек

6.01 Створы и кривые расходов

Главный инструмент группы. По створу и отметкам строит таблицу и график зависимости расхода от отметки.

Как считается

Профиль берётся по вершинам створа, отметка из Z вершины. Промеренная отметка точнее любой модели рельефа, поэтому источником служит сама геометрия створа, а не срез ЦМР.

Профиль делится на левый берег, русло и правый берег. Считать отдельно обязательно: шероховатость поймы и русла различается в разы, и единый счёт занижает русловую составляющую. На каждом участке считаются площадь живого сечения, ширина по зеркалу, смоченный периметр и гидравлический радиус, затем расход по формуле Маннинга. Суммарный расход есть сумма участковых.

Смоченный периметр берётся по твёрдым границам, то есть по дну и откосам, без вертикальных границ участков. Методики здесь расходятся, и принято простейшее из соглашений.

Участки

Задаётся одним из двух способов. Либо створ приходит одной линией, а границы стоят в полях расстояниями по профилю. Либо тремя линиями с полем роли и общим именем - тогда разбивка живёт в геометрии, как гидрологи и рисуют профили. Второй способ предпочтительнее: расстояния вручную не нужны.

Шероховатость и уклон

Берутся из полей створа, а не из параметров инструмента. Причина не в удобстве: створов много, у каждого свои значения, и параметрами это не выразить, а калибровка при полях сводится к правке таблицы. Параметры служат умолчанием для створов без полей, принятые значения печатаются в журнал.

Уклон умеет считаться **по цепочке створов**: если заданы километраж и отметки дна, уклон каждого берётся к соседнему по разности отметок и расстоянию вдоль реки. В существующей практике его прописывают относительно предыдущего створа вручную, здесь та же величина выходит из атрибутов сама.

Поля и единицы Створы на входе:

поле	что	единицы
sec	имя створа, по нему группируются линии	текст
km	километраж от устья	км

поле	что	единицы
role	роль линии при подаче тремя линиями	текст: левый, русло, правый
div_l, div_r	границы участков, расстояния по профилю от начала линии	м
n_left, n_channel, n_right	шероховатость Маннинга по участкам	безразмерная
slope	уклон водной поверхности	м/м

Таблица промеров на входе **6.03**: sec, dist - расстояние по створу в метрах, elev - абсолютная отметка в метрах, km, и те же расчётные поля, если они есть.

Таблица расходов обеспеченности: prob в процентах, q в кубометрах в секунду. Таблица наблюдаемых уровней: level в метрах, label текстом.

Кривая на выходе: level м, area м², width м, perim м, radius м, v м/с, q м³/с, n безразмерная, slope м/м.

Подвал чертежа: то же плюс depth_avg средняя глубина в метрах, slope_ppm уклон в промилле, n_inv величина, обратная шероховатости, q_pct доля от суммарного расхода в процентах, part_no номер участка.

Отметки земли: dist расстояние по створу в метрах, elev отметка в метрах, step расстояние до предыдущей точки в метрах.

Уровни: level м, q м³/с, prob проценты, label подпись, kind вид уровня - prob расчётный, obs наблюдаемый.

В каких единицах Уклон безразмерен: отношение падения к длине, метр на метр. В полях и параметрах он задаётся именно так, 0.0004, а не в промилле. В подвале чертежа тот же уклон выводится отдельным полем в промилле, потому что в отчётных таблицах пишут так: 15.30 ‰ в подвале это 0.0153 в поле створа.

Шероховатость задаётся коэффициентом Маннинга: 0.030 для чистого русла, 0.070 для заросшей поймы. Строго говоря, коэффициент не безразмерен, размерность прячется в формуле, и потому она метрическая: расход выходит в кубометрах в секунду при площади в квадратных метрах и радиусе в метрах. Для футов формула потребовала бы своего множителя.

В подвале рядом с коэффициентом идёт обратная ему величина, потому что на гидростворе печатают именно её: 10.00 в подвале соответствует 0.100 в поле створа.

Поля с ожидаемыми именами - sec, km, div_l, div_r, n_left, n_channel, n_right, slope - подхватываются без участия пользователя, подхваченные печатаются в журнал. Явный выбор всегда старше найденного.

Уровни

Расходы обеспеченности - 1, 5, 10 процентов - подаются таблицей пар обеспеченность-расход. Считать их из рядов наблюдений инструмент не берётся, это гидрологическая статистика. По кривой каждому расходу находится отметка, и уровни выходят линиями в чертёжных координатах с готовыми подписями вида УВВ1%, как их и наносят на гидростворе. Расход выше кривой даёт предупреждение, а не экстраполяцию.

Наблюдаемые уровни подаются своей таблицей: отметка и подпись. Это замер, а не расчёт, на кривую он не опирается и ложится рядом с расчётными, вида УВ 472.90 X/2021. В слое уровней такие строки помечены kind=obs, расчётные kind=prob, и по этому полю им задаётся разный стиль.

Подвал чертежа

Для листа гидроствора отдельно выдаётся подвал - строка на участок с шириной, средней глубиной, площадью сечения, смоченным периметром, гидравлическим радиусом, уклоном в промилле, коэффициентом шероховатости и обратной ему величиной, скоростью, расходом и долей от суммарного. Отметка задаётся параметром, без неё берётся первая по обеспеченности.

Рядом идут отметки земли и расстояния точками - нижние строки того же чертежа. Лист собирается печатной компоновкой: инструмент отдаёт данные, оформление живёт в шаблоне.

Что важно знать о методе

Формула Маннинга описывает установившееся равномерное движение. Кривая по ней это гидравлическая характеристика створа, а не расчёт волны попуска, и инструмент большего не обещает.

Уклон входит в расход под корнем, поэтому ошибка в нём сказывается прямо. На равнинных реках он мал, и значение всегда печатается в журнал, чтобы принятое было видно.

Что на выходе

Таблица кривой по участкам и суммарно с площадью, шириной, периметром, радиусом, скоростью и расходом на каждой отметке. Профили створов, уровни, подвал и отметки земли отдельными слоями в чертёжных координатах.

Отчёт HTML по каждому створу: профиль с нанесёнными уровнями и границами участков, график зависимости расхода от отметки с линиями обеспеченности, таблица уровней и таблица кривой. Рисунки встроены в саму страницу, поэтому отчёт остаётся одним файлом, который можно переслать.

График кривой расходов

Кривая отдаётся векторным чертежом: линия, оси, шкалы с засечками и подписями, пунктирные засечки уровней обеспеченности. Тот самый график, который вставляют в отчёт, только его можно править как обычный слой.

График идёт отдельным слоем и в собственных осях: по горизонтали расход или площадь, по вертикали отметка. Совмещать его с профилем створа в одном слое нельзя - метры расстояния и кубометры в секунду несопоставимы, общего масштаба у них не существует. На лист оба кладутся макетом.

Шаг шкалы отметок ставится в метр для нормативного чертежа, шаг шкалы расхода ноль означает округлые числа по размаху. Створы раскладываются в ряд, каждый в своём блоке.

Уровни обеспеченности приходят расходом, а отметка для засечки берётся обратным ходом по той же кривой: засечка ложится на неё точно, а не рядом. Уровень вне диапазона кривой пропускается.

Поле **kind** в атрибутах различает части чертежа: curve, axis, tick, mark, label. По нему настраивается оформление.

6.02 Полигон затопления

Режет поверхность отметкой воды и выдаёт контур затопления и растр глубины.

Отметку можно задать прямо, а можно расходом: тогда она берётся обратным ходом по кривой от 6.01 - тем самым движением, которое на ручных построениях рисуют красной стрелкой. Кривая подаётся таблицей, расход числом, принятая отметка печатается в журнал.

Инструмент отделён от 6.01 намеренно: у него другой вход и другой потребитель, и гонять весь расчёт кривой ради одного полигона незачем.

Уровень вдоль реки не постоянен

Вверх по течению он выше, и срез всей площади одной отметкой заливают долину там, где дно ниже этой отметки, хотя вода туда не доходит. Поэтому уровни подаются по створам: из них поднимается поверхность воды, и глубина считается от неё.

Есть два пути. Готовые уровни линиями - берётся выход **Уровни по створам на карте** из 6.01. Или желаемый расход по уже посчитанной кривой: подаются створы на карте, таблица кривой и число, и по каждому створу отметка находится обратным ходом.

Второй путь отвечает на частый вопрос о катастрофическом сценарии. Кривая от расхода не зависит, она характеристика створа, поэтому любой расход, а не только расчётный, режется без пересчёта 6.01. Створ, у которого расход вышел за верх кривой, пропускается с предупреждением: кривая строится до верха профиля, и выше него отметку взять неоткуда. Если такие сценарии нужны, поднимите верхнюю отметку в 6.01, и кривая продолжится с запасом.

Чертёжный слой уровней для карты не годится: у него по горизонтали расстояние вдоль створа, а не координата. Инструмент это распознаёт и отказывает с объяснением, какой выход брать.

Мелкие пятна отсекаются по площади: на равнинной пойме одиночные ячейки ниже уреза дают крап, который к разливу отношения не имеет. Связность с руслом не проверяется, и об этом сказано в журнале: замкнутые понижения в стороне от реки останутся в контуре, и это видно на карте.

6.03 Импорт таблиц створов

Превращает таблицу промеров в створы с отметками в вершинах.

Существующие программы держат профиль парами расстояние от начала створа и абсолютная отметка, и за годы работы таких таблиц накапливается много. Перебивать их руками ради перехода в ГИС незачем.

Если створы уже оцифрованы на карте, подайте их слоем: промеры лягут вдоль настоящих линий, и расстояние по створу станет расстоянием вдоль линии. Створ, для которого линии не нашлось, строится схемой с предупреждением, промеры длиннее линии прижимаются к её концу тоже с предупреждением.

Без слоя линий геометрия строится прямыми створами по азимуту и километражу. Это схема, а не съёмка, и на расчёт кривой она не влияет вовсе: кривой нужны расстояния вдоль створа и отметки.

Вместе с профилем переносятся расчётные свойства, если они в таблице есть: границы участков, шероховатости и уклон. Без них вернулась бы геометрия, но не расчёт, и кривая по восстановленным створам разошлась бы с исходной.

6.04 Пример реки (демо)

Учебная цепочка створов с известным ответом: долина с руслом и двумя поймами, отметки в Z вершин, поля участков, шероховатости, уклона и километража заполнены.

Русло и поймы имеют разную шероховатость, поэтому на кривой видно, как включается пойма: до бровок расход растёт круто, выше перелома пойма добавляет площадь, но мало добавляет расхода.

Кроме створов выдаются таблица промеров - вход для 6.03 - и поверхность долины растром, вход для 6.02: резать затоплению нечего, пока долина существует только линиями. Поверхность строится из тех же створов, что и кривые, поэтому полигон затопления и кривая расходов говорят об одной долине, а не о двух похожих.

Отдельным выходом идёт эталонная кривая, посчитанная ядром напрямую. Расхождение с тем, что даст 6.01 на этих же створах, есть ошибка инструмента, а не данных: ответ известен заранее.

Как проверять группу

Постройте пример, подайте створы в 6.01 и сверьте таблицу кривой с эталонной - они обязаны совпасть. Затем подайте таблицу промеров в 6.03 вместе со слоем створов демо: восстановленные створы лягут поверх исходных и дадут ту же кривую. Наконец, подайте в 6.02 поверхность долины, кривую расходов и расход - получите контур затопления и глубину.

Чего в группе пока нет

Промеры отдельным слоем точек и срез профиля с ЦМР для створов без Z. Батиметрия: восстановление дна между промерными створами вдоль русла - отдельная задача со своей анизотропией, и до неё кривые считаются по поверхностям, где дно есть.

7. Фрактальный анализ

7.01 Фрактальная размерность

Инструмент строит карту фрактальной размерности поверхности вариограммным методом, родным для плагина. В скользящем окне считается лог-лог вариограмма по лагам от одной до N ячеек, по её наклону определяется показатель Хёрста H, а размерность вычисляется как $D = 3 - H$. На гладких дифференцируемых участках D около 2, на изрезанных и шумных - ближе к 3. Работают не столько сами значения, сколько их перепады: ими проявляются зоны тектонических нарушений, границы блоков и смена характера рельефа кровли.

Грид D сразу можно подать в **1.04 Изолинии из растра** и получить изолинии размерности. В дополнительных параметрах предусмотрена возможность записать H вторым каналом. Глобальные D и H по всей поверхности выводятся в журнал.

Как читать карту

Абсолютные значения D важны меньше, чем их перепады. Линейный перепад через площадь - линеамент, кандидат в тектоническое нарушение. Пятно повышенной D - зона интенсивной складчатости или изрезанного рельефа кровли. Обширные ровные поля низкой D - спокойные блоки. Для чтения можно применить одноканальную псевдоцветную символику с контрастной палитрой и классификацией квантилями. Для отчётного плана по гриду D строятся изолинии с поясами инструментом **1.04**, и зоны нарушений оконтуриваются как изогипсы.

Выбор окна и лагов

Малое окно (5-8 ячеек) показывает микроструктуру и локальные нарушения, большое (12-20) - региональные зоны. При сомнении можно посчитать оба и сравнить. Количество лагов 4 подходит почти всегда: больше лагов - устойчивее наклон, но толще минимальный масштаб, который метод способен различить. Окно и лаги ограничены размером грида, инструмент проверяет это сам.

Рабочий цикл

Кровля пласта из кригинга подаётся в **7.01** с окном 8, полученный грид D - в **1.04 Изолинии из растра** (канал 1), и поверх структурного плана ложатся изолинии размерности с поясами. Глобальное D из журнала - одно число на поверхность, по нему можно сравнивать участки или пласты между собой. Растр должен быть в метрической системе координат. Демо-поверхности подходят как есть.

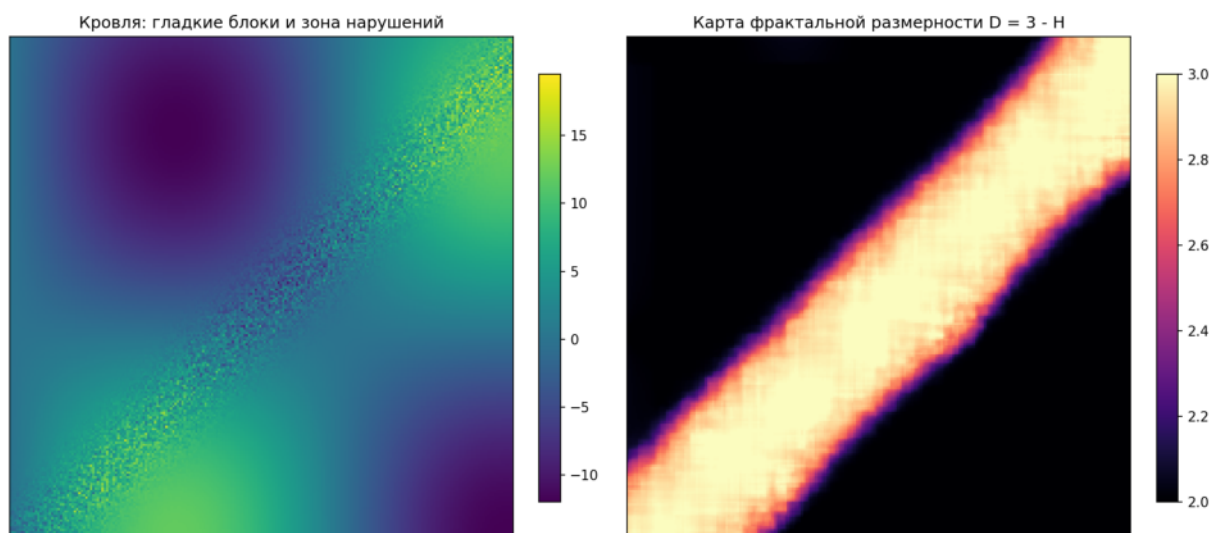


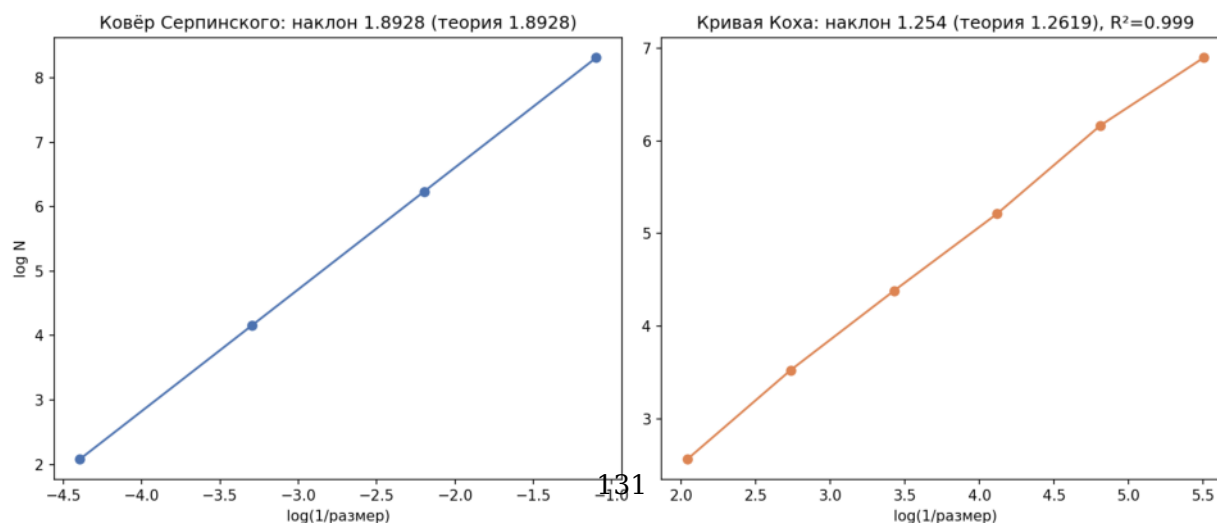
Рис. 30: Синтетическая кровля с диагональной зоной дробления и её карта D: спокойные блоки около 2, зона нарушений проявилась ярким линейаментом.

Параметры

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Поверхность (растр)	Грид рельефа или любой поверхности.	-
Полурадиус окна, ячеек	Размер скользящего окна.	8
Количество лагов (Доп.)	Лаги вариограммы 1..N ячеек.	4
Канал высот (Доп.)	Канал с отметками.	1
Записать H (Доп.)	Добавить H вторым каналом.	выкл
Фрактальная размерность	Грид D (и H при галке).	-

7.02 Box-counting маски

Классический box-counting для бинарных масок. Растр бинаризуется порогом (объект - значения больше порога), маска покрывается ячейками убывающего размера, наклон $\log N$ от $\log(1/\text{размер})$ даёт одну размерность D на всю маску. Линейный объект даёт D около 1, пятно - около 2, изрезанные контуры зон замещения или выработанных пространств ложатся между. Точность на конечных масках порядка ± 0.1 , поэтому метод пригоден для сравнения масок между собой, а не как абсолютная мера. Результат выводится в журнал вместе с таблицей размеров и счётов и возвращается числом D, которое можно использовать дальше в моделях Processing.



Параметр	Что задаёт	По умолчанию
Порог	Граница «объект/фон».	0.5
Канал (Доп.)	Канал раstra.	1

7.03 Размерность линий и границ

Инструмент считает размерность каждой линии методом циркуля (Ричардсона): линия проходит хордами убывающего раствора, наклон $\log N$ от $\log r$ даёт D . Прямая даёт единицу, изрезанная линия - больше. Полигоны принимаются наравне с линиями, у них меряется внешнее кольцо границы, поэтому изрезанность контуров зон и водосборов считается без предварительного преобразования. Выход - те же объекты с полями D и $steps$, среднее D выводится в журнал. Короткие линии получают пустое D . Метод проверен на эталонах: кривая Коха даёт 1.262 при теоретических 1.2619.

Диагностика сглаживания изолиний

Пересглаженные изолинии теряют изрезанность, и D падает к единице. Порядок работы такой: изолинии строятся дважды, без сглаживания и с рабочими параметрами, оба слоя прогоняются через инструмент, средние D из журнала сравниваются. Падение на сотые - косметика, форма сохранена. Падение на десятые - сглаживание съедает геометрию поля, и скругление стоит ослабить или оставить только денсификацию. По полю D в атрибутах можно найти и конкретные линии, пострадавшие сильнее прочих.

Другие применения

Изрезанность контуров зон в плане, сравнение детальности оцифровки границ из разных источников, контроль генерализации при подготовке мелкомасштабных планов - везде, где «насколько извилиста линия» должно стать числом.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию
Линии	Линейный слой (изолинии, контуры).	-
Линии с размерностью	Те же линии с полями D и $steps$.	-

7.04 Размерность Минковского (векторы)

Box-counting напрямую по векторам, без растеризации: линии и границы полигонов покрываются сеткой убывающего размера, наклон $\log N$ от $\log(1/\text{размер})$ даёт размерность Минковского. Прямая линия и гладкая граница дают D около единицы, речная сеть - 1.1-1.5, сильно изрезанная береговая линия - до 1.3 и выше. Каждый объект получает поля D_mink и D_r2 (качество лог-лог аппроксимации, ниже 0.85 оценке доверять нельзя). Отдельно считается и выводится в журнал D слоя как единого множества: для речной сети это размерность сети целиком, и она закономерно выше размерности отдельных рукавов.

Метод дополняет циркуль из 7.03: циркуль меряет извилистость одной линии, Минковский - заполнение плоскости набором объектов. Размерность возвращается и числовым выходом для моделей Processing.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию
Линии или полигоны	Векторный слой, у полигонов берутся кольца границ.	-

Параметр	Что задаёт	По умолчанию
Количество размеров сетки, К (Доп.)	Ступеней лесенки, слишком большое К уводит ячейки ниже детальности линии и занижает D.	8
Сдвиг сетки на размер (Доп.)	Случайные смещения, берётся минимальное покрытие, привязка к сетке снимается.	3
Фактор уплотнения (Доп.)	Шаг выборки вдоль сегментов в долях ячейки, 0 - только вершины.	0.5

7.05 Пример для фракталов (демо)

Генератор учебных объектов для всей фрактальной группы: ветвящаяся речная сеть с полем order (порядок притока), полигон водосбора с изрезанной границей и отдельная береговая линия, построенная срединными смещениями. Реки можно подать в **7.04** и получить размерность сети. Берег и границу водосбора - в **7.03** и **7.04**, и сравнить циркуль с Минковским. Водосбор растеризуется штатным инструментом и служит примером для **7.02**.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию
Охват	Площадь генерации.	-
Зерно (Доп.)	Повторяемость примера.	1

Типичные ситуации и решения

Что видно	Причина	Решение
Концентрические «бычьи глаза», конусы	Кригинг точно протягивает значение через скважины-выбросы (наггет 0).	Задать наггет C0 (0.2-0.4 от силла, в абсолютных единицах дисперсии). И/или включить сглаживание грида в «2D Kriging».
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 идёт по полю (в «2D Kriging»). Увеличить там радиус сглаживания грида.
Полигоны одного цвета	По умолчанию слой создаётся с одним символом.	Задать градуированную символику по ELEV_MIN.

Приложение. Isoliner за 15 минут

Своих данных не нужно. В каждом сценарии первый шаг создаёт или загружает данные сам, поэтому пройти маршрут можно на пустом проекте.

Шаг 1. 2.01 Загрузка ЦМР по рамке Минимум: **Источник рельефа** = GEDTM30, **Рамка загрузки** по интересующей местности. GEDTM30 это модель рельефа без леса и построек, для построения горизонталей она подходит лучше, чем Copernicus GLO-30, где высота снята по верхушкам. *Получится:* растр рельефа в системе координат проекта.

Шаг 2. 1.04 Изолинии из растра Минимум: **Растр, Сечение** 5 или 10 м. Остальное по умолчанию. *Получится:* слой горизонталей. Дальше он играет роль исходных данных, как если бы вам их передали.

Шаг 3. 2.05 Сток и аккумуляция (D8) Минимум: **ЦМР** из шага 1. Заполнение понижений оставьте включённым. *Получится:* растры направлений стока и накопленной площади.

Шаг 4. 2.06 Речная сеть Минимум: растр аккумуляции из шага 3, **Порог водосбора** в ячейках. Начните с тысячи и подберите так, чтобы сеть выглядела правдоподобно. *Получится:* линии водотоков, направленные вниз по течению, то есть готовые тальвеги.

Шаг 5. 2.09 Вершины Минимум: **ЦМР** из шага 1, **Радиус поиска** в ячейках. *Получится:* точки локальных максимумов с отметками.

Шаг 6. 2.02 Загрузка топоосновы по рамке Минимум: та же **Рамка**. Из OSM берите площадные водоёмы и сухие русла, а реки и вершины не берите: они уже посчитаны по рельефу в шагах 4 и 5 и согласованы с ним, тогда как из OSM они придут из другого источника и могут не совпасть с матрицей. *Получится:* до пяти слоёв в группе Топография.

Шаг 7. 2.03 Топо2Raster (рельеф из векторов) Минимум: **Изолинии** из шага 2 и **поле высоты, Тальвеги** из шага 4, **Точки высот** из шага 5 и поле отметки, **Озёра и урез воды** из шага 6 и поле отметки уреза, **Размер ячейки**. Обрывы подайте, если они есть в топооснове. *Получится:* новый растр рельефа, построенный по типизированным векторам, а не по одним горизонталям.

Шаг 8. 2.12 Невязка горизонталей против ЦМР Минимум: **Горизонтали** из шага 2, **поле высоты, ЦМР** из шага 7. *Получится:* точечный слой невязок и отчёт HTML. Смотрите на среднее смещение и на долю точек, промахнувшихся больше чем на половину сечения.

Шаг 9. 2.13 Диагностика террасинга ЦМР Минимум: **ЦМР** из шага 7 и **Сечение рельефа**, то же, что на шаге 2. *Получится:* индекс притяжения отметок к уровням. Около единицы означает, что ступеней нет, два и выше означает террасинг.

Шаг 10. 2.14 Снятие ступеней (сглаживание с ограничением) Нужен, только если предыдущий шаг нашёл террасинг. Минимум: **ЦМР со ступенями, Сечение рельефа, Итераций** 50. *Получится:* исправленный рельеф и отчёт до и после. Индекс должен опуститься к единице.

Если хотите проверить не свои данные, а сам метод, замените первый шаг на **2.10 Демо-рельеф** с флажком **Овражно-балочная сеть**. Тогда истинная поверхность известна заранее, и видно, что именно теряется при построении. Овраги теряются первыми.

Сверить с истиной можно двумя способами. Наглядно: постройте изолинии по восстановленному рельефу с тем же сечением и наложите на горизонтали шага 2 другим цветом, линии должны лечь друг на друга и разойтись только на макушках выше последней горизонтали. Численно: калькулятор растров, выражение «восстановленный минус истина», и статистика разности в свойствах слоя. При сечении 5 м ожидается среднее около нуля и разброс порядка метра, а наибольшие расхождения на вершинах. Если добавить в шаг 7 точки вершин из шага 5, расхождения на макушках заметно сожмутся, и это ровно тот ответ, зачем топографы подписывают отметки вершин.

Сценарий 3. Мне нужен разрез

Три минуты.

Шаг 1. 4.10 Пример для разреза (демо) Минимум: ничего задавать не нужно, всё по умолчанию. *Получится:* набор слоёв в группе Пример разреза.

Шаг 2. 4.01 Разрез по линии Минимум: **Линия разреза, Поверхности сверху вниз, Вертикальный масштаб.** *Получится:* чертёж разреза в инженерной системе координат, с осями, отметками и полосами пластов.

Куда идти дальше

Руководство описывает каждый инструмент подробно, с параметрами и оговорками. Здесь намеренно нет ни опций, ни теории: задача страницы провести вас по модулю один раз, а не заменить документацию.

Данные OpenStreetMap: © участники OpenStreetMap, ODbL. Матрица Copernicus GLO-30 распространяется свободно.

Приложение. Поля демо-слоёв

Сводка полей всех генераторов демонстрационных данных с единицами. Значения демонстрационные: там, где величина абстрактна, единицы условны.

Выходы группы «Топография»

Слой линий **Речная сеть** (инструмент 2.06):

Поле	Тип	Смысл, единицы
order	целое	порядок Стралера
acc_out	дробное	аккумуляция в замыкании звена, ячеек
length_m	дробное	длина звена, м

Слой полигонов **Бассейны** (2.07): **basin** - номер бассейна (целое), **area_m2** - площадь, м². Слой точек **Вершины** (2.09): **z** - высота, м, **drop** - превышение над минимумом окна, м. Слои топоосновы (2.02) несут **name** и **osm_id**, водотоки дополнительно **waterway**, водоёмы **water**, вершины **ele** (высота, м), обрывы **kind**. Демо-рельеф (2.10) - растр без полей.

Скважины (демо) - инструмент 1.10

Слой точек **Скважины (демо)**:

Поле	Тип	Смысл, единицы
well	строка	имя или номер скважины
roof	дробное	абсолютная отметка кровли пласта, м
thick	дробное	мощность пласта, м
X	дробное	содержание условного компонента, процент (демо)
head	дробное	напор, м (необязательное поле)
K	дробное	коэффициент фильтрации, м/сут (демо, необязательное)

Поле	Тип	Смысл, единицы
T	дробное	водопроницаемость, м ² /сут, T = K·мощность (необязательное)
mintype	строка	минтип, категория (демо)
dz	дробное	замещения, линейно связанная с дрейфом, усл. (необязательное)

Необязательный растр **Поверхность дрейфа (демо)** - сторонняя поверхность для кригинга с внешним дрейфом, усл. ед.

Профили электроразведки - инструмент 1.11, режим электроразведки

Слой точек **Профили электроразведки (рк, ЕП, ВП):**

Поле	Тип	Смысл, единицы
profile	целое	номер профиля
picket_m	дробное	пикет от начала профиля, м
pk	строка	пикет меткой ПК (например ПК5+20)
z	дробное	отметка поверхности, м
rho_k	дробное	кажущееся сопротивление рк, Ом·м
rho_true	дробное	рк без шума, Ом·м (эталон)
sp	дробное	потенциал естественного поля ЕП, мВ
vp	дробное	вызванная поляризация ВП, мВ/В

Профили оседаний - инструмент 1.11, режим оседаний

Слой точек **Профили оседаний (мульда, туров: N):**

Поле	Тип	Смысл, единицы
profile	целое	номер профиля
picket_m	дробное	пикет от начала профиля, м
pk	строка	пикет меткой ПК
tour	целое	номер тура наблюдений
z	дробное	отметка поверхности, м
settle	дробное	оседание, мм
settle_true	дробное	оседание без шума, мм (эталон)

Данные для разреза - инструмент 4.10

- **Поверхность 1...6** (растры) - отметки шести поверхностей стопкой, м. Сверху вниз: 1 кровля верхней вмещающей, 2 кровля и 3 подошва 1-го промышленного, 4 кровля и 5 подошва 2-го промышленного, 6 подошва нижней вмещающей.
- **Линии разрезов (демо)** (линия): поле **name** - имя линии (Разрез 1, 2, 3).
- **Устья collar (демо)** (точки): **hole_id, z** - отметка устья, **eoH** - глубина забоя, **number** - подпись.
- **Интервалы interval (демо)** (таблица): **hole_id, from, to** - глубины по стволу от устья, **code** - индекс пласта.

- **Пласт 1-й пром. (демо) и Пласт 2-й пром. (демо)** (многоканальные растры): канал 1 кровля (м), канал 2 подошва (м), канал 3 содержание (процент), канал 4 минтип (категория 1 или 2).
- **Разлом (демо, 2D)** (линия): **name**.
- **Маркер с Z (демо, 3D)** (линия с отметкой Z): **name**.
- **Зона (демо, полигон)** (полигон): **name**.
- **Опрокинутая TIN (демо)** (3D-граница): **name**.

Данные для фракталов - инструмент 7.05

- **Реки (демо)** (линии): поле **order** (целое) - порядок притока в иерархии сети.
- **Водосбор (демо)** (полигон): поле **name**.
- **Берег (демо)** (линия): поле **name**.

Плотность (демо) - инструмент 3.08

Слой точек **Демо-точки**:

Поле	Тип	Смысл, единицы
mass	дробное	масса замера (демо, 50 на точку)
prec	дробное	сигма неопределённости, м

Слой линий **Демо-линии**:

Поле	Тип	Смысл, единицы
mass	дробное	масса замера (демо, 100 на линию)
prec	дробное	полуширина коридора, м
from_m	дробное	начало интервала по линии, м (может быть пусто)
to_m	дробное	конец интервала по линии, м (может быть пусто)

Слой полигонов **Демо-полигоны**:

Поле	Тип	Смысл, единицы
mass	дробное	масса замера (демо, 150 на полигон)
dasy	целое	1 - полигон под дазиметрию, 0 - равномерный

Вспомогательный растр **Вспом. растр (дазиметрия)** - градиент значений для дазиметрического режима 3.07, усл. ед.

Приложение. Плотность переменной опоры: пошагово

Разбор инструментов 3.07 и 3.08 от генерации демо до готового результата, с пояснением каждого параметра. Пример показывает, как проверить инвариант массы глазами.

Шаг 1. Сгенерировать демо (3.08)

Запустите **3.08 Пример для плотности (демо)**.

- **Область (экстент)** - границы генерации. Задайте прямоугольник на карте или по слою. Годится любой метрический охват, например квадрат несколько километров.

- **Ячейка вспом. растра, м** - шаг вспомогательного растра для дазиметрии. По умолчанию 50, для демо достаточно.
- **Зерно ГСЧ (Доп.)** - повторяемость примера. При одном зерне набор одинаков.

На выходе четыре слоя: **Демо-точки**, **Демо-линии**, **Демо-полигоны** и **Вспом. растр**. В логе указана заложенная масса: точки 500, линии 200, полигоны 300, итого 1000.

Шаг 2. Плотность по точкам (3.07)

Запустите **3.07 Плотность по замерам** на слое **Демо-точки**.

- **Замеры** - слой Демо-точки.
- **Поле массы - mass**. Если оставить пустым, масса каждого объекта равна 1.
- **Поле точности - pres**. Для точек это сигма гауссова пятна в метрах. Чем больше сигма, тем более размыт и низок вклад точки.
- **Размер ячейки, м** - шаг сетки результата. Меньше ячейка - подробнее карта и дольше счёт. На плотность в массе на км² размер ячейки не влияет, только на детальность.
- **Область** - оставьте пустым, возьмётся по слою.
- **Носитель за краем - Донормировать внутри** держит всю массу в области, **Потерять массу** отбрасывает вышедшую за край часть с предупреждением. Для проверки инварианта берите донормировать.
- **Сигма по умолчанию (Доп.)** - подставляется, когда поле точности пусто. Ноль означает полуячейку.

Проверьте лог: строка **Масса входа: 500. Масса на сетке: 500. Расхождение: 0**. Это и есть инвариант - интеграл плотности равен сумме масс.

Шаг 3. Плотность по линиям

Запустите 3.07 на слое **Демо-линии**.

- **Поле точности - pres** - здесь это полуширина коридора в метрах. Линия размазывается в полосу мягких краёв.
- **from_m / to_m (Доп.)** - поля **from_m** и **to_m**. У одной демо-линии интервал задан, и в результате размазывается только его часть. Пустые поля означают всю линию.

В логе масса на сетке 200. Если включён режим потери массы и коридор вышел за край, расхождение покажет, сколько массы ушло.

Шаг 4. Плотность по полигонам и дазиметрия

Запустите 3.07 на слое **Демо-полигоны**.

- Без вспомогательного растра масса полигона раскладывается равномерно по его площади.
- **Вспом. растр (Доп.)** - подайте **Вспом. растр** из демо. Тогда для полигонов включается дазиметрия: масса распределяется пропорционально значениям растра внутри полигона, а не ровно. Если растр внутри полигона пуст, инструмент откатывается на равномерное и пишет это в лог.

Масса на сетке 300 в обоих режимах, меняется только форма распределения внутри полигонов.

Шаг 5. Смешать типы через дописывание

Чтобы собрать точки, линии и полигоны в один растр, прогоните 3.07 трижды подряд.

- Первый запуск - как обычно, получаете трёхканальный растр.

- Второй и третий - в параметре **Дописать в существующий растр** (Доп.) укажите растр из предыдущего запуска. Инструмент читает три канала, добавляет новую массу и возвращает обновлённый растр.

После трёх дописываний суммарная масса на сетке равна 1000. Каналы 2 и 3 ($\Sigma m \cdot \sigma$ и Σm) для этого и служебные - они позволяют дописывать сериями и держать карту эффективной сигмы точной.

Шаг 6. Эффективная сигма

Задайте необязательный выход **Эффективная сигма**. Это средневзвешенная сигма по ячейке - карта эффективной точности. Где плотность набрана точными носителями, сигма мала. Где размазанными грубыми привязками, велика. Аналог кригинговой дисперсии для этажа плотности: показывает, где результату можно доверять, а где он держится на грубых носителях.

Как читать итог

Канал 1 результата - плотность в массе на км². Открывайте его одноканальной псевдоцветной символикой. Пятна плотности - там, где сгущаются надёжные замеры. Инвариант в логге подтверждает, что масса сохранена и результат корректен. Слой должен быть в метрической системе координат, иначе инструмент откажется работать.

Предприятиям

Isoliner развивается на задачах реальных предприятий. Мы выполняем доработки под регламент производства, заключаем договоры технической поддержки с гарантией и внедряем модуль в производственный цикл, включая интеграцию с корпоративными базами данных. Подробности: <https://www.informpp.ru/главная-страница/предприятиям>

Журнал и панель инструментов

Isoliner ведёт журнал работы в файле **isoliner.log** рядом с профилем QGIS. В начале сеанса пишутся версии плагина, QGIS, NumPy и GDAL, затем имя запущенного инструмента, его параметры, время счёта, а при сбое - полный трейсбек. Окно расчёта закрывается, а файл остаётся, поэтому при обращении достаточно приложить его.

Открыть журнал можно через **Модули - Isoliner - Журнал** или кнопкой **Журнал** в окне **О плагине**. На панели инструментов **Isoliner** находятся карта плотности и окно «О плагине».

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.