Isoliner - грид и изолинии

Содержание

Введение **8**
- Установка и расположение . . . 8
- Обновление . . . 8
- Справка и общие элементы диалога . . . 9
  - Язык интерфейса и справки . . . 9
- Все инструменты . . . 9

Быстрый старт **11**
- Есть скважины, нужен растр и изолинии . . . 11
- Есть открытая местность, нужен рельеф и топооснова . . . 12
- Есть топоплан с горизонталями, нужен рельеф . . . 13
- Есть плотная съёмка, нужны бровки и подошвы . . . 13
- Есть карьер в топоплане, но горизонталей внутри нет . . . 14
- Нужен геологический разрез . . . 14
- Нужны объёмы работ . . . 14

Общая логика работы **15**
- Запуск из модели и из скрипта . . . 15
- Названия полей . . . 15
- Точность чисел в таблицах . . . 16
- Подоснова . . . 16

1. Грид и изолинии **17**
- Отметка из геометрии . . . 17
- 1.01 2D Kriging (точки → растр) . . . 17
  - Локальная анизотропия . . . 18
  - Ураганные пробы отдельным слоем . . . 19
  - Автоматические значения . . . 20
  - Обрезка по контуру скважин . . . 20
  - Вариограмма и наггет . . . 20
  - Отсев ураганных проб . . . 24
  - Стандартная ошибка кригинга . . . 25
  - Снятие тренда (регрессия-кригинг) . . . 26
  - Блочный кригинг . . . 27
  - Разломы . . . 28
  - Почему разлом не переводится в сетку . . . 28
  - Цена приближения . . . 28
  - Как проверить на учебных данных . . . 29
- 1.02 Минимальная кривизна (точки → растр) . . . 29
  - Разломы . . . 30
  - Полоса мембраны вдоль линии . . . 30
- 1.03 MBA: мультисеточные B-сплайны (точки → растр) . . . 31
  - Чем берёт . . . 31
  - Управление решётками . . . 31

Снятие тренда . . . 32
Чего не даёт . . . 32
Границы результата . . . 32
Обрезка . . . 33
1.04 Изолинии из растра . . . 33
Сглаживание изолиний . . . 34
Контурные полигоны (пояса) . . . 35
Прямые грани на чертеже поясов . . . 35
Тела поясов . . . 35
Оформление слоёв . . . 36
Значение в Z геометрии . . . 36
Прореживание контуров . . . 36
Топографические подписи . . . 37
Предупреждение о плоских уровнях . . . 37
Уверенность горизонталей . . . 38
Разломы . . . 38
Коридор у разлома . . . 39
Наименьшая толщина полигона . . . 39
1.05 Декластеризация (веса) . . . 39
1.06 Вариограмма (экспериментальная) . . . 40
Зачем нужен предпросмотр . . . 40
Краткая теория . . . 41
Параметры . . . 41
Поле группировки и разноплотностная разведка . . . 43
Три типичные геологические ситуации . . . 43
Максимальное расстояние и выход на плато . . . 44
Откуда взялся наггет . . . 45
Признаки непригодной модели . . . 45
Рабочий цикл с кросс-валидацией . . . 45
Таблица моделей вариограмм . . . 46
Состав таблицы . . . 46
Порядок работы . . . 47
Разбор строк . . . 47
1.07 Вариограммная карта (анизотропия) . . . 47
Что такое анизотропия и зачем её видеть . . . 47
Как читать карту . . . 48
Параметры . . . 48
Оценка азимута, анизотропии и радиуса . . . 49
Когда радиус упирается в окно . . . 50
Растр поверхности . . . 50
1.08 Кросс-валидация вариограммы . . . 50
1.09 Кросс-валидация метода (LOO) . . . 56
1.10 Пример скважин (демо) . . . 57
1.11 Пример геофизических профилей (демо) . . . 58
Кригинг или минимальная кривизна . . . 59
1.12 Врезка подробной поверхности в региональную . . . 60
Две ступени, и они разной природы . . . 61
Охват и разрешение результата . . . 61
Зона врезки должна быть уже съёмки . . . 62
Что писать в журнал и на что смотреть . . . 62
Топография: рельеф из открытых данных . . . 63

2. Топография **64**
2.01 Загрузка ЦМР по рамке . . . 64
2.02 Загрузка топоосновы по рамке . . . 65
2.03 Topo2Raster (рельеф из векторов) . . . 66
Трёхмерные тальвеги . . . 67

Поверхность между структурными линиями . . . 68
Граница области построения . . . 69
2.04 Подготовка рельефа . . . 69
2.05 Уклон и экспозиция . . . 70
2.06 Вершины и ямы . . . 71
2.07 Демо-рельеф . . . 71
Пара поверхностей для объёмов . . . 72
Овражно-балочная сеть . . . 72
Куда ложится демо . . . 73

2. Топография: диагностика и правка **73**
2.08 Разделить горизонтали для проверки . . . 73
Зачем разделять . . . 73
Почему делим по отметкам, а не по объектам . . . 73
Что на выходе . . . 73
Рабочий порядок . . . 73
Параметры . . . 73
2.09 Невязка горизонталей против ЦМР . . . 74
Какие числа выдаются . . . 74
Две цифры вместо одной . . . 74
Отчёт . . . 74
Слой точек . . . 75
Параметры . . . 75
2.10 Диагностика террасинга ЦМР . . . 75
Два независимых признака . . . 75
Сечение рельефа . . . 76
Плоские участки в счёт не идут . . . 76
Отчёт . . . 76
Как устранять . . . 76
Параметры . . . 76
2.11 Снятие ступеней (сглаживание с ограничением) . . . 77
Как это возможно . . . 77
Правка самопроверяемая . . . 77
Чего инструмент не делает . . . 77
Параметры . . . 77

2. Топография (продолжение) **78**
2.12 Насыпи и выемки (объёмы работ) . . . 78
Знак и поверхность сравнения . . . 78
Приведение к одной сетке . . . 78
Почему цифры расходятся с другими программами . . . 78
Мёртвая зона . . . 78
Участки и баланс . . . 78
Выходы . . . 79
Параметры . . . 79
Быстрая проверка на демо . . . 79
Границы применимости . . . 80
2.13 Кандидаты бровок и подошв . . . 80
2.14 Бровки и подошвы в работу . . . 81
2.15 Пример карьера (демо) . . . 82
2.16 Профилирование откосов . . . 82
Высотные отметки как второй источник . . . 83
Куда ставятся вершины . . . 83
2.17 Снятие мостов с ЦМР . . . 84

3. Дополнительные инструменты анализа **85**
3.01 Категориальный индикаторный кригинг . . . 85

Как считается . . . 85
Когда скважина не попала в свою зону . . . 86
Что на выходе . . . 87
Векторные границы по вероятностям . . . 88
3.02 Кригинг с внешним дрейфом (External Drift) . . . 88
В чём отличие от снятия тренда . . . 89
Как считается . . . 89
Параметры . . . 90
Вариограмма по остаткам . . . 90
3.03 Карта вероятности превышения . . . 90
Как считается . . . 91
Как получить входы . . . 91
Параметры . . . 91
Применение . . . 92
3.04 Гидравлический градиент и направление потока . . . 92
Без проницаемости . . . 92
Параметры и сглаживание . . . 92
Стрелки из точек . . . 93
Учебный цикл . . . 93
3.05 Удельный расход (закон Дарси) . . . 93
Что считается . . . 96
Как получить растры K и T . . . 96
Параметры . . . 96
Что лежит в слое стрелок . . . 97
Применение . . . 97
3.06 Гауссова симуляция (SGS) . . . 97
Параметры . . . 98
Виды кригинга: какой выбрать . . . 98
Шпаргалка . . . 99
Равные расстояния на границе отбора . . . 99
Когда система не решается . . . 100
3.07 Плотность по замерам (переменная опора) . . . 100
Выход и инвариант . . . 100
Как читать . . . 100
Окно «Карта плотности» (живой предпросмотр) . . . 101
3.08 Пример для плотности (демо) . . . 101
3.09 Пример для 3.01 и 3.02 (демо) . . . 102

4. Разрез **102**
4.01 Разрез по линии . . . 102
Как задаются пласты . . . 102
Разрез по одной поверхности . . . 103
Порядок поверхностей задаёт дерево слоёв . . . 103
Выходы . . . 104
Вертикальный масштаб . . . 104
Несколько разрезов за один прогон . . . 104
Цвет полос: справочник пластов . . . 105
Атрибуты выходных слоёв . . . 106
Параметры . . . 106
Как попробовать на демо . . . 108
Связь с QGIS . . . 108
4.02 Скважины на разрезе (модель бурения) . . . 108
Модель бурения . . . 108
Наклонные скважины . . . 108
Скважины без интервалов . . . 109
Когда устья и интервалы не сходятся . . . 109
Терпимый читатель . . . 109

Пакетность и совмещение . . . 109
Раскраска и легенда . . . 109
Обрезка по чертежу и рамке . . . 110
Цвет колонок: справочник пластов . . . 110
Параметры . . . 110
Раскраска по содержанию . . . 111
4.03 Состав пласта на разрезе . . . 111
Два режима . . . 111
Параметры . . . 112
Определение разреза и общие параметры . . . 112
Манифест модели вместо списка слоёв . . . 113
4.04 Пересечение поверхностей с разрезом . . . 113
Параметры . . . 113
4.05 Пересечение векторов с разрезом . . . 115
Параметры . . . 115
Имя и стиль исходного слоя . . . 116
Обрезка по рельефу и линии низа . . . 117
Атрибуты объектов на разрезе . . . 117
4.06 Пересечение TIN с разрезом . . . 118
Параметры . . . 118
Цепочки и замкнутые сечения . . . 119
4.07 Проекция объектов на разрез . . . 119
Все разрезы определения . . . 120
Имя и стиль исходного слоя . . . 120
4.08 Спроецировать с разреза . . . 120
Обратный ход: правка контакта на разрезе . . . 121
Раскоп: все борта сразу . . . 121
4.09 Развёртка стенки ствола (бета) . . . 121
4.10 Пример для разреза (демо) . . . 122
Скважины с интервалами опробования . . . 122
Слои демо и их атрибуты . . . 123
Параметры . . . 124
4.11 Образец справочника пластов . . . 125
Что внутри . . . 125
Тело заполняет геолог . . . 125
Составные тела серые . . . 125
Тот же файл вне QGIS . . . 126
4.12 Элементы залегания по следу выхода . . . 126
4.13 Содержания по пласту в устьях . . . 126
Почему стыковка идёт по глубинам . . . 126
Отсутствующее содержание не ноль . . . 127
Параметры . . . 127
Что в выходном слое . . . 127
Геологическая модель . . . 128

5. Геологическая модель (бета) 128
5.01 Согласованность пачки пластов . . . 128
Что считается . . . 128
Откуда берётся порядок пластов . . . 128
Что на выходе . . . 128
Чего инструмент не решает . . . 129
5.02 Пример разреза (демо) . . . 129
Что в примере . . . 129
Гриды в зоне складки неверны нарочно . . . 129
Что на выходе . . . 129
Как этим пользоваться . . . 130
5.03 Сборка пачки от рельефа . . . 130

Почему это надёжно . . . 130
Чем за это платят . . . 130
Что считается мощностью . . . 130
Линии контакта . . . 130
5.04 Коррекция пачки по статистике мощностей . . . 130
5.05 Манифест модели . . . 131
5.06 Складчатость поверхности . . . 131
Гидрология . . . 132

6. Гидрология **132**
6.01 Сток и аккумуляция (D8) . . . 132
6.02 Речная сеть . . . 133
6.03 Бассейны и водоразделы . . . 133
6.04 Отчёт по створу . . . 134
Как это работает . . . 134
Что считается . . . 134
Три длины, которые легко перепутать . . . 135
Параметры . . . 135
Быстрая проверка на демо . . . 135
Границы применимости . . . 136
Расчёт по СП 33-101-2003 . . . 136
Длина речной сети . . . 136
6.05 Водосбор. Линии и контуры (канавы, карьеры) . . . 137
Как это работает . . . 137
Контур вместо линии . . . 137
Врезка трассы . . . 137
Что считается . . . 137
Параметры . . . 138
Быстрая проверка на демо . . . 138
Границы применимости . . . 138
6.06 Отчёт по готовому водосбору . . . 138
Поля выходного слоя . . . 139
Точка замыкания . . . 140
Расчёт по СП 33-101-2003 и длина речной сети . . . 140
6.07 Линии стока от точек, линий и контуров . . . 140
6.08 Створы и кривые расходов . . . 142
Как считается . . . 142
Участки . . . 142
Шероховатость и уклон . . . 142
Уровни . . . 143
Чертёж створов одним слоем . . . 143
Подвал чертежа . . . 144
Что важно знать о методе . . . 144
Что на выходе . . . 144
График кривой расходов . . . 144
6.09 Полигон затопления . . . 145
Уровень вдоль реки не постоянен . . . 145
6.10 Импорт таблиц створов . . . 145
6.11 Пример реки (демо) . . . 145
Как проверять группу . . . 146
Чего в группе пока нет . . . 146

7. Фрактальный анализ **146**
7.01 Фрактальная размерность . . . 146
Как читать карту . . . 146
Выбор окна и шагов . . . 147
Рабочий цикл . . . 147

Параметры . . . 147
7.02 Box-counting маски . . . 147
Откуда берётся маска . . . 148
7.03 Размерность линий и границ . . . 148
Диагностика сглаживания изолиний . . . 148
Другие применения . . . 149
7.04 Размерность Минковского (векторы) . . . 149
7.05 Пример для фракталов (демо) . . . 150

8. Обмен данными 150
8.01 Принять LandXML . . . 150
Что читается . . . 150
Параметры . . . 151
Стандартные элементы схемы . . . 151
Поля выходных слоёв . . . 152
Порядок координат . . . 152
Единицы измерения . . . 152
Кривые . . . 153
Створы на местности . . . 153
8.02 Записать LandXML . . . 153
Что записывается . . . 153
Створы и трасса . . . 153
Границы . . . 154
8.03 Пример LandXML (демо) . . . 154
Варианты . . . 154
Откуда взяты написания . . . 154
Порядок работы . . . 155

9. Сдвижения 155
9.01 Наклоны и кривизна по оседаниям . . . 155
Как считается . . . 155
Знак . . . 155
Сверка с профильными линиями . . . 156
9.02 Горизонтальные деформации . . . 156
Оценка по кривизне . . . 156
По измеренным интервалам . . . 157
9.03 Пример мульды (демо) . . . 157
Порядок проверки . . . 157

Типичные ситуации и решения 158

Приложение. Isoliner за 15 минут 158
Сценарий 1. У меня точки . . . 159
Сценарий 2. Мне нужен рельеф . . . 159
Сценарий 3. Мне нужен разрез . . . 160
Куда идти дальше . . . 160

Приложение. Поля демо-слоёв 160
Выходы групп «Топография» и «Гидрология» . . . 160
Скважины (демо) - инструмент 1.10 . . . 161
Профили электроразведки - инструмент 1.11, режим электроразведки . . . 161
Профили оседаний - инструмент 1.11, режим оседаний . . . 162
Данные для разреза - инструмент 4.10 . . . 162
Данные для фракталов - инструмент 7.05 . . . 162
Плотность (демо) - инструмент 3.08 . . . 162

Приложение. Плотность переменной опоры: пошагово 163

Шаг 1. Сгенерировать демо (3.08) . . . 163
Шаг 2. Плотность по точкам (3.07) . . . 163
Шаг 3. Плотность по линиям . . . 163
Шаг 4. Плотность по полигонам и дазиметрия . . . 164
Шаг 5. Смешать типы через дописывание . . . 164
Шаг 6. Эффективная сигма . . . 164
Как читать итог . . . 164

Предприятиям **164**
Журнал и панель инструментов . . . 164

Лицензия и поддержка **165**

Введение

Isoliner - провайдер инструментов Processing для интерполяции точечных данных, построения изолиний и работы с рельефом. Ядро кригинга - алгоритм KB2D из GSLIB. Работает по отметкам пласта, мощностям, ФМС, химии и любым числовым атрибутам скважин. Инструменты разнесены по семи группам.

- **Грид и изолинии** - основной поток обработки, от декластеризации до изолиний.
- **Топография** - рельеф из открытых данных, его проверка и правка, объёмы работ и карьеры.
- **Дополнительные инструменты анализа** - расчёты от индикаторного кригинга до плотности переменной опоры.
- **Разрез** - построение геологических разрезов.
- **Геологическая модель** (бета) - согласованность пачки пластов и учебный пример разреза.
- **Гидрология** - сток, речная сеть, бассейны и водосборы, створы, кривые расходов и затопление.
- **Фрактальный анализ** - размерности поверхностей, масок и линий.
- **Обмен данными** - чтение и запись LandXML.

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.

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

После установки инструменты появляются в панели «Обработка», у провайдера «Isoliner», теми же семью группами. Работают они в QGIS 3.16 и новее. Ничего доустанавливать не нужно, всё считается штатными средствами 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. После обновления инструменты сразу доступны в панели.

Справка и общие элементы диалога

В диалоге каждого инструмента есть кнопка **Справка**, открывающая это руководство (PDF в комплекте плагина). Правая панель диалога показывает краткую справку по инструменту, а подсказка к полю появляется при наведении на него. Руководство и сведения о версии доступны и без открытия инструмента. В меню **Модули** есть подменю **Isoliner**, в нём стоят **Карта плотности**, **Подоснова**, **О плагине** с версией, ссылками, историей изменений и руководством, **Язык** и **Журнал**.

Язык интерфейса и справки

Язык интерфейса и язык справки выбираются отдельно, в окне **Модули → Isoliner → Язык**. То же окно открывает кнопка с буквами «А» и «Я» на панели инструментов Isoliner. К интерфейсу относятся меню, названия инструментов и подписи полей, а к справке правая панель диалога, подсказки полей и руководство PDF. Так можно держать английский интерфейс QGIS и читать справку по-русски, и наоборот.

У каждого из двух языков три значения: **Как в QGIS**, **Русский** и **English**. По умолчанию оба идут за языком QGIS, как и раньше. Названия языков в списке написаны на самих этих языках, поэтому свой язык находится, даже если окно открылось на незнакомом.

Меню и названия инструментов в панели Обработки перестраиваются сразу после нажатия **OK**, перезапускать QGIS не нужно. Справка сменится при следующем открытии инструмента.

Канал растра во всех инструментах выбирается выпадающим списком с именами каналов. У многоканального грида пласта в нём стоят «кровля», «подошва» и имена слоёв параметров.

Все инструменты

Ниже весь состав провайдера, как он стоит в панели **Обработка**.

1. Грид и изолинии

- `1.01` 2D Kriging (точки → растр)
- `1.02` Минимальная кривизна (точки → растр)
- `1.03` MBA: мультисеточные B-сплайны (точки → растр)
- `1.04` Изолинии из растра
- `1.05` Декластеризация (веса)
- `1.06` Вариограмма (экспериментальная)
- `1.07` Вариограммная карта (анизотропия)
- `1.08` Кросс-валидация вариограммы
- `1.09` Кросс-валидация метода (LOO)
- `1.10` Пример скважин (демо)
- `1.11` Пример геофизических профилей (демо)
- `1.12` Врезка подробной поверхности в региональную

2. Топография

- `2.01` Загрузка ЦМР по рамке
- `2.02` Загрузка топоосновы по рамке
- `2.03` Topo2Raster (рельеф из векторов)
- `2.04` Подготовка рельефа
- `2.05` Уклон и экспозиция
- `2.06` Вершины и ямы

- `2.07` Демо-рельеф
- `2.12` Насыпи и выемки (объёмы работ)
- `2.13` Кандидаты бровок и подошв
- `2.14` Бровки и подошвы в работу
- `2.15` Пример карьера (демо)
- `2.16` Профилирование откосов
- `2.17` Снятие мостов с ЦМР

2. Топография: диагностика и правка

- `2.08` Разделить горизонтали для проверки
- `2.09` Невязка горизонталей против ЦМР
- `2.10` Диагностика террасинга ЦМР
- `2.11` 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)
- `3.09` Пример для 3.01 и 3.02 (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
- `4.13` Содержания по пласту в устьях

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

- `6.01` Сток и аккумуляция (D8)
- `6.02` Речная сеть
- `6.03` Бассейны и водоразделы
- `6.04` Отчёт по створу
- `6.05` Водосбор. Линии и контуры (канавы, карьеры)
- `6.06` Отчёт по готовому водосбору
- `6.07` Линии стока от точек, линий и контуров

- `6.08` Створы и кривые расходов
- `6.09` Полигон затопления
- `6.10` Импорт таблиц створов
- `6.11` 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)

8. Обмен данными

- `8.01` Принять LandXML
- `8.02` Записать LandXML
- `8.03` Пример LandXML (демо)

9. Сдвижения

- `9.01` Наклоны и кривизна по оседаниям
- `9.02` Горизонтальные деформации
- `9.03` Пример мульды (демо)

Всего инструментов: 79

Быстрый старт

Инструментов в плагине много, 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.

1.01 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 три параметра модели. **Радиус** - дальше него замеры уже ни о чём не говорят. **Порог** - общий разброс. **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**, и смотреть её надо всегда. Сама поверхность выглядит одинаково гладко и там, где скважин много, и там, где результат держится на одном далёком замере. Разницу между этими двумя случаями показывает только карта ошибки.

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 можно и без своих данных. **1.10 Пример скважин (демо)** выдаёт готовый набор точек с реалистичной пространственной структурой.

Дальше, когда потребуется обоснование. Параметры модели можно не подбирать на глаз. **1.06 Вариограмма** строит их по самим данным и рисует график, на котором видно, есть ли в данных пространственная связь вообще. Если экспериментальные точки ложатся беспорядочно, никакой метод её не создаст. **1.07 Вариограммная карта** показывает анизотропию - когда сходство тянется вдоль одного направления сильнее, чем поперёк, и это надо учесть. **1.09 Кросс-валидация метода (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

Своих съёмок нет, а карта нужна - случай ранний и самый частый. Всё берётся из открытых источников прямо в QGIS, без ручного скачивания архивов.

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 ждут 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 инструмента **2.04 Подготовка рельефа**. В открытых наборах встречаются пустоты, шум и локальные ямы, которых в природе нет. Заполнение понижений здесь обязательно, без него сток не считается вовсе, вода утыкается в первую же ложную яму. После подготовки работают три инструмента подряд. **6.01 Сток и аккумуляция** даёт направления и накопление. **6.02 Речная сеть** превращает накопление в линии тальвегов с порядками. **6.03 Бассейны и водоразделы** режет территорию на водосборы.

2.06 Вершины и ямы находит характерные точки рельефа - те самые отметки, которые на бумажной карте подписывают числом. Вместе с тальвегами из 6.02 они образуют скелет местности, 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 устраняет следствие, но не причину. Правильный путь другой - собрать из скачанного растра 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. Горизонтали из 1.04 - жёсткими узлами. Точки высот из 2.06 - тоже жёсткими, и с весом больше единицы, если хотите, чтобы вершины перевешивали вершины горизонталей в общей ячейке. Тальвеги из 6.02 - 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, 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 только вредит. Оно перенесёт в новый рельеф шум исходного растра, ради устранения которого работа и начиналась.

Стало лучше или просто иначе, показывают те же два инструмента, что и в следующем сценарии, - **2.09 Невязка горизонталей против ЦМР** и **2.10 Диагностика террасинга**. А **6.01 Сток** по новому рельефу должен дать реки без разрывов и без ложных озёр, и 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. Горизонтали и точки высот дают жёсткие узлы, там отметка приколота. 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 первая из распространённых ошибок. 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. **2.08 Разделить горизонтали для проверки** откладывает часть линий, **2.09 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 **2.10 Диагностика террасинга** - ищет характерный дефект интерполяции по горизонталям, когда поверхность встаёт ступенями вдоль исходных линий, и **2.11** его устраняет.

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 **2.13 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 здесь неочевидны. **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. Числа для отбора он кладёт в атрибуты, а процентили перепада печатает в журнал, и дальше вы двигаете фильтр слоя, глядя на карту, ничего не пересчитывая.

Дальше **2.14 Бровки и подошвы в работу** снимает отметки с рельефа и собирает формы. Пары она определяет спуском по склону, а не по близости. Вода с бровки скатывается ровно к её подошве, а на кривом борту с узкими бермами ближайшая по расстоянию подошва часто принадлежит соседнему уступу. Форма получается из одной подошвы и нескольких бровок при ней, потому что трассировка режет длинную бровку на куски, но спускаются все куски к одной и той же подошве. Непарные линии не пропадают, они уходят в отдельный слой, где в атрибуте записана причина - спуск не дошёл до подошвы или разошёлся по разным подошвам.

Всю связку можно проверить на синтетике. **2.15 Пример карьера (демо)** строит карьер с уступами, бермами, съездом, отвалом и канавой, а вместе с ним выдаёт истинные структурные линии. Против них полнота детектора меряется числом, 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. **2.16 Профилирование откосов** собирает эти точки и восстанавливает по ним профиль всей линии, так что отметка выходит переменной, из самих данных, а не одним числом на весь объект.

Дальше **2.14**, 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 рассуждение замыкается в круг - чтобы построить рельеф, нужны пары, а для пар спуском нужен рельеф, которого ещё нет.

Замыкает **2.03**. Горизонтали идут 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. Заданы две стороны - строится поверхность, задана одна - работает барьером. Решение принимает человек, когда рисует вторую линию.

Нужен геологический разрез

Разрез в Isoliner - это не иллюстрация, 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. Помните, что превышение искажает **все** углы. При множителе 10 наклон в 5 градусов ляжет на бумагу под 41 градусом, поэтому углы по чертежу транспортиром 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 зависит от типа объекта. Плоская линия даёт вертикаль, потому что известно где, но неизвестно на какой глубине, трёхмерная линия даёт точку на реальной высоте, а полигон даёт 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 проходится за пять минут, и ошибиться негде.

Нужны объёмы работ

2.12 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 следует 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 вторая из распространённых ошибок. Разница двух ЦМР почти никогда не равна нулю за пределами выработки. Там остаётся шум съёмки, и на большой площади он накапливается в заметные кубометры.

Общая логика работы

Типовой сценарий состоит из двух шагов. Сначала **2D Kriging** строит растр по точечному слою и числовому полю Z, то есть регулярную сетку значений. Затем **Изолинии из растра** строят по этому растру изолинии и, при необходимости, залитые контурные полигоны.

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

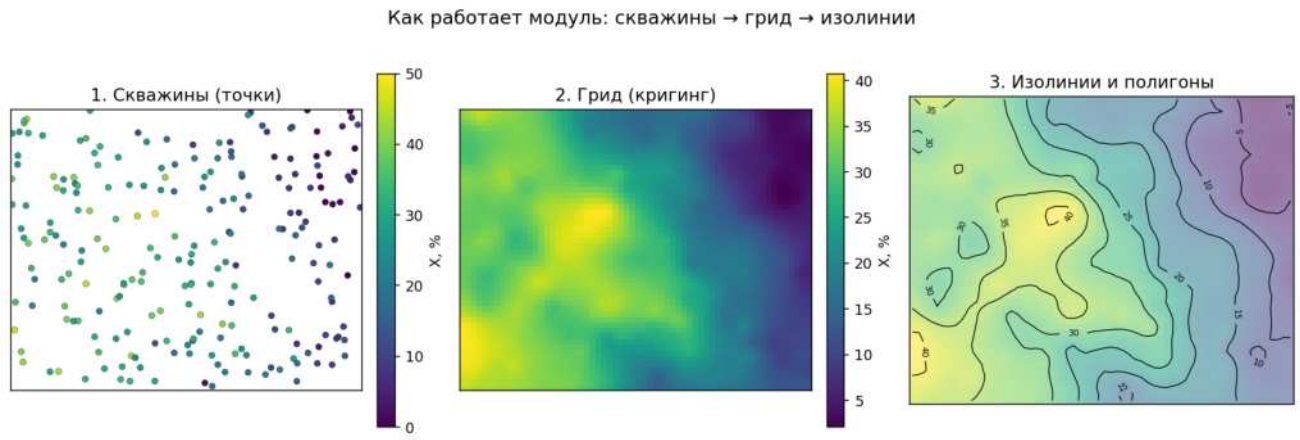


Рис. 1: Весь процесс на сгенерированном примере: скважины с измерениями (слева) превращаются в сплошной грид кригингом (в центре), по которому строятся изолинии и контурные полигоны (справа).

Запуск из модели и из скрипта

Окно параметров запоминает введённые значения и подставляет их при следующем запуске того же инструмента. Это удобно при повторных прогонах по тем же данным и работает как раньше.

На вызов из конструктора моделей или из скрипта это не распространяется. Там параметры, которые вызов не задал, берутся из объявления самого инструмента, а не из того, что было введено в окне накануне. Иначе один и тот же скрипт считал бы по-разному на разных машинах, в разных профилях QGIS и просто в разные дни, и по журналу это не читалось бы. Если недостающий параметр отличается от того, что лежит в памяти окна, инструмент пишет об этом в журнал и называет параметр.

Отсюда правило для моделей. Задавайте в вызове все параметры, значения которых важны для результата. Умолчание инструмента известно и записано в этом руководстве, память окна не известна никому, кроме той машины, где она сложилась.

Названия полей

Имена полей у слоёв, которые выдают инструменты, латинские и короткие: **eta_mm**, **hole_id**, **roof**. На эти имена ссылаются выражения, подписи, стили и следующие инструменты цепочки.

Поэтому они не зависят от языка QGIS, и проект, собранный в русском QGIS, открывается в английском без поломок.

Читать таблицу по таким именам неудобно, поэтому у полей стоят псевдонимы. В русском QGIS таблица атрибутов, формы и окно определения объектов показывают «Оседание, мм», «Скважина», «Отметка кровли, м», в английском показываются английские названия. Так подписаны поля всех инструментов, которые выдают векторные слои.

Псевдоним своим названием получает только поле, которое создал модуль. Поле с тем же именем, что у входного слоя, считается вашим. Если у него во входном слое есть псевдоним, выход получает тот же, если нет, поле остаётся как есть. Поэтому подпись идёт за полем по цепочке: реперы из 9.03 приходят в 9.01 уже подписанными, определение разреза из 4.01 подписано и в 4.02. Ваше поле с вашей подписью тоже сохраняет её в выходе.

Если выход сохранён в файл GeoPackage, подписи записываются и в сам файл. Такой файл, открытый в другом проекте или переданный коллеге, показывает те же названия полей без исходного проекта. Временные слои живут только в проекте, и подписи у них тоже только в проекте.

Псевдонимы стоят и у временных слоёв. Если такой слой подать в инструмент, который копирует поля во временный выход, например в буфер или выборку по атрибуту, QGIS напишет по каждому полю предупреждение «Aliases are not compatible with scratch layers». Расчёт при этом идёт как обычно, а чтобы предупреждений не было, сохраните временный слой в файл.

Точность чисел в таблицах

Числа в полях выходных слоёв округляются до разумной точности по единицам поля. Отметки, мощности и расстояния в метрах пишутся до сантиметра, оседания в миллиметрах до десятой, наклоны в мм/м до тысячной, углы до десятой градуса, площади и объёмы до десятой. Величины без естественного масштаба, например коэффициент фильтрации, вес или уклон, пишутся четырьмя значащими цифрами. Двенадцать знаков после запятой у отметки кровли точности не прибавляют, а в таблице и при выгрузке в Excel мешают.

Поля ваших входных слоёв не округляются. Если поле выхода называется так же, как поле входа, модуль оставляет его значения как есть.

Подоснова

На панели **Isoliner** есть кнопка **Подоснова** - карта или космоснимок под данные одним движением. Отметьте нужные источники, нажмите **Добавить**, и слои лягут в проект. Окно остаётся открытым, потому что подосновы подбирают, глядя на карту. Добавили одну, посмотрели, добавили другую.

В поставке семь источников - OpenStreetMap, OpenTopoMap и пять слоёв ESRI: космоснимки (**ESRI World Imagery**), топооснова, схема, отмывка рельефа и уклоны. Имена слоёв английские, это имена сервисов. У космоснимков есть второй стиль, **Semi-transparent**, он переключается в свойствах слоя на вкладке стилей. Полупрозрачный снимок кладут поверх данных, а не под них, и по нему сверяют положение.

Флажок **Положить под остальные слои** опускает добавленное в самый низ дерева, чтобы подоснова не закрывала работу.

Свой источник добавляется без правки кода. Настройте слой в QGIS как обычно. Затем правой кнопкой в дереве слоёв выберите **Экспорт - Сохранить как файл определения слоя**.

Полученный `.qlr` положите в папку `basemaps` плагина. Порядок в списке задаётся числовым префиксом имени файла. Определение слоя выбрано не случайно. В нём уже лежит и строка подключения, и система координат, и стиль с прозрачностью, а собранный вручную адрес это теряет.

Подосновы отдаются в веб-проекции, а проект обычно работает в местной системе. Если у системы координат проекта задан датум, переход считается и подоснова совмещается. Если датум не задан, снимок сместится молча, поэтому окно предупреждает об этом заранее, до добавления.

1. Грид и изолинии

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 несут значение прямо в геометрии, и заводить ради него отдельный столбец незачем.

Z в геометрии и поле со значением означают 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 прерывает расчёт в середине.

1.01 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).

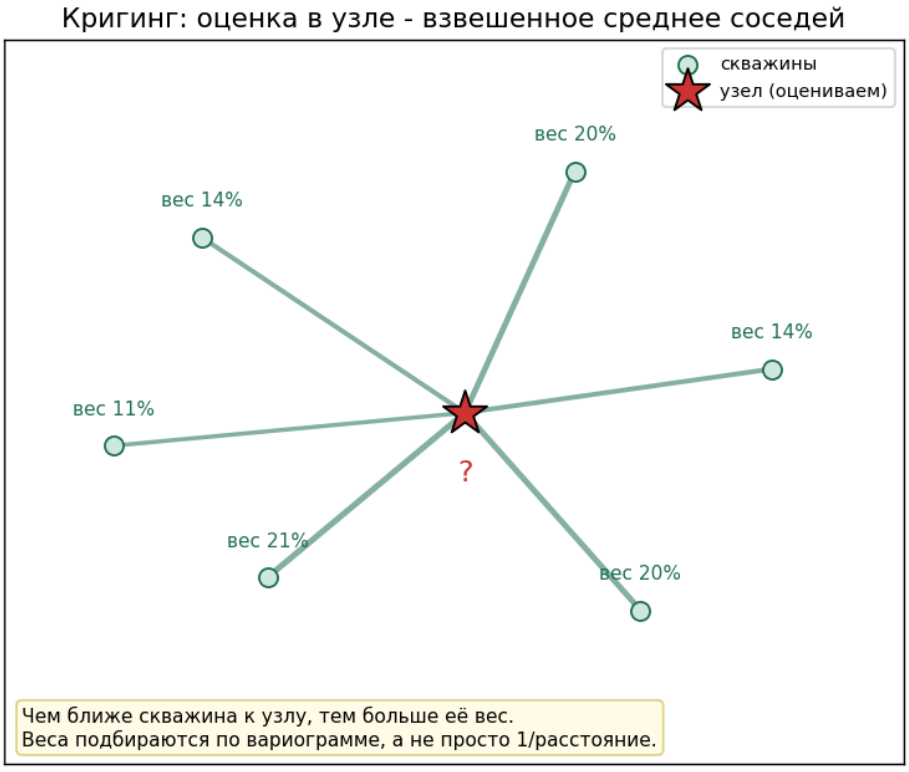


Рис. 2: Кригинг оценивает значение в узле как взвешенное среднее ближайших скважин: чем ближе скважина, тем больше её вес. Веса подбираются по вариограмме.

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
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.

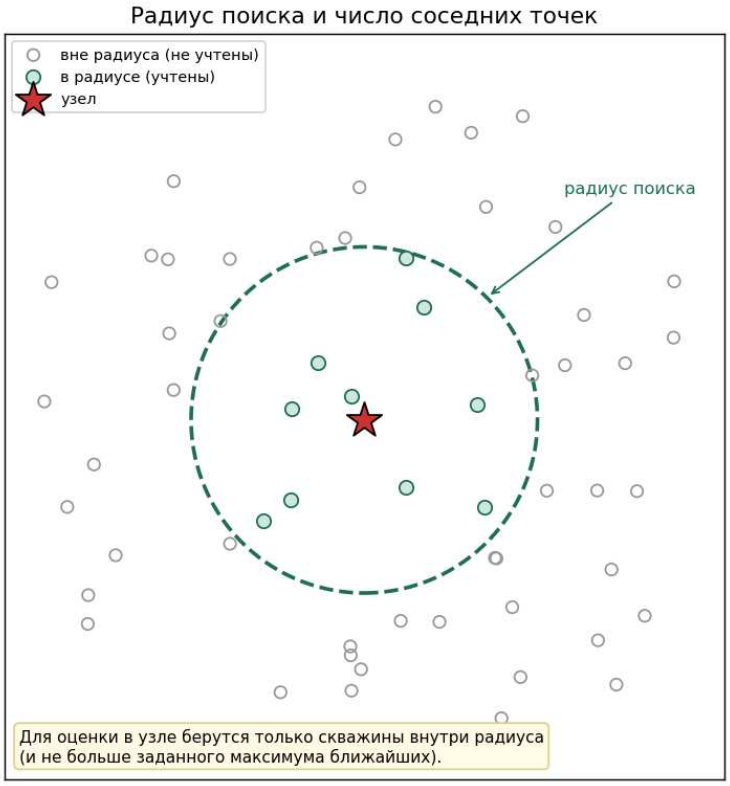


Рис. 3: Для каждого узла берутся только скважины внутри радиуса поиска и не более заданного количества ближайших. Точки за радиусом не участвуют.

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. Второй 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. Направление, которого нет в данных, инструмент не придумывает.

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 перцентилю не отличает ошибку замера от настоящей аномалии, а решение здесь геологическое, и скопление отброшенных точек в одном месте обычно означает не брак, а неучтённое тело.

Автоматические значения

Размер ячейки = min(ширина, высота охвата) / 50.

Радиус корреляции вариограммы = max(ширина, 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

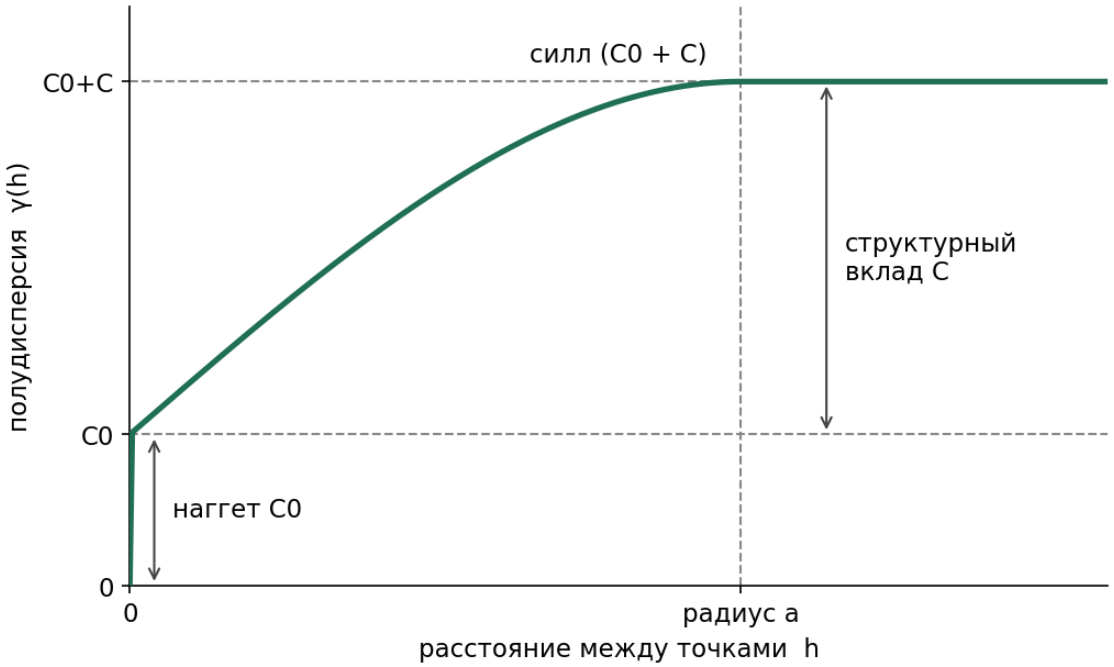


Рис. 4: Схема вариограммы: наггет C0, структурный вклад C, силл (C0+C) и радиус корреляции a.

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» тремя числами - наггет C0, силл (C0 + C) и радиус корреляции a.

Наггет C0 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. Наггет отражает то, что данные на очень малых расстояниях всё равно не совпадают. Причин тому три - погрешность измерения и оцифровки, микроизменчивость на масштабе меньше расстояния между скважинами, расхождение дублей в одной точке.

Как наггет влияет на результат:

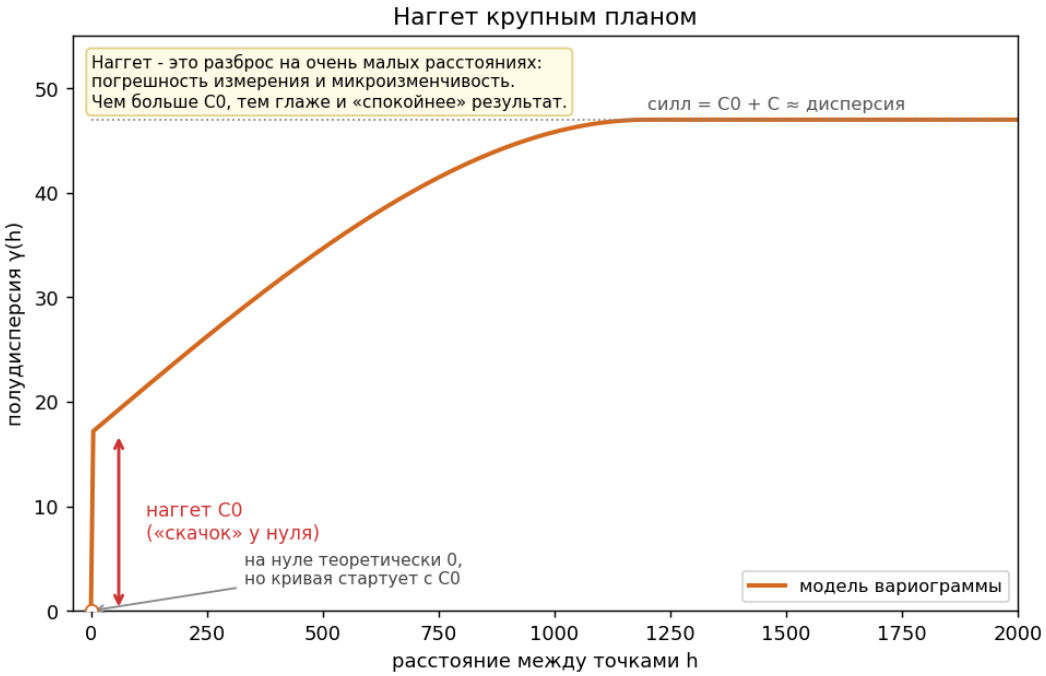


Рис. 5: Наггет крупным планом: модель стартует у нуля не с 0, а со «скачка» C0. Это разброс на сверхмалых расстояниях (погрешность измерения, микроизменчивость). Полка C0+C ≈ дисперсии данных.

C0 = 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»).

C0 > 0 - кригинг перестаёт точно восстанавливать значение в точке измерений и становится сглаживателем, вблизи скважины оценка подтягивается к локальному среднему. Чем больше доля наггета C0 / (C0 + C), тем сильнее сглаживание.

C0 = весь силл (чистый наггет) - пространственная связь теряется, поверхность вырождается в простое среднее. Это перебор.

Важно - единицы. Наггет C0 и силл задаются в **абсолютных единицах дисперсии данных** (квадрат единиц Z), а не в долях 0-1. Значение «1» у силла по умолчанию условное, и почти всегда его нужно изменить. Задайте суммарный силл (C0 + вклады структур C) **близким к дисперсии данных**. Уровень сглаживания определяет не абсолютная величина наггета, а его **доля в силле** C0 / (C0 + C). Практический порядок такой. Возьмите суммарный силл ≈ дисперсии, затем наггет = 0.2-0.4 от него (то есть 0.2-0.4 × 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, и это ваш ориентир для выбора силла.

Структуры, радиус и анизотропия Силл (полка) это уровень, на который выходит вариограмма. Он складывается из наггета C0 и вклада структуры C. Структура задаётся моделью (сферическая, экспоненциальная, гауссова или степенная), порогом C, радиусом a, азимутом и анизотропией.

Смысл силла и порядок величины. Силл - это верхний предел различий между точками, то есть насколько в среднем отличаются далёкие друг от друга скважины. Он практически равен обычной дисперсии данных. Пример по KCl. Среднее ≈ 25 %, дисперсия ≈ 47.6 (%²), то есть σ ≈ 6.9 %. Значит, суммарный силл задаём ≈ 47.6. Если наггет C0 ≈ 17 (примерно 0.35 силла),

то структурный вклад первой структуры C ≈ 47.6 - 17 ≈ 30. На сам грид абсолютный масштаб не влияет, для оценок важно только отношение наггета к вкладу. Но он нужен, чтобы карта стандартной ошибки и MSDR в кросс-валидации были в реальном масштабе (суммарный силл ≈ дисперсии → 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), и 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(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 C0	«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 C0+C ≈ дисперсии данных. Для структур 2 и 3: 0 = выкл.	стр. 1 = 1 (замените на ≈ дисперсию)
Структура i · радиус корреляции a	Дистанция выхода на полку. 0 = авто = max(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

Так схема выглядит на реальных данных. Вариограмму строят по скважинам. Для пар точек считают полудисперсию и усредняют по расстояниям, получается облако (зелёные точки), под

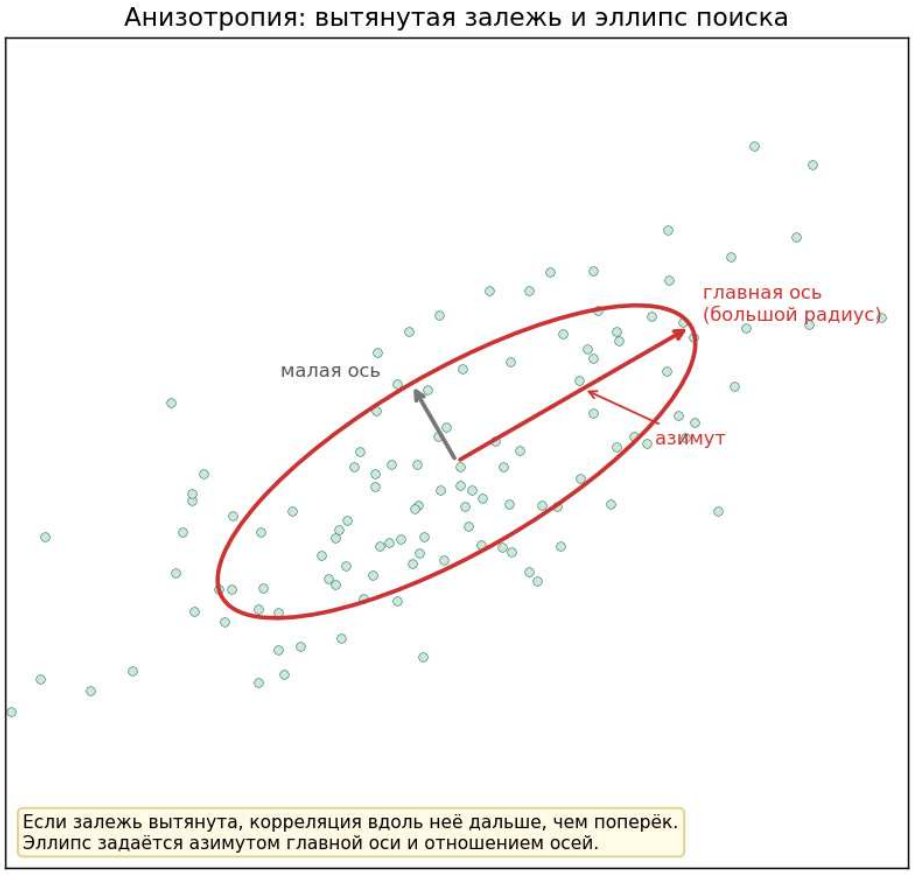


Рис. 6: Анизотропия: если залежь вытянута, корреляция вдоль неё дальше, чем поперёк. Эллипс поиска задаётся азимутом главной оси и отношением осей (малая/главная).

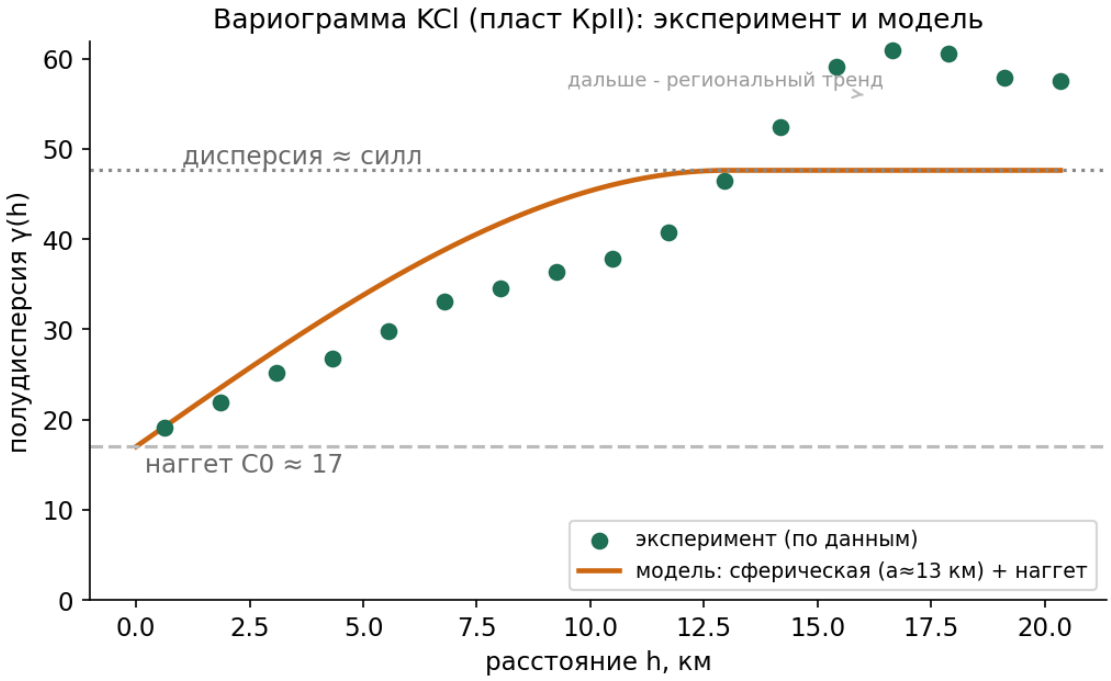


Рис. 7: Экспериментальная вариограмма KCl по пласту KpII и подобранная модель: наггет C0≈17, силл совпал с дисперсией данных, радиус ≈13 км. Точки дальше силла - региональный тренд.

которое подбирают модель (кривая). По нему и задают параметры кригинга. Высота скачка у нуля это наггет C0, полка это силл, обычно близкий к дисперсии данных, а расстояние выхода на полку это 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 это аномально высокие или ошибочные значения, искажающие оценку. Несколько «бонанц» по содержанию перетягивают на себя всю карту грейда, а явная ошибка вроде отрицательной мощности портит 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. Сильно асимметричные данные лучше не обрезать, а преобразовать к виду, близкому к нормальному. Для этого берут логарифм или преобразование Бокса-Кокса. Другой путь это индикаторный кригинг. Оба способа лежат за рамками отсева, но именно так в геостатистике руд и загрязнений обходятся с тяжёлыми хвостами.

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

Границы по абсолюту. «Нижняя граница» и «Верхняя граница» задают пороги в единицах Z напрямую. Пустое поле - граница не задана. Они приоритетнее перцентиля. Например, для

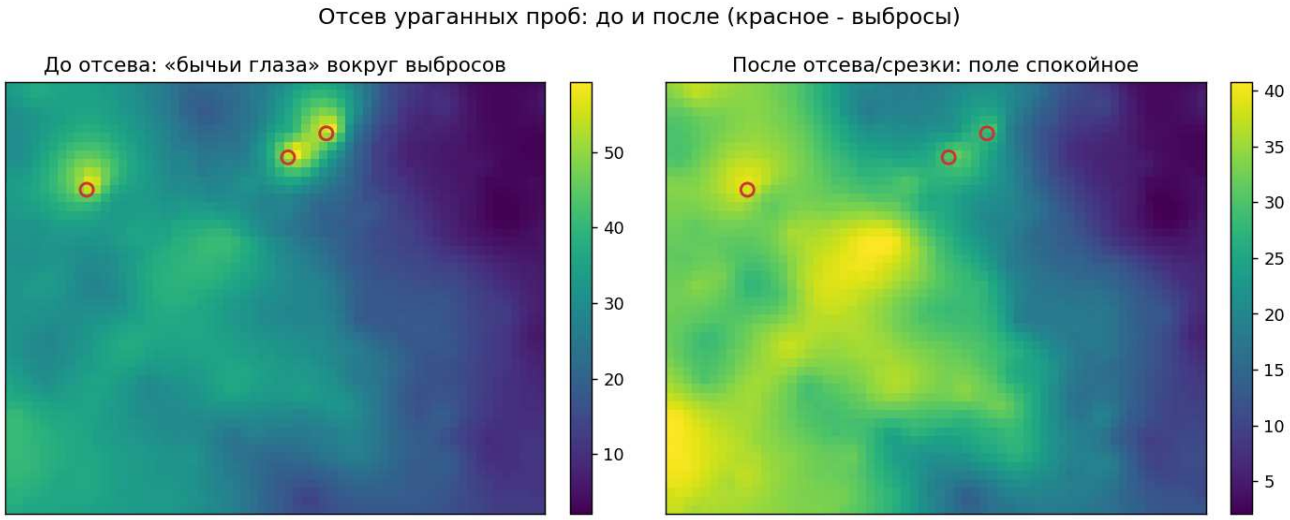


Рис. 8: Отсев ураганных проб на примере: слева три выброса дают «бычьи глаза» (горячие пятна), справа после срезки к верхней границе поле спокойное.

мощности поставьте нижнюю границу 0 - уйдут отрицательные значения, а 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 перцентиля. То есть p = 2 означает «считать ураганными 2% самых низких и 2% самых высоких проб», и всё ниже 2-го и выше 98-го перцентиля 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» абсолютом 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 такое. 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).

Как читать. Тёмные (малые) значения - оценке можно доверять, рядом достаточно скважин.

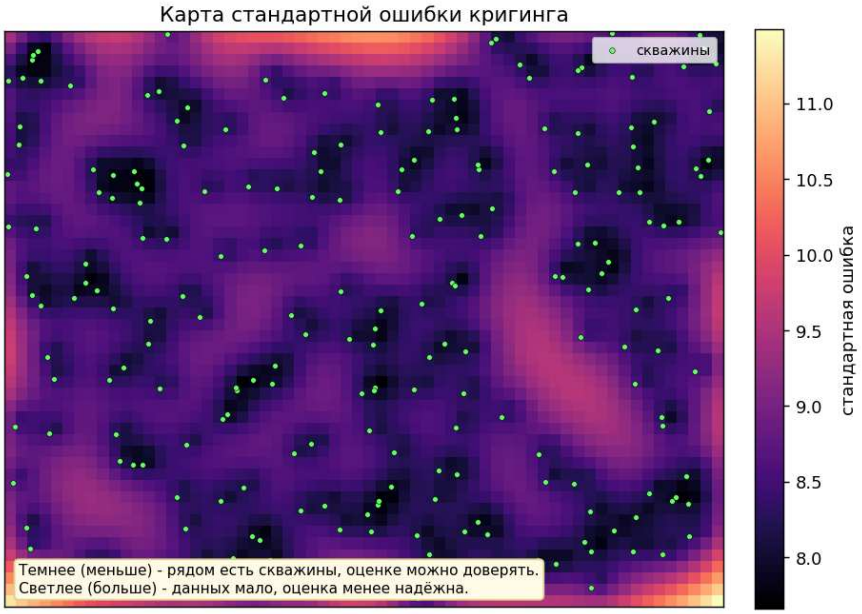


Рис. 9: Карта стандартной ошибки: тёмное у скважин (зелёные точки) - оценке можно доверять, светлое в пустых углах - данных мало.

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, и верна она 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 водопроводимость. 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.

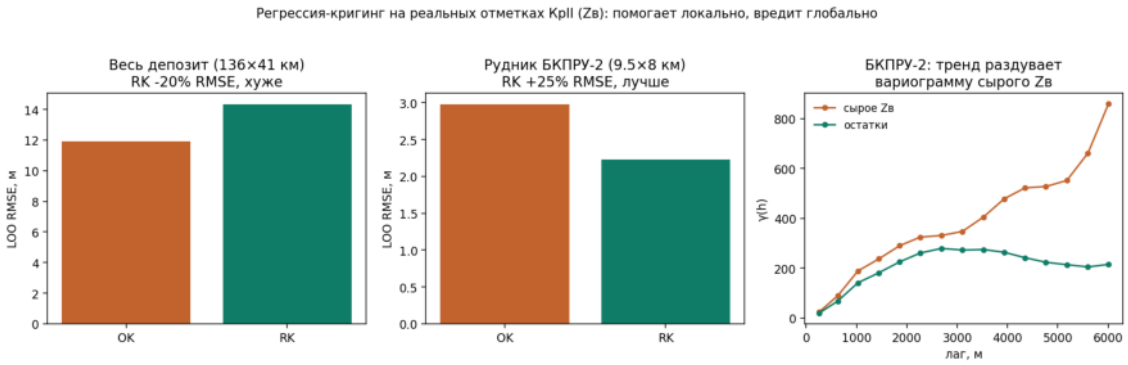


Рис. 10: Снятие тренда на реальных данных: поверхность пласта с выраженным региональным падением. Тренд снят полиномом, кригованы остатки, тренд возвращён к оценке.

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, так что снятие глобального тренда там скорее вредит. Уместность видна по вариограмме. Если у сырого значения радиус сопоставим с размером участка и внятного порога нет, 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**, где тренд переподбирается на каждом шаге контроля, поэтому выигрыш или проигрыш от снятия тренда виден там 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×N, количество задаёт поле **Дискретизация блока, N×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. Большее 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 1.02 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 рассекать 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 здесь 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 эту ступенчатость. 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 обеим сторонам, и отбрасывать её незачем.

Цена приближения

Приближение в методе одно. 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 натыкались 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 **1.10 Пример скважин** умеет создавать разлом сам. Поле **Амплитуда разлома** задаёт величину сдвига, а 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.

1.02 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, и 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 количество 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 количества 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, количество узлов-данных, количество итераций и итоговая невязка. Если достигнут потолок итераций, а невязка выше порога, инструмент об этом предупреждает.

Рядом с полем размера ячейки показывается размер сетки, то есть сколько ячеек выйдет при заданном разрешении. Он пересчитывается при вводе. Метод итерационный, и количество 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 1.01, 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.

Крыло у узла определяется само, стороной, с которой он лежит. Узел, попавший ровно на линию, приписывается к одной стороне, на вид это деталь, но существенная. Разлом, проведённый по оси шахтной сетки, проходит точно через центры узлов, и при строгом разборе он не перекрыл 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, хотя на карте это незаметно. 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.

1.03 MBA: мультисеточные B-сплайны (точки → растр)

Третий способ получить поверхность из точек, после кригинга (1.01) и минимальной кривизны (1.02). Читайте его вместе с ними, а номер стоит последним просто потому, что инструмент появился позже.

Метод Ли, Волберга и Шина 1997 года. Берётся грубая решётка контрольных точек, по ней строится кубический B-сплайн, приближающий данные. Приближает он грубо, поэтому считается остаток - разность между замером и текущей поверхностью, - решётка удваивается, и остаток приближается заново. Так идёт уровень за уровнем, и каждый следующий подхватывает то, что не смог предыдущий.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Точки с замерами / Поле значения	Вход.	-
Охват	По умолчанию по точкам.	по точкам
Размер ячейки	Подробность записи в растр. 0 - пятьсот ячеек по длинной стороне.	0
Начальная решётка по X, по Y	Радиус влияния. Разные значения по осям дают анизотропию.	4 и 4
Количество уровней	Гладкость. Один-два дают тренд, восемь и больше сажают поверхность на замеры.	8
Обрезать выпуклой оболочкой точек	За пределами облака поверхность держать нельзя.	включено
Нижняя и верхняя границы результата	Физически возможный диапазон величины. Пусто - не ограничивать.	пусто
Запас вокруг оболочки (доп.)	Расширение обрезки.	0
Остановка по невязке (доп.)	Прекращает дробление раньше срока. 0 - не проверять.	0
Предел размера растра, млн ячеек (доп.)	Выше него инструмент отказывается работать.	50

Чем берёт

Система уравнений не решается вообще. Коэффициент решётки считается явно, взвешенной суммой по точкам, попавшим в носитель своего сплайна. Поэтому работа линейна по количеству точек, а память зависит только от размера решётки. Кригинг на каждой ячейке решает систему по соседям, и на десятке миллионов замеров это несопоставимые вещи, миллион точек MBA берёт за секунды.

Управление решётками

Начальная решётка задаёт радиус влияния, и чем она грубее, тем дальше расходится замер. Разное количество ячеек по осям даёт анизотропию - на разведочной сети, вытянутой по простиранию, это то, что нужно, и задаётся оно прямо, без модели вариограммы.

Количество уровней управляет гладкостью. Каждый уровень вдвое подробнее и вдвое ближе к данным. Один-два дают гладкий тренд, восемь и больше сажают поверхность на замеры.

Снятие тренда

Коэффициент решётки считается формулой, линейной по значению. Значит ошибка растёт вместе с **величиной** отметки, а не с её разбросом. Там, где носитель односторонний - у края области или в пустом месте внутри облака точек, - знаменатель мал, коэффициент разлетается пропорционально самой отметке, и поверхность в такой пустоте ныряет к нулю.

Количеством уровней это не исправляется, каждый следующий уровень наследует тот же дефект. Вот проверочный пример. Рельеф около двухсот метров, внутри пустой круг радиусом 250 м. Промах в круге доходил до 30 м, а в центре вместо 199 выходило 169.

Поэтому инструмент снимает тренд плоскостью перед подгонкой и возвращает его обратно в коэффициенты нулевого уровня. Промах в той же пустоте становится меньше метра. Настройки для этого нет. Где значения около нуля, снятие тренда не меняет ничего, а где далеко - убирает ошибку, пропорциональную самой величине.

Отсюда же следует, что **обрезка выпуклой оболочкой и границы значений пустоту внутри облака не устраняют**. Оболочка отсекает то, что снаружи, а границы превращают яму в плоскую площадку на уровне границы. Форму восстановить нечем, в пустом месте нужны данные.

Чего не даёт

Ни ошибки оценки, ни модели ковариации, ни весов, которые можно обосновать. Это аппроксиматор, а не оценщик, и он не знает, насколько хорош его ответ. Кросс-валидация метода (1.09) и карта ошибки к нему неприменимы. Отсюда и главное применение в разведке - **строить им тренд, а остатки уточнять кригингом**, для чего есть кригинг с внешним трендом.

Поверхность гладкая по построению, с непрерывной производной. Для рельефа и трендов это плюс, для содержаний минус. Пики сглаживаются, а на подсчёте запасов это ровно то, за что геостатистику и ругают.

Точного попадания в замеры ждать нельзя даже там, где данные постоянны. На постоянном значении отклонение при одном уровне доходит до трети размаха, при трёх падает вдесятеро, при восьми исчезает. Это природа метода, а не ошибка счёта. Краевые коэффициенты недобирают вклад, и каждый следующий уровень подхватывает остаток.

Границы результата

Аппроксиматор не знает, что содержание не бывает отрицательным, а доля не бывает больше единицы. Между замерами гладкая поверхность за диапазон проскакивает - особенно там, где рядом стоят сильно разные значения, и особенно у края облака точек. На логнормальных данных вроде содержаний она легко уходит на полторы тысячи ниже нуля.

Границы срезают результат к физически возможному. Срез возвращает значение к границе, и он же признак неблагополучия.

В журнал пишется, сколько ячеек срезано снизу и сверху, какую долю площади это составило и насколько далеко уходила поверхность. Если к границе прижата десятая часть площади и больше, там поверхность не оценена, а срезана. Замеров рядом нет, и сплайн ведёт себя произвольно. Помогает здесь не граница, а решётка погрубее, меньшим количеством уровней или более узким охватом.

Есть величины, которые не бывают отрицательными и меняются на порядки, - содержания и проницаемость. Их правильнее не срезать, а строить поверхность по логарифму величины и возвращать её через экспоненту. Тогда ноль недостижим по построению, и плато у границы не возникает.

Обрезка

За пределами облака точек у краевых коэффициентов нет данных, и поверхность ведёт себя произвольно - на разведочной сети это видно как приподнятые углы растра. Поэтому результат по умолчанию обрезается выпуклой оболочкой точек, а запас вокруг неё задаётся отдельно. Снять обрезку можно, но тогда за контуром сети получится картина, которую нельзя рассматривать как оценку.

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 поясов. Для DXF, АвтоКАД, Кредо и 3D.	снято
Прореживание контуров, доля ячейки (доп.)	Убирает вершины, отстоящие от линии меньше заданной доли ячейки. Форма сохраняется, объём файла падает. 0 = выкл.	0.25

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
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.	-
Тела поясов (замкнутые оболочки)	Третий выход: тот же пояс замкнутым телом. По умолчанию пропускается, слой создаётся только если задать назначение.	пропуск

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.
Тела поясов	ELEV_MIN, ELEV_MAX	число	Отметки нижней и верхней крышки тела.
Тела поясов	shell	целое	1 у тела - отличает его от плоского пояса без разбора геометрии.

Сглаживание изолиний

Основной способ сгладить изолинии в этом инструменте - **бикубическое сглаживание**. Грид перед контурингом сгущается бикубической интерполяцией (×2…×4), и контуры строятся по более мелкой сетке. На грубом гриде изолинии иначе выглядят «октагонами» (вершины ставятся по краям ячеек), а сгущение убирает эту угловатость топологически чисто. 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 (×4 = в 16 раз больше), поэтому на очень крупном гриде начните с ×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 это отдельная операция, и выполняется она не здесь, а в инструменте «2D Kriging». Там оно идёт по гриду до контуринга и убирает не угловатость линии, а бугристость поля, те самые «бычьи глаза» вокруг скважин. Бикубическое сглаживание и гауссово сглаживание поля дополняют друг друга - первое убирает 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 растра, а полигонизацией самих сглаженных изолиний вместе с контуром годной области растра.

Концы линий притягиваются к контуру, затем сеть нодируется и полигонизуется.

Диапазон уровней пояс получает из отметок ограничивающих его изолиний. Пояс лежит между двумя соседними изолиниями, их отметки и есть его низ и верх, и читаются они точно, без оглядки на размер ячейки. Выборка растра остаётся запасным путём для поясов, у которых с одной стороны не изолиния, а контур области. Сколько поясов определено тем и другим способом, пишется в журнал.

Почему не выборкой. Изолиния проводится интерполяцией между центрами ячеек, а выборка отдаёт значение самой ячейки. Это две разные поверхности. Пока пояс шире ячейки, разница незаметна. Когда пояс целиком лежит внутри одной ячейки, значение этой ячейки принадлежит соседнему диапазону, и пояс получает чужой. На карте это осколок чужого цвета среди соседей. На частом сечении такой пояс не исключение, а правило. Сечение в метр на размахе сто метров и сетке в пятьдесят ячеек даёт почти все пояса тоньше ячейки.

Грань, у которой ни с одной стороны нет изолинии и которая тоньше ячейки, поясом не считается и отбрасывается со счётом в журнал. Такая грань замкнута хвостиками продления у контура области, а не изолиниями.

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».

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 растра, поэтому даёт ступенчатую или строго прямую границу. Она появляется на краю площади и вокруг участков без данных - там, где узел не набрал нужного количества соседей.

Линия разлома режет пояса по себе, и у затухающего конца 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 обрыв мешает, продлите линию разлома за пределы площади. Чаще всего разлом на карте нарисован короче, чем он есть, и продлить его правильнее, чем сглаживать разрыв.

Тела поясов

Пояс сам по себе поверхность, у него есть контур, но нет ни низа, ни объёма. Третий выход даёт тот же пояс замкнутым телом - крышка снизу на ELEV_MIN, крышка сверху на ELEV_MAX,

боковые стенки по всем кольцам, внутренним тоже. Такое тело считает объём, режется плоскостью с закрытым срезом и переносится в программы, которые понимают только замкнутые оболочки.

Замкнутость проверяется по единственному правилу - каждое ребро оболочки принадлежит ровно двум граням. Внутреннее кольцо получает свою стенку наравне с внешним, иначе оболочка не сомкнётся вокруг отверстия. Тела, не прошедшие проверку, считаются и пишутся в журнал числом.

Выход по умолчанию пропускается. В поле стоит пропуск вывода, и слой не создаётся, пока не задать ему назначение или временный слой. Тела заметно тяжелее плоских поясов, поэтому включать их стоит под задачу, а не всегда.

Оформление слоёв

Линиям 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.

Контурный полигон кладётся плоско, на верхнюю границу своего пояса - на ту же отметку, что верхняя крышка его тела. Стопка поясов и даёт ступенчатую поверхность, а полигоны с телами ложатся друг на друга без зазора.

Кольцо пояса обязано быть плоским. Неплоское кольцо трёхмерная сцена триангулирует в плане, и между вершинами разной высоты натягиваются длинные тонкие треугольники через весь пояс, на экране это ленты, вытянутые по высоте. Высоту держат стенки тела, а не наклон площадки.

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 горизонтали на нулевую отметку, и высоту приходится задавать вручную по каждой линии.

Многочастность слоя сохраняется. Изолиния одного уровня остаётся одним объектом со всеми своими ветвями, количество объектов не меняется, подписи не размножаются.

Прореживание контуров

Контурер ставит вершину на каждом пересечении уровня с ребром ячейки, и на подробном гриде линия несёт вершин больше, чем нужно её форме. Параметр **Прореживание контуров** убирает вершины, отстоящие от спрямляющей линии меньше заданной доли ячейки. При доле 0.25 и ячейке в пять метров отбрасывается всё, что уклоняется меньше чем на метр с четвертью. Форма при этом сохраняется, а объём слоя падает в разы, и это важно и для чертежа, и для трёхмерной сцены, и для передачи в АвтоКАД. Прореживание идёт до полигонизации, поэтому границы поясов и после него совпадают с изолиниями. Ноль отключает.

Там, где изолинии идут чаще допуска, прореживание и скругление сверяются с гридом. Линия уровня держится между серединами до соседних уровней, и спрямление или срез угла, выводящие её за эту границу, не выполняются. Так на крутом борту мульды или на склоне с частым сечением соседние изолинии не заходят друг за друга, а на пологих участках допуск

работает в полную силу. Сколько спрямлений отменено и сколько углов оставлено, пишется в журнал.

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**, где 1 означает, что линия оставлена как была, а 0 что развёрнута.

Автоматический выбор стороны иногда ошибается, и тогда его переключают вручную 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, так что 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 про попавший уровень пишет в журнал сам уровень, количество 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 теряет устойчивость, распадается на множество мелких колец и выглядит как одна утолщённая. Классический источник такой площадки это поверхность воды. На матрице, полученной по стереопаре, она стоит на одной отметке с точностью до сантиметров и занимает иногда половину площади.

Отличить этот дефект 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 поверхность воды 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 `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, поверхность воды 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 дробила бы горизонталь на нормальном склоне, и карта редела бы без причины.

Число три постоянно и в параметры не вынесено, подбирать его не за что.

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 ради ровной линии. Это была бы подделка данных. На выходе получилась бы ровная и неверная горизонталь вместо изломанной, 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 1.01 или 1.02, 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, пропусков 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, делённая на периметр. У длинной узкой полосы она равна ширине полосы при любой её 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 уберёт с карты почти всё. Инструмент предупреждает в журнале, если отсеял больше половины поясов. По умолчанию порог равен нулю, то есть отсева нет.

1.05 Декластеризация (веса)

Инструмент готовит данные перед интерполяцией. Когда пробы сгущены неравномерно, одни блоки разбурены плотнее других, глобальная статистика без весов 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 **declus**) даёт каждой пробе вес, обратный локальной плотности, - в скоплении меньше, на разрежённых участках больше. По взвешенным данным считается представительное декластеризованное среднее.

На поле накладывается сетка ячеек, вес пробы пропорционален единице, делённой на количество проб в её ячейке, затем веса нормируются. Размер ячейки подбирается автоматически, перебором размеров. Выбор идёт 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 (перебор размеров) или ручной.	Авто
Размер ячейки для ручного режима	Сторона ячейки в ручном режиме.	0

Параметр	Назначение	По умолчанию
Цель перебора (Доп.)	Минимум или максимум среднего.	Минимум
Сколько размеров перебрать (Доп.)	Сколько размеров ячейки примерить.	24
Соотношение ячейки Y/X (Доп.)	Анизотропия ячейки.	1
Смещений начала сетки (Доп.)	Усреднение по сдвигам сетки.	4
Точки с весами	Слой точек с полем **wt**.	-
HTML-отчёт	Сводка, гистограмма, кривая среднего.	по умолчанию

На выходе слой точек с полем **wt** и HTML-отчёт со сводкой (среднее без весов против декластеризованного), гистограммой исходной против взвешенной и кривой среднего от размера ячейки. Декластеризованное среднее из журнала и отчёта ставится в **1.01**, в поле **Среднее для простого кригинга**.

Отдельного переключателя «применить декластеризацию» в других инструментах нет, и это намеренно. Инструмент отдаёт слой точек, у которого к исходным полям добавлено поле **wt**. Дальше этот слой подаётся вместо исходного туда, где вес нужен, а само поле указывается параметром **Поле весов декластеризации (из 1.05)**. Такой параметр есть у вариограммы **1.06**, вариограммной карты **1.07**, обеих кросс-валидаций **1.08** и **1.09**, категориального индикаторного кригинга **3.01** и гауссовой симуляции **3.06**. Он лежит в разделе «Дополнительно». В **1.01** поля весов нет, туда декластеризация приходит числом, декластеризованным средним в поле **Среднее для простого кригинга**.

Поле **wt** подаётся в **3.06 Гауссова симуляция** для взвешенного нормально-балльного преобразования. Ураганные пробы отсекаются отдельно, персентильным капанием в самих инструментах кригинга и кросс-валидации.

1.06 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. Задача у него 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, на наггет, порог и радиус. От них зависят веса при интерполяции и карта стандартной ошибки. Подбор этих чисел легко поручить 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, понимая, 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 шагам расстояния, и получается кривая γ(h). Шаг здесь - интервал расстояний между точками пары, и все пары, разнесённые на расстояние от h до h плюс ширина шага, дают одну точку кривой. 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» C0 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	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 (доп.)	Строит отдельную кривую для каждого значения поля (например, вид разведки) и накладывает их на один график.	выкл.
Поле весов декластеризации (доп.)	Веса из **1.05 Декластеризация** для взвешенной оценки.	не задано
Количество шагов	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

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Минимум точек в группе, % (доп.)	Группы мельче порога не строятся и перечисляются в журнале. Пол - 30 точек.	2
Устойчивая оценка (Кресси-Хокинса) (доп.)	Оценка, менее чувствительная к редким аномальным парам.	выкл.
Показать облако пар (доп.)	Добавляет на график исходные пары до усреднения.	выкл.
Наложить заданную модель вариограммы (доп.)	Рисует поверх облака модель с заданными вручную наггетом, порогом и радиусом. Так своя модель сравнивается с данными.	выкл.
Ураганные пробы (доп.)	Перцентиль обрезки, нижняя и верхняя границы значения, срезка к границе вместо удаления. В самом конце списка.	выкл.
Имя профиля для таблицы	Имя набора, под которым подобранная модель и текущий отсев заносятся 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: расстояние, значение γ, количество пар.	временный слой
Отчёт (HTML)	Выход: облако пар, подобранная кривая и линия дисперсии данных.	временный файл
Ураганные пробы (выход)	Отброшенные точки с координатами, значением и причиной отсева.	выключен

Зачем смотреть на отброшенные точки, сказано в 1.01.

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

На выходе формируется **Отчёт (HTML)** с графиком, подобранной кривой и линией дисперсии данных.

Необязательным выходом идёт **Таблица вариограммы** - точки экспериментальной вариограммы слоем без геометрии, по строке на каждый шаг 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 пары внутри шага, в единицах слоя.

Поле	Тип	Что содержит
gamma	дробное	Полудисперсия γ(h): среднее половины квадрата разностей значений по парам этого шага (или устойчивая оценка Кресси-Хокинса, если она включена).
npairs	целое	Количество пар точек, попавших в шаг. 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 малых расстояниях 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.

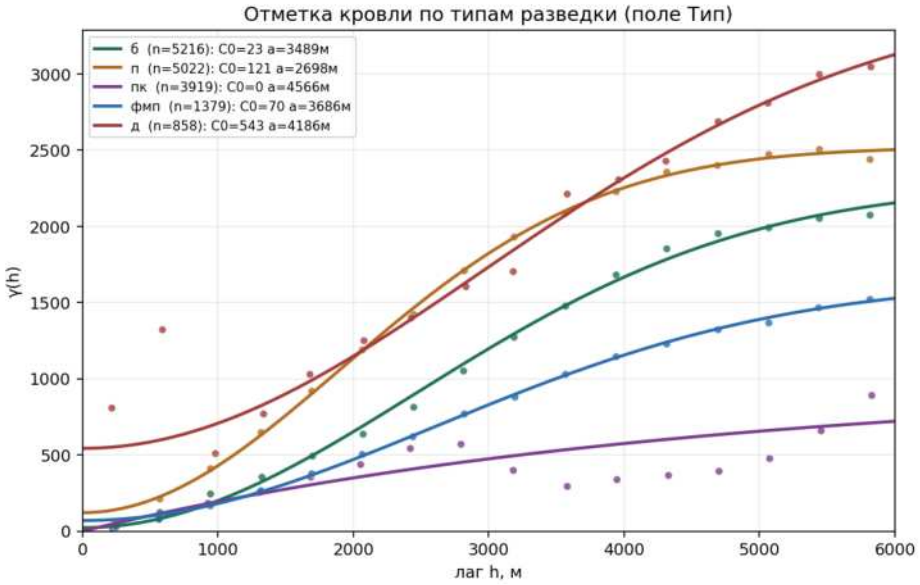


Рис. 11: Отметка кровли по пласту КрII, сгруппированная по виду разведки: подземная сеть лежит заметно ниже (область однороднее), детальная разведка даёт высокий наггет. Разные совокупности видно сразу.

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

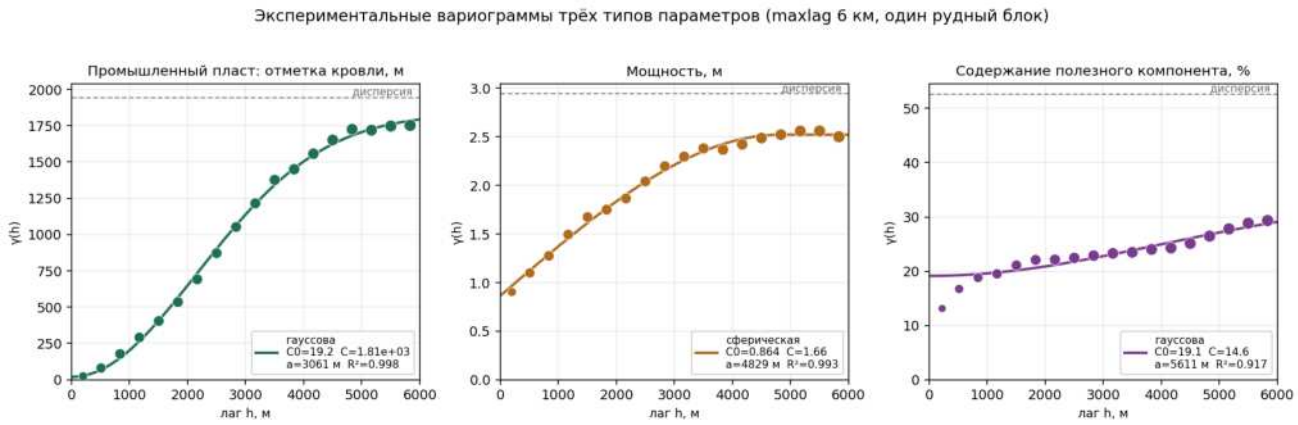


Рис. 12: Три типа параметров одного пласта в едином окне: отметка кровли (почти нулевой наггет, гладкая поверхность), мощность (наггет около трети, сферическая) и содержание (наггет сопоставим со вкладом, шумный параметр).

отметку, изменчивость крупномасштабная. Кригинг работает уверенно. Здесь есть тонкость. Гауссова модель с почти нулевым наггетом численно неустойчива и даёт на карте характерные «бычьи глаза», поэтому 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 лежит на масштабе мельче сети опробования. Кригинг такой параметр сильно сглаживает, а кросс-валидация показывает большую ошибку. У отметок и мощностей наггет ниже и подбор устойчивее, а у содержания это свойство самого параметра, а не ошибка данных.

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. На больших расстояниях в пары попадают точки через безрудные провалы и межблоковые разрывы. Вариограмма начинает описывать региональный тренд вместо локальной структуры. Подбор тогда выдаёт радиус больше самого окна и порог в разы выше дисперсии. Признак такой - радиус подобранной модели сопоставим с окном или превышает его. Это значит, что кривая не вышла на плато и порог получен экстраполяцией.

Устраняется это уменьшением максимального расстояния до локального масштаба и проверкой, что вариограмма успела выйти на полку. Вот пример. По содержанию одного пласта при окне в 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 шаг 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 шага - расстояние, количество пар в нём и значение γ рядом с дисперсией данных. Если γ первого шага уже выше общей дисперсии, об этом сообщается отдельным предупреждением, описать такое можно только наггетом.

Следом называются самые тяжёлые пары внутри первого шага - 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, и причин две. 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 концентрические кольца 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. Подобранная 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, и на кластеризованной сети это не ошибка. Дисперсия без весов 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 **1.05 Декластеризация**. Тогда каждая пара точек берётся с весом, равным произведению весов её концов, и скопления не завышают ближние расстояния. Счётчик пар в отчёте показывает сырое количество пар, а сама γ считается взвешенно.

Таблица моделей вариограмм

Подобранная вариограмма это результат анализа данных, а не настройка программы, поэтому она хранится табличным слоем. Такая таблица сохраняется 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 количество 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.

Порядок работы

1.06 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.

1.07 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 омнинаправленная вариограмма, а карта описывает только геометрию. Оценка по карте индикативная, и это фиксируется в поле `note`.

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

1.01 2D Kriging и **3.01 Категориальный 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.

1.07 Вариограммная карта (анизотропия)

Инструмент строит вариограммную карту - поверхность полудисперсии γ как функцию двумерного вектора разноса (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, и 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 расстояний. 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 нулевое расстояние. 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 точечно-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.

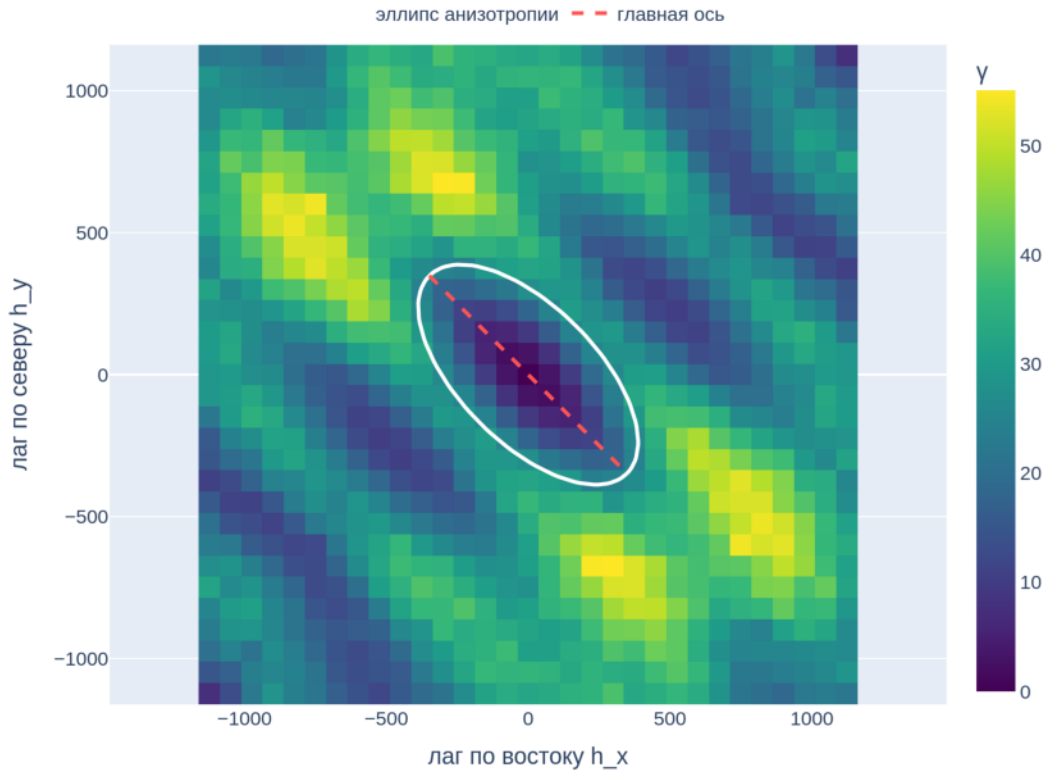


Рис. 13: Вариограммная карта: тёмная (низкая γ, высокая непрерывность) зона вытянута по азимуту около 135°. Белый эллипс и красная пунктирная главная ось показывают оценённое направление и анизотропию.

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 окна. Карта получается размером (2N+1)×(2N+1). Больше бинов - детальнее карта, но меньше пар в ячейке и больше шума.	15
Макс. расстояние, в единицах слоя	Размер окна карты, в единицах слоя (для метровых координат - метры). 0 = половина диагонали охвата.	0
Мин. количество пар в ячейке (доп.)	Ячейки, в которые попало меньше пар, оставляются пустыми. Отсекает шумные дальние расстояния, где пар мало.	5
Отчёт (HTML)	Отчёт с картой, эллипсом, главной осью и сводкой оценок.	временный файл
Растр поверхности (опц.)	Поверхность γ как растр в координатах расстояния (см. ниже). По умолчанию не создаётся.	выкл.

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

Поле весов **wt** из **1.05 Декластеризация** работает и здесь, тем же способом, что в 1.06. Пара точек берётся с весом, равным произведению весов её концов.

Оценка азимута, анизотропии и радиуса

Кроме самой карты инструмент выводит в журнал и в HTML-отчёт три числа.

Азимут главной оси географический, ноль на север, отсчёт по часовой стрелке. Коэффициент анизотропии это отношение малой оси к главной, единица означает изотропию, меньшее значение более сильную вытянутость. Третье число - радиус главной оси. Оценка устроена так. По каждому направлению ищется расстояние, на котором γ выходит на полку, то есть приближается к дисперсии данных. Полученные радиусы сглаживаются по азимуту. Главная ось берётся по наибольшему радиусу, а малая идёт 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, и сверять её надо с формой самой карты, 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 профи-

ля в **2D Kriging** эти значения подставятся 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 - правильнее сообщить об этом, чем выдать случайный азимут. Помогает уменьшить макс. расстояние или увеличить количество бинов, чтобы разрешить ближнюю структуру.

Когда радиус упирается в окно

Если вдоль главной оси γ не успевает выйти на полку в пределах окна, радиус возвращается равным макс. расстоянию. В отчёте и Журнале появляется предупреждение о том, что радиус достиг макс. расстояния и является нижней оценкой. 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 переносить в кригинг как есть нельзя. Настоящая длина корреляции больше окна, а коэффициент анизотропии занижен по выраженности, то есть поле на деле ещё анизотропнее. Азимут при этом обычно определён нормально. Устраняется увеличением макс. расстояния, чтобы карта захватила выход на полку. Если же γ 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 γ, но в координатах расстояния, начало в точке (0, 0), размер пиксела равен ячейке карты. Растр не привязан к местности, он лежит в пространстве разносов, а не в плане месторождения. Нужен он тем, кто хочет рассмотреть карту на холсте QGIS, наложить свою цветовую шкалу или измерить расстояние линейкой. Для самой оценки анизотропии достаточно HTML-отчёта.

1.08 Кросс-валидация вариограммы

Инструмент проверяет подобранную вариограмму скользящим контролем. Каждая скважина по очереди исключается из выборки, её значение предсказывается кригингом по всем остальным и сравнивается с фактическим. Так наггет, радиус и модель подбираются по величине ошибки, а не на глаз.

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 силл малы). Если меньше 1 - переоценена.

R - коэффициент корреляции «оценка - факт».

Метрики отвечают на два разных вопроса. Первый - о точности предсказания, и на него отвечают облако «оценка - факт» и RMSE. Второй - о правильности модели, то есть о том, верно ли вариограмма описывает неопределённость, и на него отвечают стандартизованные ошибки, MSDR около 1 и QQ-график.

Кригингу нужны оба ответа. Малая RMSE при MSDR около 1 означает, что модель предсказывает хорошо и не обманывается в собственной точности. Гнаться за одной RMSE нельзя, она минимальна при нулевом наггете, где неопределённость занижена.

Переберите несколько вариантов вариограммы и сравните их. Хорошая модель даёт ME около нуля, малую RMSE и MSDR около единицы.

RMSE, тянущая к нулевому наггету при огромном MSDR, означает переобучение, и небольшой наггет калибрует неопределённость.

Слой остатков показывает, где модель промахивается. Крупные по модулю остатки отмечают проблемные участки. Одинаковый знак остатков на площади выдаёт локальный тренд.

Слой называется по проверяемому полю и источнику, а у полей стоят псевдонимы словами, видные в таблице атрибутов.

Поле std_resid это стандартизованный остаток, то есть ошибка, делённая на стандартную ошибку кригинга. Знак сохраняется, минус означает, что кригинг занизил, плюс что завысил. Дисперсией эта величина не является, дисперсия неотрицательна.

Поля слоя остатков:

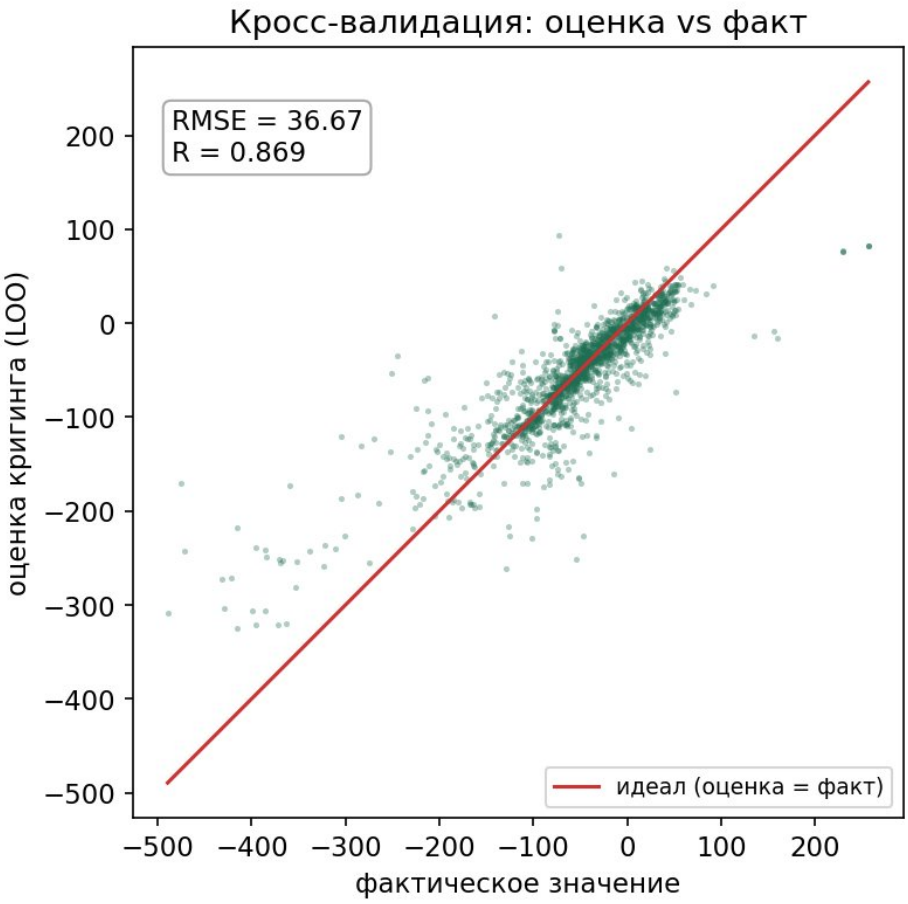


Рис. 14: Идея кросс-валидации: оценку кригинга по остальным точкам (по вертикали) сравнивают с фактом (по горизонтали). Чем теснее облако ложится на диагональ оценка = факт, тем точнее предсказание.

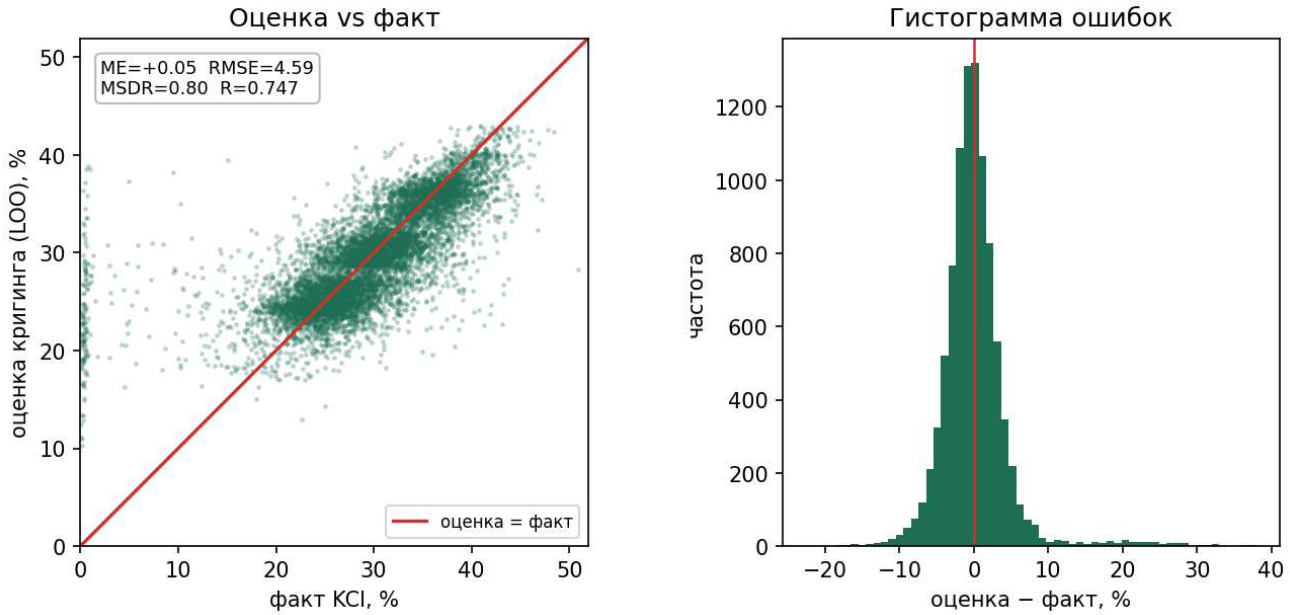


Рис. 15: Так выглядит HTML-отчёт кросс-валидации: слева график «оценка vs факт» с диагональю и метриками (пример - KCl по пласту KpII), справа гистограмма ошибок. Плотное облако вдоль диагонали - модель работает. Полоса при факте около 0 - зоны замещения. Гистограмма симметрична относительно 0 - смещения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

Поле	Псевдоним	Описание
`<номер скважины>`	Номер скважины	Значение выбранного поля ID (если задано «Поле номера скважины»).
`<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 формирует HTML-отчёт. В нём четыре части - график «оценка против факта», гистограмма ошибок, QQ-график остатков и таблица метрик.

На графике «оценка против факта» проведены две линии, серая диагональ это идеал, синяя это линия регрессии Best Fit. Её наклон, сдвиг и угол вынесены в метрики и показывают условное смещение по диапазону значений. Наклон около единицы означает, что метод одинаково точен на низких и высоких значениях, а наклон меньше единицы - что высокие значения занижаются, а низкие завышаются. Это регрессия к среднему, характерная подпись сглаживающих методов.

В таблицу метрик добавлена дисперсия данных, она служит ориентиром для суммарного силла C0+C.

Рядом с таблицей стоит блок «Параметры кригинга». В нём перечислены только настройки,

отличающиеся от стандартных, чтобы было видно, какими параметрами получены эти метрики.

При наведении на точку графика видны номер скважины и её значения. Восемь скважин с наибольшими по модулю остатками подписаны прямо на графике, их стоит проверить первыми.

Отчёт открывается в просмотрщике результатов QGIS или в браузере. Без plotly в сборке QGIS отчёт всё равно создаётся, но с одной таблицей метрик.

QQ-график остатков показывает форму распределения ошибок. Ошибки нормируются на собственную дисперсию и сравниваются с нормальным распределением, поэтому график читается по форме при любой калибровке. За масштаб неопределённости отвечает MSDR в таблице метрик.

По горизонтали отложены квантили нормального распределения, по вертикали нормированная ошибка. У нормальных ошибок точки ложатся на красную диагональ.

Отклонения читаются по виду кривой. Загнутые S-образно концы означают тяжёлые хвосты, то есть крупных промахов больше, чем при норме. Общий изгиб дугой означает асимметрию, и стоит подумать о преобразовании значений. Оторвавшаяся от линии группа означает чужую совокупность в данных, например безрудные пробы из зон замещения.

Нормальность важна потому, что на ней основаны MSDR и карта стандартной ошибки.

Что делать с результатами. Инструмент нужен для того, чтобы утвердить весь набор параметров до построения грида. В набор входит вариограмма с наггетом, силлом, радиусом, моделью и анизотропией, а вместе с ней настройки самого кригинга - радиус поиска, наименьшее и наибольшее количество точек, тип кригинга. Кросс-валидация считает кригинг ровно с этими настройками, поэтому удачный набор переносится в инструмент «2D Kriging» без изменений.

Порядок решений такой.

- 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, а для простого кригинга ещё и заданное среднее.
- Большая RMSE и низкий R - модель плохо предсказывает. Попробуйте другой радиус, модель или анизотропию (азимут и отношение осей). Если ничего не помогает, это предел данных, короткомасштабная изменчивость, которую сеть не ловит. Например, зоны замещения по руде - на графике выше это вертикальная полоса при факте около 0.

Слой остатков подсказывает точечно. 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 такой. Этот инструмент - последний шаг перед финальным кригингом. Сначала вариограмма калибруется здесь по ошибке, затем те же параметры ставятся в «2D Kriging», и поверхность вместе с картой стандартной ошибки выходит обоснованной, а не подобранной на глаз.

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

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, причём отбор остаётся точным и оценка не меняется.

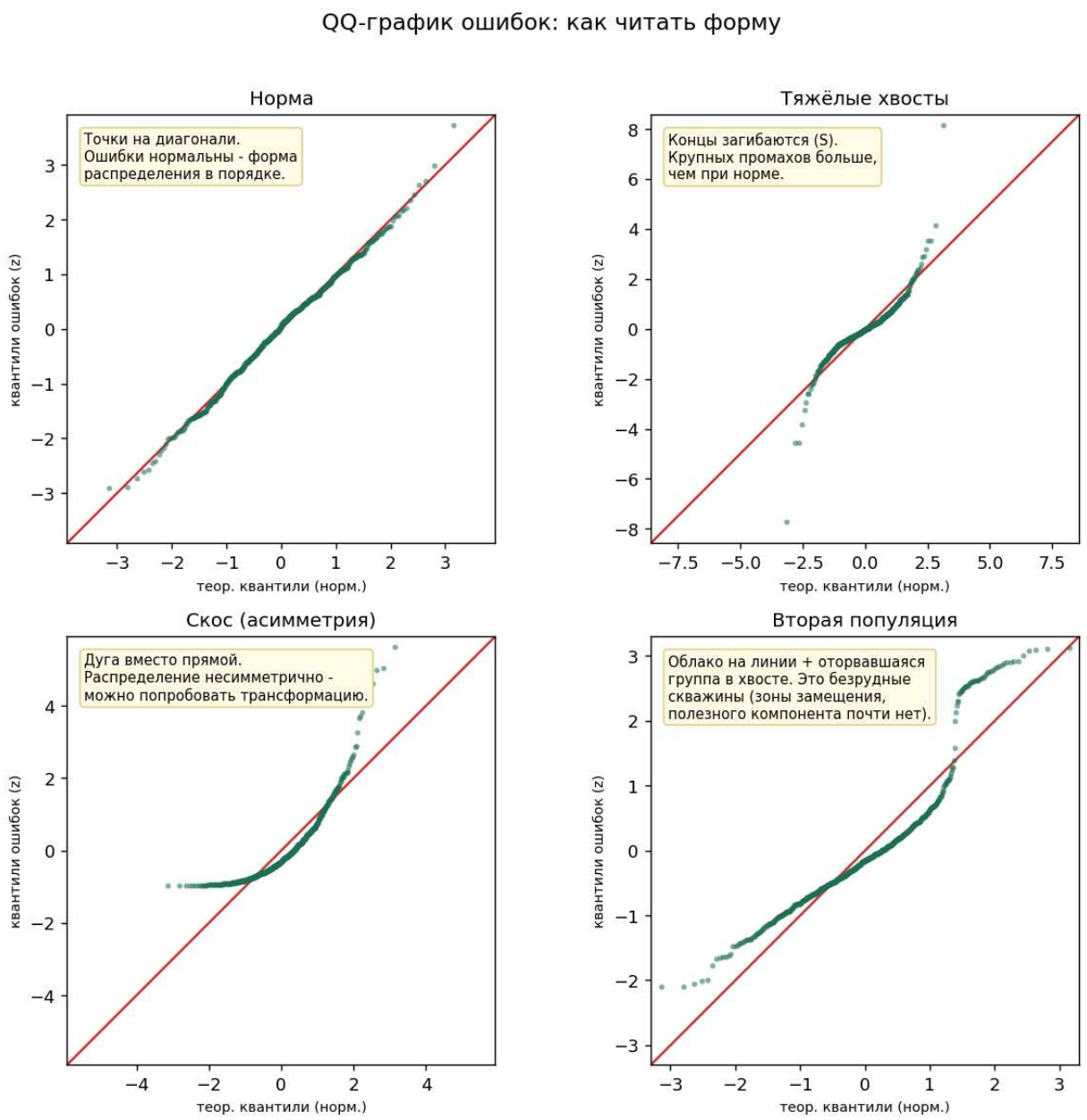


Рис. 16: Четыре типичных вида QQ-графика остатков: норма (точки на диагонали), тяжёлые хвосты, асимметрия и вторая популяция - оторвавшаяся группа в хвосте.

Если данные сгущены неравномерно, задайте необязательное поле весов **wt** из инструмента **1.05 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 Кросс-валидация метода (LOO)

Скользящий контроль для метода гридирования, кригинга или минимальной кривизны. Каждая проверяемая точка по очереди исключается, её значение предсказывается методом 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 **1.08 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 здесь такие - **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 единицы означает, что метод одинаково точен на низких и высоких значениях, а наклон меньше единицы - что высокие значения занижаются, а низкие завышаются. Это 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 1.01).	-
Параметры мин. кривизны (Доп.)	Охват, ячейка, натяжение, порог, итерации.	авто
Проверять только в охвате (Доп.)	Область контроля по X/Y.	везде
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 количество проверяемых точек.

Поле весов **wt** из **1.05 Декластеризация** работает и здесь так же, как в 1.08. Взвешивается сводка метрик, а сама оценка leave-one-out не меняется.

1.10 Пример скважин (демо)

Инструмент формирует точечный слой со случайными координатами и тремя полями. Поле roof несёт абсолютную отметку кровли пласта, поле thick мощность, поле X содержание условного компонента в процентах.

Диапазоны кровли и мощности заданы по образцу промышленного пласта KpII, и слой нужен для обучения и для 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 KpII
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 K и T и напор	Напор и лог-нормальные K (м/сут) и T = K·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, близкий к дисперсии данных, наггет и радиус.

Вариограмма этих данных восстановима, поэтому на них удобно пройти весь цикл. Постройте грид в «2D Kriging», затем изолинии, затем проверьте параметры кросс-валидацией.

Необязательные поля добавляются галками и нужны для обучения смежным инструментам.

Добавить категориальное поле минтипа даёт поле mintype с фоном сильвинита и очагами замещения, рассчитанное на категориальный индикаторный кригинг.

Добавить поле напора даёт поле head с выраженным региональным уклоном. Кригуйте head, подайте растр в инструмент потока, и стрелки пойдут вниз по склону напора.

Вывод **Поверхность дрейфа** строит отдельным растром гладкую стороннюю поверхность s, известную всюду. Вместе с ней появляется поле dz, линейно с этой поверхностью связанное. На такой паре осваивают кригинг с внешним дрейфом. Кригуйте dz с растром s как дрейфом и сравните с обычным кригингом dz. Без этого вывода поле dz не добавляется.

Галка **Добавить поля K и T и напор** даёт напор и два лог-нормальных поля. Поле K это коэффициент фильтрации с разбросом на порядки, как в настоящих откачках. Поле T равно K, умноженному на мощность. На них осваивают удельный расход по Дарси. Кригуйте K и T в «2D Kriging» с преобразованием **ln**, добавьте напор и подайте 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 K и T.
K	число	Коэффициент фильтрации, м/сут (лог-нормально). Только с галкой K и T.
T	число	Водопроводимость T = K·мощность, м²/сут. Только с галкой K и T.
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.

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

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

1.11 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 ρк (Ом·м), потенциал естественного поля ЕП (мВ) и вызванная поляризация ВП (мВ/В). В данные заложена низкоомная аномалия - обводнённая или замещённая зона. В ней ρк 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 **1.01 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 ρк. Поле **rho_true** (или **settle_true**) - заложенное значение без шума, эталон для проверки точности интерполяции.

Кригинг или минимальная кривизна

Геофизические профили - характерный случай для выбора метода интерполяции. Данные плотные вдоль профилей и разреженные между ними, а сама величина (сопротивление, потенциал) физически гладкая и непрерывная.

Кригинг в точности отражает неравномерность сети. Без настроенной анизотропии вариограммы он тянет структуру вдоль линий съёмки, и поле распадается на полосы вдоль пикетов.

Минимальная кривизна **1.02** навязывает гладкость и сшивает разрозненные профили в связную поверхность. Для профильной съёмки и потенциальных полей она обычно подходит лучше.

То же относится к полю **sp**. Минимум ЕП проявляется цельным телом, а не столбцами.

Ярче всего разница видна на оседаниях. Мульда сдвижения это компактная осесимметричная воронка. Кригинг раскатывает её в ленту вдоль профилей, а минимальная кривизна восстанавливает чашу с чётким центром.

Поля с профилей стройте минимальной кривизной. Кригинг применяйте тогда, когда анизотропия вариограммы настроена под геометрию сети.

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

Параметр	Что задаёт	По умолчанию
Область (экстент)	Границы генерации.	-
Режим	Электроразведка или оседания.	Электроразведка
Количество профилей	Сколько параллельных профилей.	4
Шаг пикетов, м	Расстояние между пикетами.	20
Фоновое ρк, Ом·м (Доп.)	Сопротивление вне аномалии.	60
Минимальное ρк, 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

Параметр	Что задаёт	По умолчанию
Шум ρк (Доп.)	Доля разброса в лог-масштабе.	0.06
Максимальное оседание, мм (Доп.)	Глубина мульды в последнем туре.	400
Количество 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** - ρк, Ом·м;
- **rho_true** - ρк 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).

1.12 Врезка подробной поверхности в региональную

Инструмент сшивает две поверхности одной величины в одну, подробную на участок и региональную на всю округу. Задача повторяется у топографов и гидрологов - детальная съёмка в открытую ЦМР, - но от рельефа не зависит. Куст разведочных скважин в региональную модель кровли пласта, детальный участок опробования в общую карту содержаний - устройство то же, величина любая.

На вход идут два растра и полигон зоны врезки. На выходе один растр в заданных охвате и разрешении.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Подробная поверхность	Растр участка. Его сетка становится рабочей.	-
Региональная поверхность	Растр округи. Приводится к сетке подробной.	-
Зона врезки (полигоны)	Где остаётся подробная поверхность. Должна быть уже её покрытия.	-
Ширина перехода, ячеек региональной поверхности	Кольцо, в котором одна поверхность переходит в другую.	4
Снятие систематического расхождения	Медиана по кольцу, наклонная плоскость или не снимать.	медиана
Охват результата	По региональной, по подробной или заданный вручную.	по региональной

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Ячейка результата	0 - как у подробной поверхности.	0
Предел размера результата, млн ячеек (доп.)	Выше него инструмент отказывается работать.	50
Минимум ячеек перекрытия (доп.)	Ниже этого числа поправка считается ненадёжной, и об этом пишется в журнал.	200

Две ступени, и они разной природы

Систематическое расхождение. У рельефа это разные вертикальные системы. Подробная съёмка идёт в местной, открытые наборы в геоидной - COP30 на EGM2008, SRTM на EGM96. Расхождение измеряется метрами и одинаково по всему участку. У геологии то же место занимают разные методики увязки, другая опора бурения, поправка на керн против каротажа.

Сгладить его нельзя. Сгладится край, а вся региональная часть останется поднятой или опущенной, и водосбор поедет. Поэтому расхождение снимается заранее, по кольцу перекрытия вокруг зоны врезки, где обе поверхности есть.

Берётся медиана, а не среднее. В кольцо попадают крыши, кроны, одиночные скважины, и у радарных наборов это выбросы в десятки метров. Среднее они сместят, медиана устоит. Наклонная плоскость нужна там, где участок вытянут на десятки километров и поправка успевает измениться по площади. Перед подгонкой выбросы кольца отсекаются по процентилям.

На постоянном расхождении медиана и плоскость дают **одинаковый** результат, и это не ошибка. Плоскость по кольцу с неизменной невязкой вырождается в константу. Разница между режимами появляется только там, где расхождение меняется по площади. Поправка пишется в журнал числом, по нему и видно, что происходит.

Третий режим, «не снимать», нужен тогда, когда обе поверхности заведомо в одной системе и правка только внесёт ошибку. Так бывает, когда подробная и региональная модели посчитаны из одних и тех же скважин. В журнал при этом всё равно выводится медиана по кольцу, и если она заметно отлична от нуля, выбор стоит пересмотреть.

Несовпадение форм на стыке. Здесь работает вес, а не вырезанное отверстие с последующей интерполяцией. Внутри зоны вес подробной единица, за буфером ноль, в кольце плавный переход по функции с нулевой производной на концах. Переход выходит гладким по построению, а не по факту сглаживания, и в шов не попадает форма, придуманная интерполяцией. Линейный переход дал бы перелом уклона ровно на границе кольца, там, где его и высматривают гидрологи.

Охват и разрешение результата

Охват по умолчанию берётся по региональной поверхности, потому что сшивку делают ради всей окружающей территории, а не ради фрагмента под участком. Можно взять охват подробной или задать рамку вручную.

Ячейка задаётся отдельно, и на большом охвате это обязательно. Подробная съёмка бывает сантиметровой, а региональная - тридцатиметровой на десятки километров. Сшивка в шаге подробной дала бы растр, которого не бывает. Пятьдесят километров при ячейке пять сантиметров это триллион ячеек. При ячейке в метр останется два с половиной миллиарда, при пяти метрах сто миллионов, при тридцати - меньше трёх миллионов.

Поэтому перед работой считается размер результата, и при превышении предела инструмент отказывается работать, называя подходящую ячейку. Предел задаётся в дополнительных параметрах, по умолчанию пятьдесят миллионов ячеек.

Подробность внутри зоны врезки ограничена ячейкой результата, а не съёмкой. Сантиметровая съёмка в пятиметровом гриде даст пятиметровую подробность. Если нужна вся детальность, сузьте охват до окрестностей участка.

При укрупнении подробная поверхность осредняется, а не выбирается по узлам. Выборка берёт значение в узле и теряет всё, что было между ними, а на подробной съёмке это и есть сама подробность.

Обе поверхности режутся по рамке результата и приводятся к его сетке вместе с пустотами. У ЦМР пустота помечена служебным значением, и его обязательно опознать, иначе оно идёт в расчёт как настоящая отметка. Кольцо перекрытия находит данные там, где их нет, поправка теряет смысл, а на вид растр при этом просто вставлен без перехода. В журнал пишется доля ячеек с данными у каждой поверхности. Подозрительно большая доля у подробной означает, что пустота в её файле не помечена, и это надо поправить до сшивки.

У наклонной плоскости в журнал идут её крайние значения по полю. Плоскость считается по кольцу вокруг участка, а применяется ко всему охвату. На большой рамке она может уйти далеко за пределы того, что видела, поэтому если разброс поправки заметно больше самого расхождения, берите медиану.

Зона врезки должна быть уже съёмки

Кольцо перекрытия берётся снаружи зоны. Если подробные данные обрываются ровно по ней, перекрытия нет и расхождение снять не по чему. Инструмент говорит об этом прямо и молча не сшивает. Молчаливая сшивка дала бы ступень во весь датум, а узнали бы о ней тогда, когда на шве встанет поток.

Отсюда правило. Рисуйте зону врезки внутри покрытия подробной съёмки, с отступом хотя бы в ширину перехода.

Что писать в журнал и на что смотреть

Инструмент сообщает четыре величины - количество ячеек перекрытия, расхождение до поправки с медианой и разбросом по процентилям, остаток после поправки и перепад между соседними ячейками, отдельно в шве и по остальному полю.

Последняя пара и есть мера приёмки. Если сшивка удалась, перепад в шве не выделяется на фоне обычного рельефа. На проверочной сцене со сдвигом 12.4 м ручная сшивка давала на шве уступ 14.5 м, инструмент даёт 2.6 м при фоне поля 2.55 м. Когда шов заметно больше фона, это пишется в журнал предупреждением, и обычно расхождение снято неверно или переход слишком узкий.

Прогалы внутри подробной поверхности закрываются региональной, отдельного заполнения не требуется.

Отсюда важное отличие от ручного способа, которым эту задачу решают в QGIS, - вырезать дыру в региональной по буферу вокруг маски, склеить и заполнить пустоту интерполяцией. Здесь дыра не вырезается вовсе, и пустых ячеек не возникает, в кольце обе поверхности берутся с весом. Интерполяция в дыре придумала бы форму, которой в данных нет, а вес берёт то, что уже есть с двух сторон, и меняет их долю.

И главное. Ступенька на шве возникает не от способа склейки, а от систематического расхождения между наборами. Если его не снять, шов останется во весь датум, чем дыру ни заполняй. На проверочной сцене закрыть дыру региональной без снятия расхождения даёт уступ 14.4 м, а сшивка с поправкой - 1.62 м при фоне рельефа 2.12 м.

Если в результате всё же оказались пустые ячейки, их количество пишется в журнал. Пусто может быть только там, где нет ни одной из двух поверхностей, обычно региональная не покрывает заданный охват.

Топография: рельеф из открытых данных

Группа **«2. Топография»** отвечает на частый запрос - максимально качественная модель рельефа из открытых данных из коробки. Парадный вход в группу это загрузчик ЦМР по рамке. Рядом с ним стоит векторная топооснова из OpenStreetMap и Topo2Raster, строящий рельеф из точек и изолиний.

Дальше идут подготовка рельефа с заполнением понижений, уклон с экспозицией и вершины. Сток и аккумуляция, речная сеть, бассейны и водосборы вынесены в группу **«6. Гидрология»**, она продолжает эту цепочку. Ничего доустанавливать для этого не нужно, ни GRASS, ни SAGA, ни других сторонних 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 6.02 подходят тальвегами в Topo2Raster (2.03) как есть, потому что их вершины идут вниз по течению.

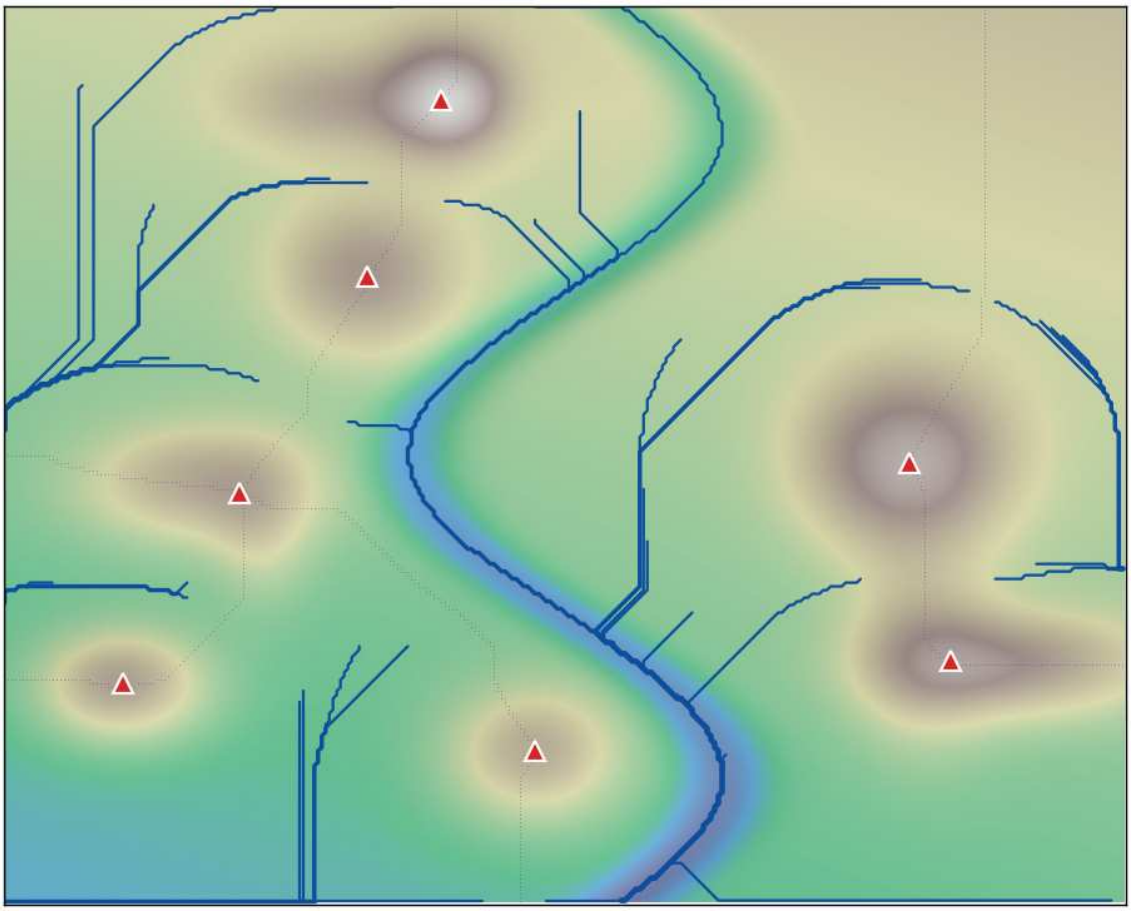


Рис. 17: Полная цепочка группы на демо-рельефе: отмывка, речная сеть толщиной по порядку Стралера (6.02), границы бассейнов (6.03) и вершины (2.06).

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 трёх источников. Плитки 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), GEDTM30 (DTM без леса и построек, машинное обучение по ICESat-2/GEDI) или Mapzen Terrain Tiles (сборка SRTM, ArcticDEM и национальных ЦМР).	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 мульд 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: количество 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 количества плиток 1x1 градус (доп.)	Страховка от слишком большой рамки для GLO-30 и Mapzen.	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, а раздаётся она 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. Под пологом леса GEDTM30 заметно точнее, и это подтверждено независимой проверкой. Раздаётся единым

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

Mapzen Terrain Tiles это сборка открытых ЦМР, которую Mapzen собрал и выложил в открытые данные AWS. По России в ней SRTM 30 м южнее 60-й широты и ArcticDEM севернее, то есть по Прикамью это тот же SRTM. За рубежом в сборку входят национальные модели: США от 1 до 10 м, Великобритания 2 м, Норвегия 10 м, Австралия 5 м, Новая Зеландия 8 м, по Европе EU-DEM. Плитки лежат пирамидой уровней, и уровень подбирается по размеру ячейки: пиксель плиток берётся не крупнее ячейки, на широте Перми при 30 м это около 20 м. Там, где есть подробные национальные данные, мелкая ячейка даёт настоящую подробность. Где их нет, мелкая ячейка только растит файл. Большинство источников сборки, как и GLO-30, модели поверхности. Если рамка велика для заданной ячейки, инструмент берёт уровень грубее и пишет об этом в журнал. Источник полезен как независимая проверка GLO-30 и там, где он даёт национальную модель.

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. Для Mapzen ячейка задаёт ещё и уровень плиток.
- **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, мульды оседаний), флажок снимите.
- В **Дополнительно** лежат **Epsilon уклона при заполнении** и **Предел количества 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. GEDTM30 © OpenGeoHub, CC BY 4.0. У Mapzen Terrain Tiles авторы свои для каждой составной части, журнал загрузки даёт ссылку на их перечень (github.com/tilezen/joerd, docs/attribution.md), и при публикации указывать надо их.

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 2.06.
- **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 Topo2Raster (рельеф из векторов)

Строит рельеф из векторных данных мультисеточной интерполяцией от грубой сетки к тонкой, по мотивам ANUDEM. Инструмент закрывает классическую задачу. Есть отцифрованные горизонтали топоплана, отметки высот, реки и озёра, а нужен корректный грид.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Точки высот	Слой отметок (например, вершины 2.06).	-
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 6.02 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

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
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 такой - 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 (6.02) 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.
- **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 на каждом уровне сетки работает двухтактный цикл. Сначала мембранное сглаживание ставит каркас и держит ограничения, затем полировка минимальной кривизной по стенсилу 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.

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, и отдельные вершины уходят вверх по течению.

Такой узел спорил бы с принуждением падения на каждой итерации. Релаксация пришпиливает ячейку к отметке, принуждение продавливает её ниже, и так по кругу. После приведения принуждение становится пустой операцией и спорить не с чем.

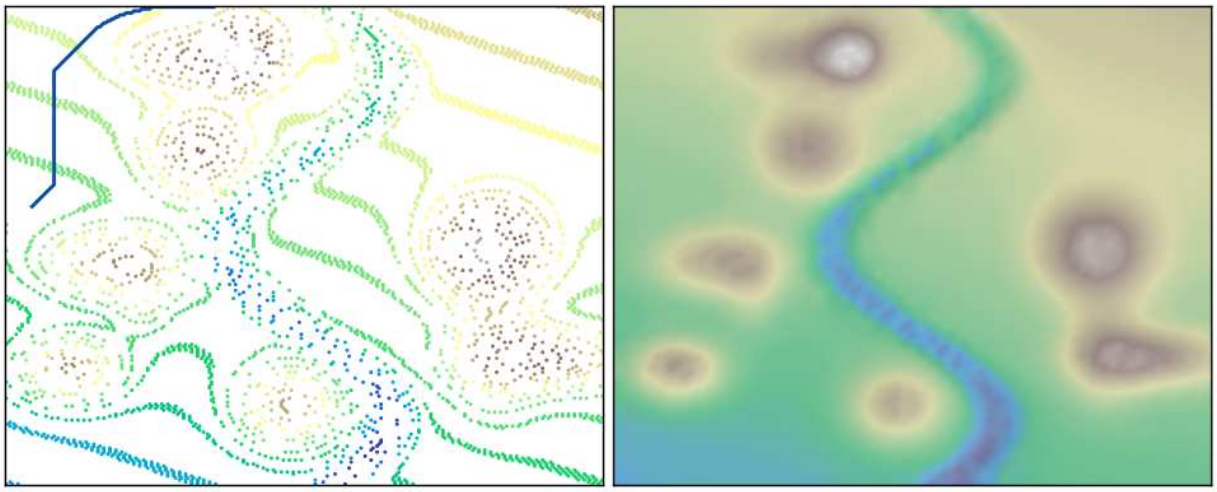


Рис. 18: Слева входные ограничения: уплотнённые изолинии (цвет по высоте) и главный тальвег. Справа восстановленный рельеф.

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 принимается отметка тальвега. Количество 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, сказано в отраслевых требованиях к цифровым планам. Рельеф, созданный автоматически, необходимо исправить вручную, согласовав с высотами подпорных стенок, откосов и насыпей. Инструмент заменяет эту предписанную ручную правку правилом. Второй адресат это площадные карьеры, выемки, насыпи и отвалы.

Горизонтали внутри них по нормативу не описываются вовсе. Строить там рельеф больше не из чего, кроме бровок и подошв.

Сторона - это множество. В верх или низ входит любое количество 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. Заданы две стороны - строится поверхность, задана одна - 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. Перехлёст 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 это не одно и то же. 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 на синтетике, на реальной съёмке их мерить не против чего, аналитического эталона там нет.

Что печатается в журнал. По каждой форме идут количество ячеек тела, медианная ширина в ячейках, расхождение отметок в местах схождения сторон и количество объектов, пропущенных из-за отсутствия отметок. Отдельно выводится 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, горизонтали 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, а 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: количество проходов (доп.)	Внешних шагов пересборки высот.	2
Подготовленная ЦМР	Выходной растр float32.	-

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 считается нормаль каждой ячейки. Затем поле нормалей сглаживается, и чем ближе нормаль соседа к центральной, тем больше его вес в среднем. 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 количество 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.

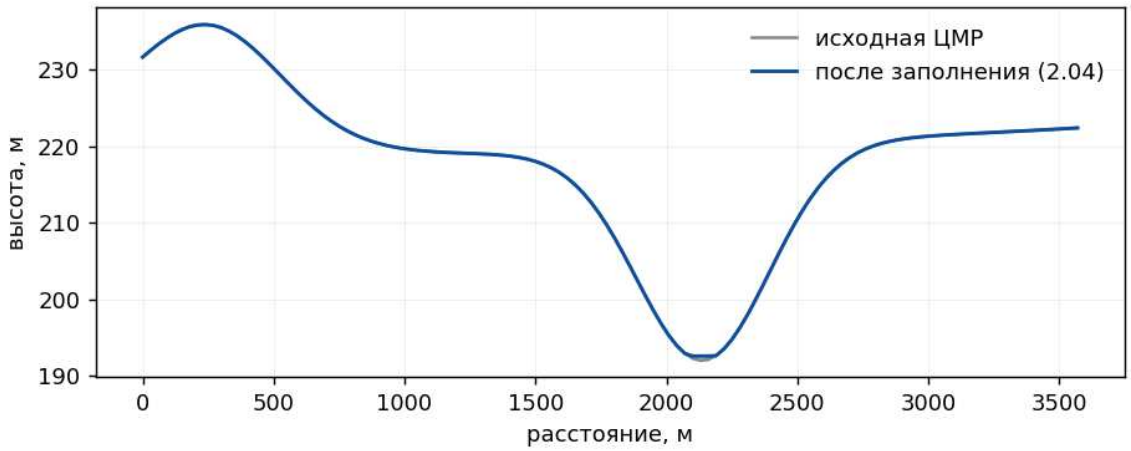


Рис. 19: Профиль через понижение: исходная поверхность и результат заполнения. Закрашена поднятая часть.

2.05 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 пропуски не считается.

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

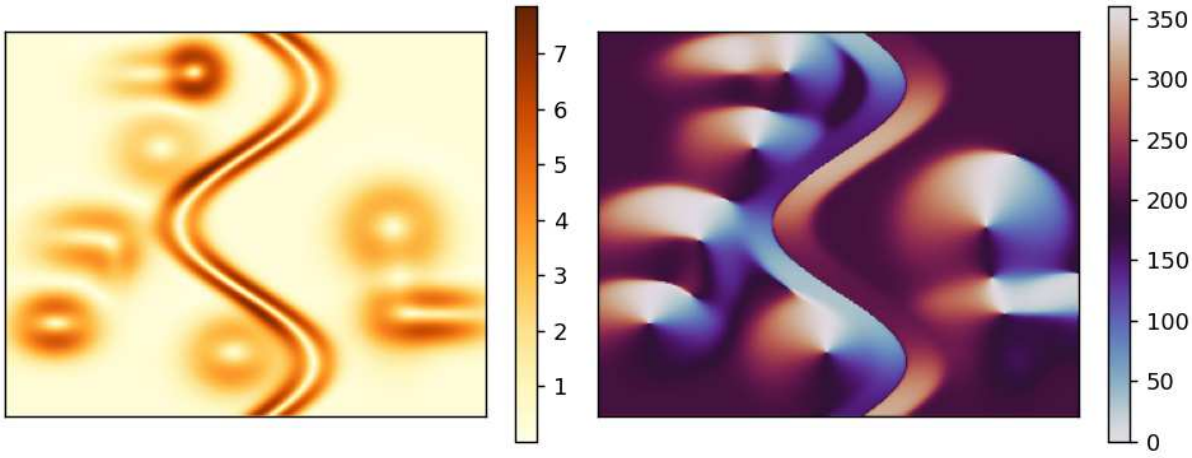


Рис. 20: Уклон (слева) и экспозиция (справа) демо-рельефа. Циклическая палитра экспозиции сшивает 0 и 360 градусов.

2.06 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 и ямы (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) и **drop** (превышение над минимумом окна). Слой сравнивается с вершинами OSM из 2.02, и совпадение отметок ele с высотами ЦМР - ещё одна быстрая проверка данных.

2.07 Демо-рельеф

Служебный генератор синтетического рельефа 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 ГСЧ (Доп.)	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 6.04.	создаётся
Трассы канав (демо)	Две ломаные поперёк тальвегов для инструмента 6.05.	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 для 2.12)	Пара к рельефу для инструмента 2.12.	выкл.
Участки работ (демо для 2.12)	Три полигона для разбивки ведомости 2.12.	выкл.

Инструмент нужен для учебных примеров и для 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 **2.12 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 точный ответ, а не произвольный выбор. 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, так что все три вердикта 2.12 проверяются в два прогона.

Вместе с рельефом выдаются три демо-точки створов и две демо-трассы канав. Нагорная канава проходит выше самого сильного тальвега, кювет ниже по склону. Обе трассы ломаные с изломом, чтобы проверялась растеризация трассы с поворотом. Точки ставятся у самых сильных тальвегов, разнесённых по гриду, и нарочно сдвигаются на несколько ячеек в сторону от водотока, чтобы было видно, как притяжка в инструменте 6.04 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 2.08 и 2.09 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 опереться не на что, 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

2.08 Разделить горизонтали для проверки

Инструмент делит набор горизонталей на два. По одному строят рельеф, по второму проверяют результат. Нужен он затем, чтобы получить численную оценку, пригодную для отчёта.

Зачем разделять

Самый простой способ проверки выглядит так - взять исходные горизонтали, снять с построенной ЦМР значения в их точках и посчитать невязку. Результат выйдет хороший, но он 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 и делается.

Что на выходе

Два слоя, **Горизонтали для построения** и **Горизонтали для проверки**. Оба получают поле **hold**, ноль для построения и единица 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 **Topo2Raster**, измерить невязку сразу по обоим наборам и сравнить две цифры.

Параметры

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Горизонтали (линии)	Исходный набор.	-
Поле отметки	Числовое поле высоты горизонтали.	-
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

2.09 Невязка горизонталей против ЦМР

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

Какие числа выдаются

Среднее это смещение, и 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 2.08, 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 четыре части - таблицу чисел по наборам, гистограмму невязок с отмеченными границами в половину сечения, разброс средней невязки по отметкам и короткий разбор результата.

Разбор отвечает на четыре вопроса. Есть ли систематическое смещение, велик ли разброс относительно сечения, заметна ли доля промахов и есть ли разрыв между воспроизведением и предсказанием.

Разброс по отметкам смотрите 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
Горизонтали (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 растра.	1
Шаг опробования вдоль горизонтали	0 - только вершины. Больше нуля добавляет точки на длинных прямых участках.	0
Выборка растра (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

2.10 Диагностика террасинга ЦМР

Инструмент ищет террасинг, характерный дефект рельефа, построенного по горизонталям. Склон идёт ступенями, возле уровня горизонтали полка, между уровнями резкий сброс. На отмывке это видно как систему концентрических полок, на профиле как ступени. 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 неискажённой 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 скапливаются у уровней, и отношение растёт.

Читается отношение так. Около единицы признаков нет, полтора это повод посмотреть растр кривизны глазами, два и выше это 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, и 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 поверхности стоят на одном месте и все попадают в одну фазу внутри сечения, распределение перекашивается, и индекс занижается, показывая 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.

Как устранять

Террасинг устраняется 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 растра.	1
Сечение рельефа	0 - взять из слоя горизонталей.	0
Горизонтали 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

2.11 Снятие ступеней (сглаживание с ограничением)

Инструмент устраняет террасинг, то есть убирает ступени со склонов, не сдвигая сами горизонтали.

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.

Правка самопроверяемая

Индекс притяжения к уровням считается до и после правки, обе цифры уходят в журнал вместе с наибольшим фактическим сдвигом поверхности. Если после правки 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, по нему 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
Горизонтали 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)

2.12 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, будь то площадка под планировку, отвал, карьер, заиление пруда или оседания земной поверхности.

Формула предельно проста - 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, и при сверке цифр это надо учитывать.

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 количество ячеек обеих матриц, а также было ли приведение. С этих строк и начинают сверку объёмов с другой программой, как описано в следующем разделе.

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.

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 количество учтённых ячеек, и только потом объёмы. В девяти случаях из десяти на этом расхождение и объясняется.

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 идёт с итогом, разбивкой по участкам и описанием сетки. Слой **Участки с объёмами** это те же полигоны, что подали на вход, плюс объёмы в атрибутах (`fill_vol`, `cut_vol`, `net_vol`, площади, наибольшие отметки, количество 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

2.07 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 2.07 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 проявилась.

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.

2.13 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 первая из распространённых ошибок. 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** и **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 составляет единицы процентов, деление на классы резало бы шум, и 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 процентили перепада - готовую подсказку, где резать. Отбирайте фильтром слоя по полю drop, глядя на карту, пересчитывать при этом ничего не надо.

2.14 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. Первый - линии пришли из 2.13 по плотной съёмке. Второй - линии уже есть в топографическом комплекте, где бровки описываются обязательно и своими кодами классификатора. Детектор там не нужен вовсе, 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 2.13)	Линейный слой с полем вида. Годится и слой бровок с подошвами из топографического комплекта.	-
ЦМР	Та же, что подавалась в 2.13.	необязательно
Поле вида	Поле со значениями brow и toe.	kind
Отсечка по перепаду, м	Повторяет фильтр 2.13, 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. Спуск по склону отвечает на один вопрос - где низ. Когда у линий есть собственные отметки (выход 2.16), 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. 2.16 даёт отметки, 2.14 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. Либо спуск не дошёл до подошвы, когда мал предел пути или бровка ложная, либо спуск разошёлся по разным подошвам, когда 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.

2.15 Пример карьера (демо)

Строит демо-карьер и истинные структурные линии к нему. Пара растр-линии служит эталоном для 2.13, 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 ГСЧ (Доп.)	Повторяемость. Одно зерно даёт один и тот же карьер.	7
СК выхода	Метрическая. При местной СК проекта выбирайте её же.	EPSG:32640
Количество 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 плоскость, на которой детектору нечего искать, поэтому размер задают только «Ширина» и «Высота». 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 неверный результат, и демо окажется далеко от нужного места.

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 2.13 поверх истинных линий и посмотрите, где они разошлись.

2.16 Профилирование откосов

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

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Линии без отметок	Бровки и подошвы из комплекта или из 2.14.	-
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 и профиль всей линии - переменная отметка из самих данных, а не одно число на весь объект.

Важная поправка. 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 меняется на поворотах.

Пределы метода. Метод работает ровно настолько, насколько комплект топологически согласован. Если горизонтали до линии не доведены, линия остаётся немой и уходит в отдельный слой с причиной. Количество 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 2.14, который собирает пары и заполняет поле связи, это замыкает топографический сценарий. Площадные карьеры, выемки, насыпи и отвалы, внутри которых горизонтали по нормативу не описываются, получают поверхность из одних бровок и подошв.

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, а встреча относится к существующей вершине - отметка задаётся в ней точно, и количество 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, ко-

торой не досталось вершины, при этом не пропадает - профиль считается по всему ряду проб, и соседние вершины к ней тянутся.

2.17 Снятие мостов с ЦМР

Убирает мосты с ЦМР и ставит на их место поверхность реки. Спутниковая модель поверхности снимает высоту по верху настила, поэтому мост ложится поперёк реки плотиной. Сток по такой модели упирается в насыпь, выше моста разливается ложное озеро, а речная сеть из 6.02 рвётся на переходе.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Входная ЦМР	Рельеф в метрах в метровой системе координат.	-
Мосты: контуры настила или оси	Полигоны по настилу или линии по оси моста. Можно вперемешку в одном слое.	-
Ширина моста для осей, м	До какой ширины расширяется ось. На контуры не влияет.	20
Запас вокруг моста, ячеек	На сколько ячеек расширить мост перед пересчётом.	1
ЦМР без мостов	Выходной растр float32, слой в группе Топография.	-

Как пересчитывается поверхность. Ячейки под мостом пересчитываются по ячейкам вокруг него, по пролётам. Из каждой ячейки берётся линейная интерполяция между ближайшими ячейками окружения по строке, столбцу и двум диагоналям. Из направлений с самыми короткими пролётами выбирается самое низкое значение. Мост узок вдоль реки и вытянут вдоль дороги, поэтому короткие пролёты у ячейки под настилом идут поперёк дороги. Пролёт с воды выше по течению на воду ниже даёт уровень воды с тем же падением, что у реки, а пролёт, задевший берег, даёт выше. Берётся низкий, и поверхность встаёт на уровень воды. Если река идёт наискось к сетке, кратчайший пролёт может упереться в борт долины. Тогда в расчёт идёт и пролёт до вдвое длиннее, но только если оба его конца стоят на низу окружения, то есть на воде. Так находится русло, а борт долины не срезается. У опор все короткие пролёты идут по берегу, и там поверхность выходит на берег.

Поверхность только опускается. Ячейка, которая и так ниже интерполяции, например вода, видная между пролётами, остаётся как была. Ячейки за контуром моста не меняются.

Запас. Край настила в модели поверхности размыт на ячейку. Без запаса окружением станет ячейка на склоне настила, и вода под мостом встанет выше настоящей. На ЦМР с ячейкой 30 м мост занимает одну-две ячейки, и запас в одну ячейку обычно нужен. Насыпи подходов искажают рельеф не меньше пролёта, их обводят вместе с мостом.

Как обводить. Контур проводится по настилу от берега до берега, узкой полосой поперёк реки. Обводить мост широким квадратом не нужно: чем шире пятно вдоль реки, тем длиннее пролёт с воды на воду и тем больше в поверхности под мостом окрестных берегов. Если мосты уже есть линиями, например из OpenStreetMap, их подают как оси и задают ширину.

Журнал. По каждому мосту пишется, сколько ячеек пересчитано, насколько опущена поверхность и какие отметки у окружения. Мост, под которым ничего не опустилось, отмечается предупреждением, обычно это контур не на своём месте.

Заполнение понижений инструмент не делает. Для расчёта стока исправленную ЦМР подают в **2.04 Подготовка рельефа**, а затем в 6.01 и 6.02. Проверить результат проще всего речной сетью: на переходе она больше не рвётся.

3. Дополнительные инструменты анализа

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.	-
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 1.01, - 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.

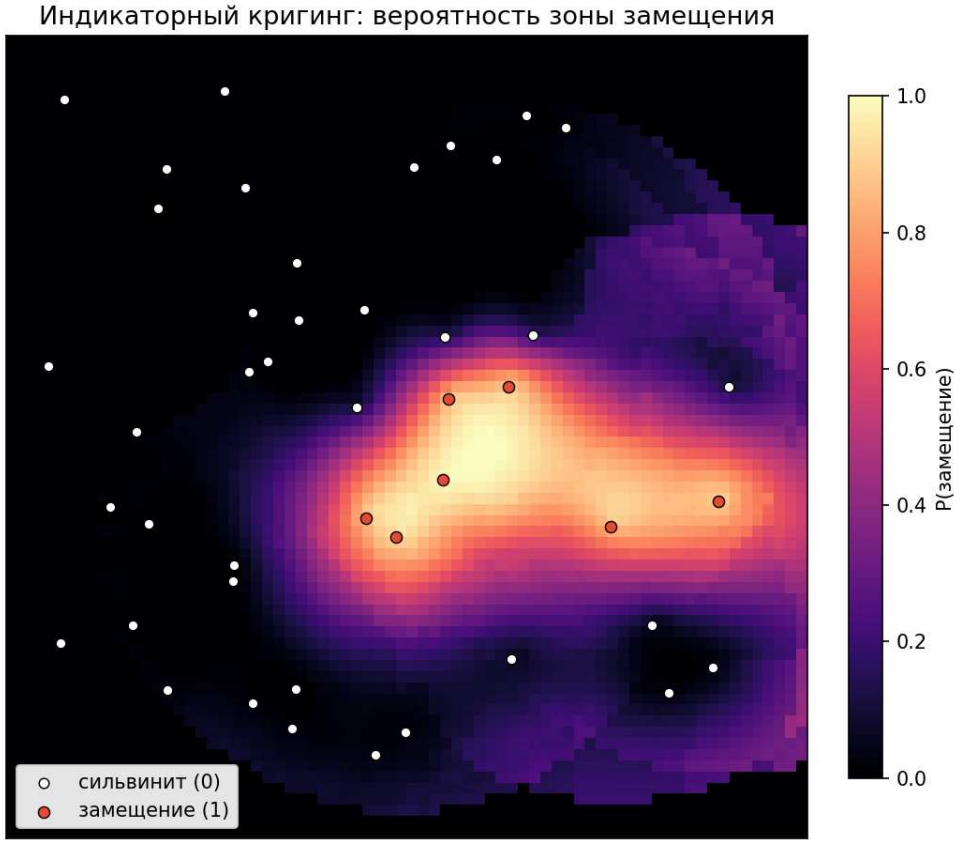


Рис. 21: Индикаторный кригинг на синтетике: скважины с категорией (красные - замещение, белые - сильвинит) превращаются в карту вероятности класса. Порогом 0.5 из неё режется контур домена.

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

Обычное замечание такое. Скважина опасного класса оказалась вне опасной зоны. Это не сбой подбора, а свойство самородка, и разобраться в нём надо до правки остальных параметров.

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. Вот числовой пример. При наггете 0.5 в пяти метрах от одиночной скважины класса «B» вероятность падает до 0.47, то есть уходит под порог 0.5, а при обнулённом наггете 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 ве-

роятностей не плывёт. Подобранные доли по классам печатаются в журнал, и сначала стоит просто посмотреть на них. Большой наггет 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, а мера того, насколько соседние скважины расходятся в классе. Ноль означает решение считать каждый 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.

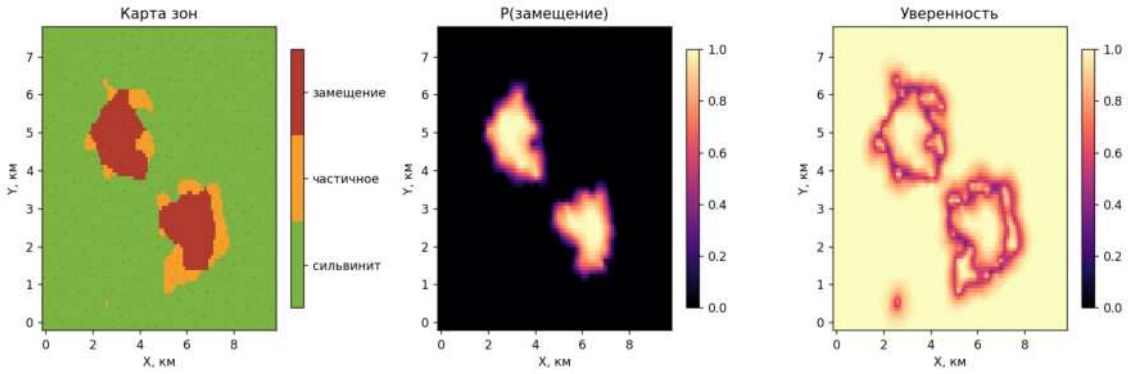


Рис. 22: Результат категориального индикаторного кригинга: карта самого вероятного класса по минеральному типу, фон сильвинита с очагами замещения, сверху нанесены точки скважин.

На данных с выбросами видна ещё одна особенность. 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 неотличимо от любого другого по ту же сторону порога. Там, где показатель меняется резко и нерегулярно, 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 количеством 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.

Индикатор каждого класса кригуется к доле этого класса в скважинах, поэтому вдали от данных вероятность стремится к доле, а не к нулю. Это важно для узких вытянутых зон замещения: радиус их вариограммы часто меньше шага сети. До версии 5.13.40 без весов индикатор кригировался к нулю, между скважинами такой класс пропадал, и зоны замещения выходили на карте в два-три раза меньше настоящих.

При неравномерной сети задайте необязательное поле весов **wt** из инструмента **1.05 Декластеризация**. Тогда доля класса считается с весами, и вероятность вдали от данных стремится к представительной доле, а не к доле в сгущении.

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 вручную 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 существенно. Карта зон хранит только победителя в ячейке. Где именно внутри ячейки прошла граница, в ней уже потеряно.

Поэтому контур такой карты идёт ступенями по краям ячеек. Сглаживать такую ступенчатость 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 не одно и то же. Победить можно и с вероятностью 0.4, а 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 растра. 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, здесь же к ним добавляется знание о форме поля между ними, и там, где скважин нет, оценка опирается на эту форму.

Инструмент стоит в группе **Дополнительные инструменты анализа** и считает тем же кригингом, 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 растра дрейфа (Доп.)	Полоса многополосного растра дрейфа.	1
Степень дрейфа	Линейная (a0+a1·s) или квадратичная связь.	1 (линейный)
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. Бывает, что кровля интересующего пласта повторяет рельеф подстилающего, для которого поверхность уже построена. Такую связь снимают регрессией на подстилающую поверхность и 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 a0 плюс a1 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.

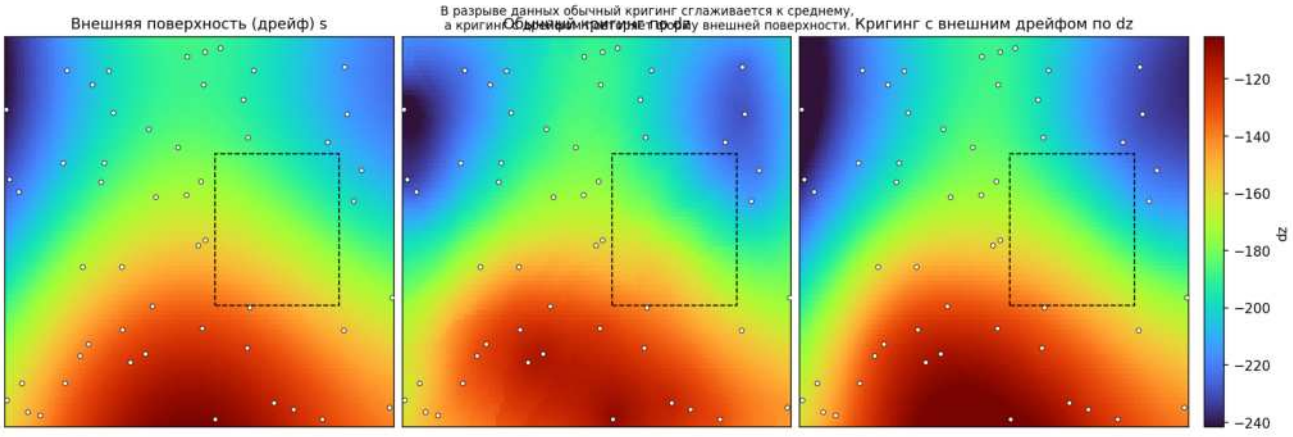


Рис. 23: Кригинг с внешним дрейфом на разреженных скважинах (расчёт в Isoliner). Слева - внешняя поверхность s (дрейф). В центре обычный кригинг по dz: в разрыве данных оценка сглаживается к среднему. Справа кригинг с внешним дрейфом по dz повторяет форму внешней поверхности там, где скважин нет. Пунктиром обведён разрыв данных.

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 так же, как у **2D Kriging**. Описание и умолчания те же.

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.

Подобрать вариограмму остатков, не выходя из инструмента вариограммы, пока нельзя, 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 инструмент строит растр вероятности от 0 до 1, и в каждой ячейке стоит 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 считается

Кригинг даёт в каждой ячейке оценку и её стандартную ошибку, а локальное распределение значения принимается нормальным. Величина в ячейке считается нормальной со средним, равным оценке, и стандартным отклонением, равным ошибке кригинга.

При таком допущении вероятность превышения порога считается одной формулой через функцию нормального распределения. Где оценка заметно выше порога, вероятность близка к единице, где ниже, близка к нулю, а на самом пороге равна половине. Чем больше стандартная ошибка, тем более плавным становится переход. Вдали от скважин уверенности меньше, и вероятность тянется к 0.5.

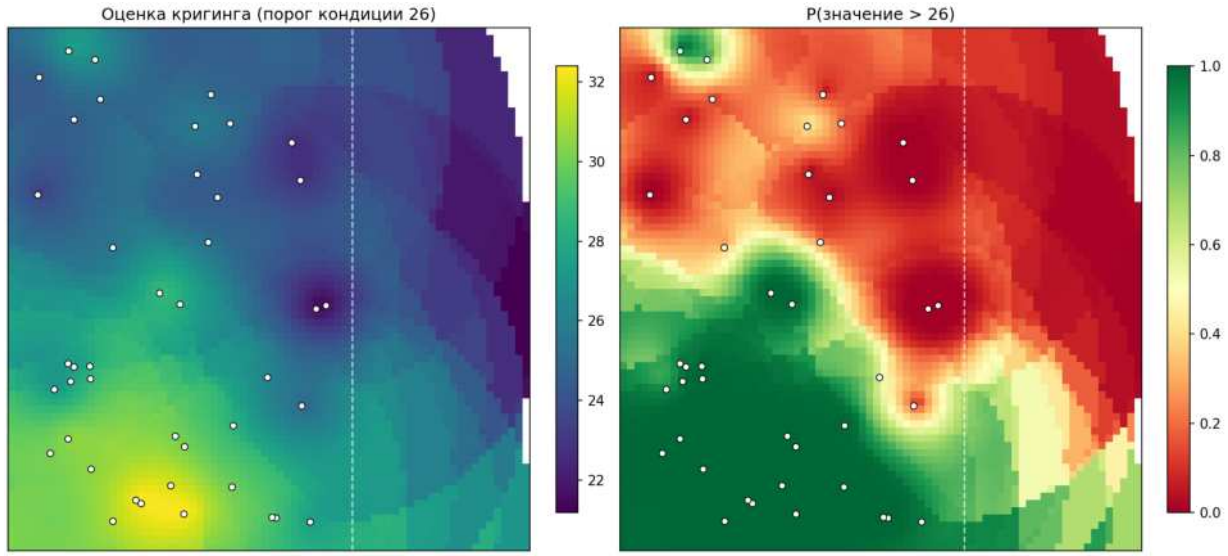


Рис. 24: Слева оценка кригинга с порогом кондиции, справа карта вероятности его превышения. Зелёное - берём уверенно, красное - уверенно не берём, за границей разбуренности карта сходится к 0.5.

Отдельного кригинга для этого не нужно, поэтому карта строится мгновенно. Допущение о нормальности местами грубовато, особенно для сильно скошенных полей вроде содержаний с длинным правым хвостом. Там, где это важно, точнее работает индикаторный кригинг по порогам, который не опирается на форму распределения.

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>порог) или ниже P(Z<порог).	выше

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
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

Первое 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. Второе - зоны риска по любому порогу, будь то мощность ниже критической или 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, умноженный на градиент, и для неё нужен сам коэффициент K, которого инструмент не запрашивает и не считает. Иначе говоря, карта отвечает на вопрос куда и насколько круто, но не как быстро. Когда K или водопроводимость T известны по площади, скорость фильтрации и расход считает соседний инструмент «Удельный расход (закон Дарси)», домножая 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»).	-

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
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 |∇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 дёрганы-ми 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 раз-мер 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, заготовка 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 гидрогео-логию.

3.05 Удельный расход (закон Дарси)

Инструмент **Удельный расход** добавляет к геометрии потока проницаемость. Гидравличе-ский 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 кру-че градиент, тем больше расход. Из растра напора и растров свойств пласта инструмент строит физический поток, а не безразмерный градиент.

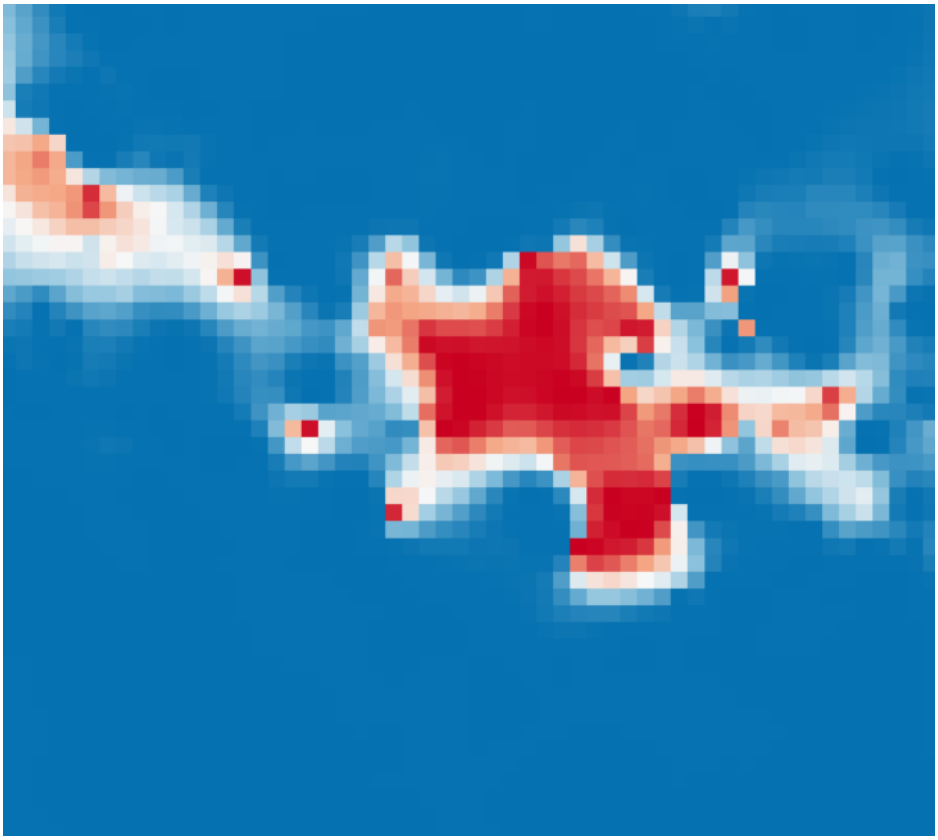


Рис. 25: Карта вероятности превышения с расходящейся шкалой и переломом на 0.5. Красное - значение уверенно выше порога, синее - уверенно ниже, белый поясок по линии P=0.5 - зона неопределённости (спорные значения). Чем дальше от скважин, тем шире поясок.

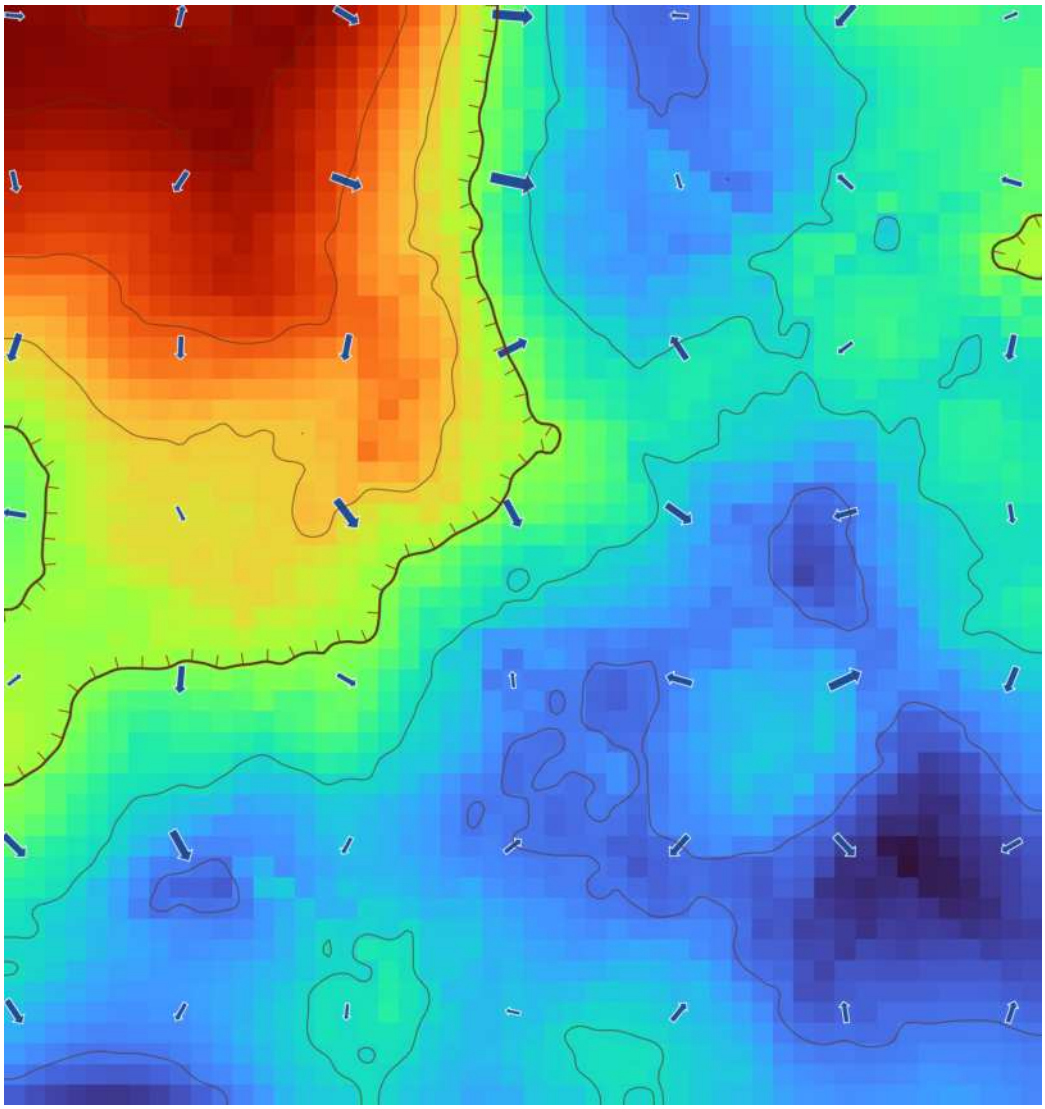


Рис. 26: Векторы потока на поверхности напора: стрелки идут вниз по градиенту, от высокого напора (тёплые тона) к низкому (холодные), поверх изолиний напора. Длина стрелки растёт с крутизной градиента.

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 водопроводимости, инструмент считает расход через единицу ширины потока $Q = T \cdot |\nabla h|$, размерность квадратный метр в сутки. Водопроводимость 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, наливы), а нужны всюду. Их интерполируют кригингом, как любое поле. Есть важная тонкость. Коэффициент фильтрации и водопроводимость 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 вернутся экспонированием. Напорные и безнапорные пласты разумнее криговать раздельно, у них разная физика мощности.

Параметры

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Растр напора	Пьезометрическая поверхность (результат кригинга по уровням).	-
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 exp 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 $q = K \cdot \|\nabla h\|$ (м/сут)	Выходной растр $q = K \cdot \|\nabla h\|$.	создаётся, если задан K

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Расход через ширину Q = T·|∇h| (м²/сут)	Выходной растр Q = T·|∇h|.	создаётся, если задан T
Направление потока (азимут)	Выходной растр азимута.	необязательный
Векторы потока (точки)	Слой стрелок: поворот по полю `az`, размер по полю `q`.	создаётся по умолчанию

Что лежит в слое стрелок

У каждой стрелки четыре поля. `az` это азимут потока в градусах, по нему стрелка поворачивается. `q` это само значение расхода, по нему стрелка масштабируется. `kind` говорит, какая именно величина посчитана, `flux` это скорость фильтрации, `flux_width` это расход через ширину. `units` повторяет единицу измерения, `m/day` или `m2/day`.

Вид величины и единица лежат в слое не для красоты. При заданном K в поле `q` попадает скорость фильтрации в метрах в сутки, при заданном T - расход через ширину в квадратных метрах в сутки. Числа несопоставимы, а слои внешне одинаковы, и без этих двух полей отличить один запуск от другого нельзя. Значения полей не переводятся, это данные, и проект, открытый с английским интерфейсом, читается так же.

Если не задан ни K, ни T, инструмент отказывается считать и говорит об этом. Расход по Дарси это произведение градиента на одно из них. Для одного лишь градиента напора с направлением потока есть отдельный инструмент, **Гидравлический градиент**.

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, и 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.

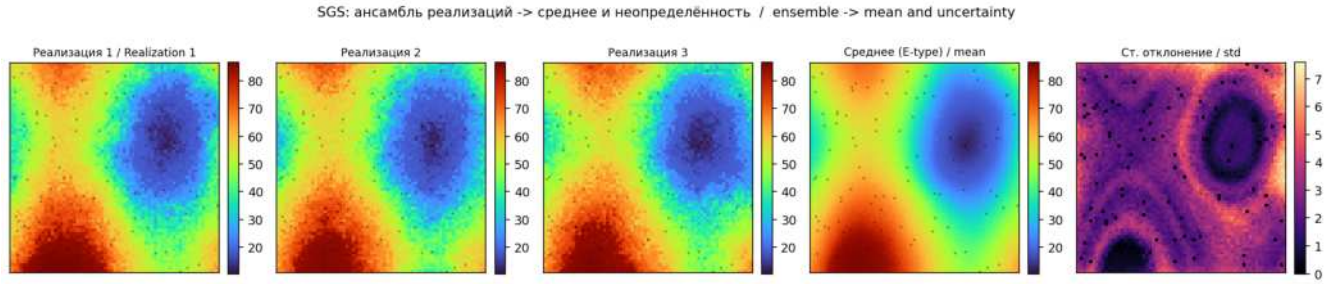


Рис. 27: Ансамбль реализаций SGS и производные от него среднее и неопределённость.

Как это работает. Значения переводятся в нормальные баллы (normal score), и симуляция идёт в гауссовом пространстве. Узлы грида обходятся в случайном порядке. В каждом простой кригинг по соседям и уже симулированным точкам даёт локальное среднее и дисперсию, из этого нормального распределения разыгрывается значение, и оно 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 1.01, и применяется к каждой реализации. На большом ансамбле это заметное время, и если оно мешает, обрезайте 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 растра	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 **1.05**, необязательно.	нет

Выходы это растры 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 количеством реализаций, поэтому начинайте с грубой ячейки.

Если данные сгущены неравномерно, подайте поле весов **wt** из инструмента **1.05 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 скрыто 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 обзорная. 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 (OK) 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, и если не знаете, с чего начать, начните с OK.

Кригинг с трендом (галка снятия тренда в **2D Kriging**) - для полей с закономерным региональным уклоном, вроде кровли на моноклинали или крыла складки. Полином 1-й или 2-й степени снимается МНК, кригуются остатки, тренд возвращается к оценке. Правил тут два. Вариограмму задавайте по остаткам, и если доля снятой дисперсии, которую печатает плагин, 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, будь то структурная поверхность соседнего пласта, региональная модель или 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, то есть для минтипа, фации, зоны замещения. Категория превращается в индикатор 0/1, кригуется обычным OK, 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 она даёт ансамбль равновероятных шершавых реализаций, из которого неопределённость видна напрямую.

Шпаргалка

Задача	Вид	Где включается
Универсальный случай, старт любой задачи	Ординарный (OK)	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 кригинга. Большинство проблем снимают три правила.

Радиус берут порядка радиуса вариограммы, максимум соседей держат в пределах 12-16, а анизотропию окрестности согласуют с анизотропией вариограммы из вариограммной карты.

Равные расстояния на границе отбора

На правильной сети замеров узел оценки часто оказывается равноудалён сразу от нескольких проб. Соседей берётся столько, сколько задано максимумом, и граница отбора рассекает группу равных расстояний - место одно, претендентов несколько.

Выбор идёт по самим данным - меньшая координата X, при равных X меньшая Y, при совпадении и по ней меньшее значение. Ключ выбран так намеренно, потому что он не зависит от того, в каком порядке пробы записаны во входном слое. Тот же слой, сохранённый в другом

порядке, даёт ту же карту. Порядок уравнений в системе приводится к одному виду по тому же ключу и по той же причине.

Перестановка уравнений математически ничего не меняет, но арифметика с плавающей точкой не ассоциативна, и последние разряды расходились бы. Практический смысл простой. Отметки на карте больше не зависят от порядка строк. Экспорт того же набора из базы с другой сортировкой, объединение слоёв в другом порядке, повторная выгрузка - ничто из этого карту не меняет.

Когда система не решается

Система кригинга бывает вырожденной. Обычные причины - совпадающие пробы с разными значениями, нулевой наггет и вариограмма, при которой матрица теряет обусловленность. В таком узле оценка берётся запасным способом, по обратным расстояниям до тех же соседей, а дисперсия принимается наибольшей возможной.

Это именно запас, а не кригинг, и карта стандартной ошибки в таких ячейках завышена. Поэтому инструмент перечисляет их в журнале, количество ячеек и долю оценённой площади. Единичные ячейки идут сообщением, доля от процента и выше - предупреждением. Появилось предупреждение - смотреть надо не на карту, а на вариограмму и на совпадающие пробы.

3.07 Плотность по замерам (переменная опора)

Инструмент строит карту плотности, где замер задан не точкой, а носителем конечного размера - точкой с сигмой неопределённости, отрезком линии (коридором полуширины) или полигоном. 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 это 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 (Σm·σ 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, и это аналог кригинговой дисперсии для этажа плотности.

Инвариант тут один - интеграл плотности по растру равен сумме масс входа. Считается всегда и пишется в журнал. Расхождение - признак того, что носители вышли за область, а 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, Σm·σ, 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.

Предпросмотр считается за миллисекунды, поэтому сигма и размер ячейки меняют изображение сразу, а не после запуска. Внизу постоянно показан 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.

На карту ложатся псевдоцвет с прозрачными нулями, изолинии плотности и слой эффективной сигмы как карта доверия. Форма Processing остаётся для моделей и пакетных прогонов, результат у них тот же.

3.08 Пример для плотности (демо)

Инструмент создаёт синтетический набор для 3.07 с известной суммарной массой, чтобы инвариант можно было проверить счётом. Демо выдаёт четыре набора.

Десять точек с разными сигмами, от долей ячейки до крупных, масса 500. Две линии массой 200, у одной вырезан интервал полями from_m и to_m. Два полигона массой 300, один из них под дазиметрию. Вспомогательный растр. Итого масса 1000.

Прогоните 3.07 на слое точек, и интеграл плотности в журнале 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).

3.09 Пример для 3.01 и 3.02 (демо)

Инструмент создаёт синтетический участок калийного пласта, на котором истинные поля известны заранее. Ошибку **3.01** и **3.02** здесь можно не оценивать на глаз, а посчитать, вычтя истинное поле из результата.

Демо выдаёт пять слоёв. Скважины несут поля **well**, **roof** (отметка кровли, м) и **mintype** (сильвинит, частичное замещение, полное замещение). Сеть неравномерная, с участком сгущения, как на поле отработки. Растр маркирующего горизонта известен всюду и служит дрейфом для **3.02**. Истинная кровля лежит на 25 м ниже горизонта и отличается от него местными отклонениями около метра. Истинные зоны замещения выдаются полигонами, зоны вытянуты, и полное замещение лежит внутри частичного. Последний слой - контур разрыва сети. В разрыве скважин нет, а под ним лежит складка горизонта высотой около 9 м.

Порядок показа такой. Постройте **1.01** по полю **roof** и **3.02** с маркирующим горизонтом в качестве дрейфа, с одинаковыми ячейкой и охватом. Обычный кригинг в разрыве сглаживает складку, кригинг с дрейфом её воспроизводит. На охвате 6 × 4 км с зерном 1 и ячейкой 30 м среднеквадратичная ошибка кровли в разрыве у **1.01** около 2.3 м, у **3.02** около 0.6 м. Затем постройте **3.01** по полю **mintype** и сравните карту зон с истинными зонами, а растр уверенности с местами ошибок. Ошибки собираются на границах зон и там, где уверенность низкая.

Грид истинных полей строится так же, как гриды группы 1 и 3, от левого нижнего угла охвата. Если задать в **1.01**, **3.01** и **3.02** ту же ячейку и тот же охват, результаты лягут на истинные поля ячейка в ячейку, и разность считается калькулятором растров.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию
Область (экстент)	Границы участка. В градусах участок строится в UTM.	-
Количество скважин	Сколько скважин заложить до вырезки разрыва.	80
Оставить разрыв в сети скважин	Убрать скважины над складкой горизонта.	да
Зерно ГСЧ (Доп.)	Повторяемость примера, 0 даёт случайный набор.	1

Если охват задан в градусах, например проект в WGS 84, демо строится в системе UTM по центру охвата, и все слои выходят в ней. Номер зоны и размер участка в километрах пишутся в журнал. На этих слоях **3.01** и **3.02** запускаются как есть.

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 поломкой, хотя всё построено верно, поэтому его лучше не создавать, чем создавать и прятать.

Рельеф выходит слоем Л**инии 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 охватывает данные вплотную, 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 среди самих поверхностей нет. Верх ниже низа отвергается - рамка вывернулась бы наизнанку.

Вместе с рамкой задайте 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 в два метра 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 вверху, подошва нижней внизу. Перетащите слои мышью, если они расположены в произвольном порядке. Это займёт полминуты и избавит от разбора результата.

Если порядок нарушен, инструмент не выдаст ошибку. Он построит полосы между теми парами, которые вы ему дали. Часть пар окажется перевёрнутой, 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 с ним линию кровли можно подписать и оформить 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 Г:В = 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. Удобен, 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, а количество 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 по общему размаху высот в наборе. Заданную пропорцию точно получает самый широкий чертёж, а остальные выходят выше него 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 меняется 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 КрII и КрIIIа, то между ними по порядку лежит междупластье КрII-КрIII, и полоса получает его имя и цвет. Пласты, которых на разрезе не оказалось, помечаются серым, а их перечень печатается в журнал, и по нему сразу видно, чего не хватает в наборе поверхностей.

Имена слоёв редко совпадают с кодами дословно, поэтому поиск идёт лестницей от строгого к терпимому. Сначала пробуется точный код, затем тот же код без учёта регистра и крайних пробелов, затем приведённый вид, где снят хвост роли `_top`, `_bottom`, `_кровля`, `_подошва`, а латинские двойники букв сложены в кириллицу. Последней пробуется та же запись без апострофов. Так `КрII_top` находит код `КрII`, а `А'Б_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. Это 36 строк от покровных отложений до нижней каменной соли, с цветами и телами. Файл есть в двух видах, `plast_reference_vkmks.xlsx` и `plast_reference_vkmks.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
sec, sec_id	Имя разреза и номер исходной линии.
vex	Вертикальное преувеличение чертежа.
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 стенки MultiPolygonZ вдоль створа, по одной 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.
color	Цвет пласта строкой `#RRGGBB`, тот же, что на чертеже.

Стенка режется по звеньям трассы, своё полотнище на звено, и все они собраны в один многочастный объект. Одним кольцом стенку отдавать нельзя. Кольцо «верх туда, низ обратно» выходит длинным и сильно невыпуклым, трёхмерные сцены триангулируют такое веером от первой вершины, и разрез получается дырявым. Четырёхугольник звена плоский по построению, потому что два соседних узла задают вертикальную плоскость, и обе отметки лежат в ней.

Цвет пласта идёт двумя путями сразу, категориями на слое, как на чертеже, и полем `color` в атрибутах. Символику читают не все потребители - трёхмерная сцена красит по своему правилу, а подрядчику символика QGIS недоступна вовсе, - поэтому цвет продублирован в данных.

Угловые точки разреза несут sec и sec_id, num (номер угла), name (имя УГ-1, УГ-2, …) и pos (верх или низ). Дальше идут d (пикет, м), x и y (координаты на карте), az (азимут следующего колена) и label (готовая подпись). **Горизонтальные оси** несут sec, sec_id, elev (отметка оси, м) и label. **Таблица углов** несёт 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.	-

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
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
Столбцов в сетке (Доп.)	Количество столбцов для раскладки сеткой.	2
Зазор между разрезами (Доп.)	Доля от габарита чертежа.	0.15
Выборка растра (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 × 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)**, он же 4.10. В наборе 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.

Три линии разной длины и с разным количеством изломов удобны, чтобы посмотреть раскладку и общий вертикальный масштаб. Запустите его, затем подайте поверхности и линию сюда. Пару collar и interval вместе с определением подайте в **Скважины на разрезе**, а грид пласта с каналами 1, 2 и 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, для этого в 3D Map View грид задают 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 устий 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**, по которому и красят, будь то индекс пласта, литотип или 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 замерами - 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, иначе скважина с далёким устьем, но забоем у самой линии, не попала бы на чертёж.

Наклон на чертеже с преувеличением отметок выглядит слабее, чем он есть. Отметки растянуты в vex раз, а расстояние вдоль линии нет, поэтому видимый угол сжимается во столько же. При vex около шестидесяти ствол с наклоном в сорок пять градусов выглядит вертикалью. Инструмент выводит в журнал количество 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, ведь 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 количество таких выводится в журнал, потому что выдумывать глубину неправильно.

Когда устья и интервалы не сходятся

Самая частая ошибка комплекта - несовпадение hole_id между таблицами. Читатель сообщает не только количество осиротевших интервалов, но и сами ключи с обеих сторон.

Распознанную причину он называет прямо - различается только регистр, строки набраны в разных раскладках или строки различаются только пробелами. Последнее особенно важно, потому что кириллическая Н и латинская H 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. Читатель интервалов терпим к данным, но ничего за геолога не решает.

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. Количество разрывов он 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 vex общий из определения, поэтому колонки ложатся на пласты по высоте без подгонки.

Слой устий 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. При пустом коридоре 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. На каждый код заводится категория, в порядке первого появления сверху вниз, а цвет считается 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 устий (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. Для среза по пластам подайте необязательный вход **Чертёж разреза**, то есть 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, а 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, vex и раскладка от **Разрез по линии**.	-
Устья скважин (collar)	Точечный слой устий.	-
Интервалы скважин (interval, таблица)	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 высоты рамки)	Полигоны полос из 4.01, срез по огибающим.	пусто

Параметр	Что задаёт	По умолчанию
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.

Раскраска по содержанию

Четвёртая таблица, **химия**, необязательна. С ней колонка красится не по коду пласта, а по содержанию. Выберите поле, и полосы получат непрерывную шкалу от бледной к густой. Размах значений, медиана и количество проб со значением уходят в журнал, без этих чисел густой цвет нечем истолковать.

При заданной химии колонка режется **пробами**, а не пластами. Это другая нарезка, и в одном слое они не совмещаются. Пробу берут по керну, границы пластов проводят по описанию, и одна полоса не может быть одновременно и тем, и другим. Интервалы литологии в этом случае на чертёж не идут, и инструмент говорит об этом в журнале.

Проба без значения остаётся серой полосой, а не пропадает с чертежа. Это не оформление. Пропавшая полоса читается как отсутствие керна, чего в данных нет.

Готовый цвет каждой полосы пишется в атрибут `ccolor`, как и при раскраске по коду, поэтому печатная компоновка и чужие стили видят то же, что и экран.

4.03 Состав пласта на разрезе

Инструмент **Состав пласта на разрезе** красит полосу одного пласта по гриду состава вдоль линии. 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) идёт так. 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) идут иначе. 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 растра (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 здесь 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 слоем **Определение разреза**, по линии на каждый разрез.

Поля слоя - 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 4.04, 4.05 и 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. Разрезы с разным vex в одном определении появляются, 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.

Слои определения, сделанные прежними версиями плагина, читаются по-старому. Полей sec и ox 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. При заданном определении 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 и 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 есть поля номера, имени (УГ-1, УГ-2 …), стороны (верх или низ), расстояния вдоль линии, плановых X и Y, азимута отрезка и готовой подписи. 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, а строк две, длина и азимут отрезка между соседними углами, подпись по центру, заливка белая. Она рисуется прямо на холсте и переносится 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 лежат на этих краях.

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. Взятое из манифеста называется в журнале поимённо, чтобы подстановка не осталась незамеченной.

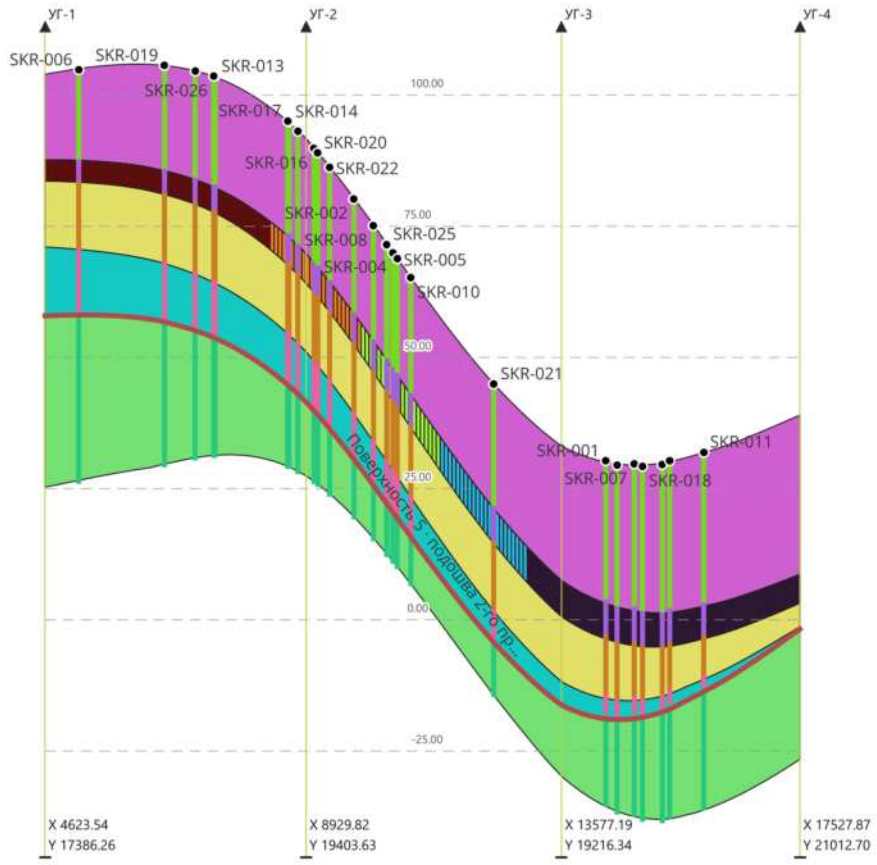
Правило одно. Манифест сокращает путь, но не становится условием работы. Нет ролей, потому что проект чужой или унаследованный, - всё работает по явному выбору, как раньше.

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).

Параметры



d	4755.39	4651.14	4339.91
Аз	64.90	92.31	65.55

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

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Определение разреза	Слой определения от 4.01: линия с полями vex и step. Задаёт линию, масштаб и высоту рамки.	-
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 растра (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** даёт **точку** на реальной высоте в месте пересечения. Такой линией бывает трёхмерный объект, наклонная линия или контур поверхности, и 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, vex 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 подаётся **сразу несколько слоёв**, линии и полигоны в одном списке. Все они обрабатываются за один прогон, как список поверхностей в 4.04.

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 пробуется сразу.

Параметры

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Определение разреза	Слой определения от 4.01: линия, vex и высота рамки. Для объектов без Z этого достаточно.	-
Слои для пересечения	Линии и полигоны в одном списке, за один прогон. В выходах поле src хранит слой-источник.	-

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Чертёж разреза	Запасной источник высоты рамки для старых определений без zmin/zmax.	по желанию
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, и 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.

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, ведь 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, и там, где линия низа прошла над рельефом, полоса схлопывается и объект не выдаётся вовсе. Количество 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, что 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 оформление. Колонка **d** несёт расстояние вдоль разреза, и атрибут объекта с тем же именем молча подменил бы координату - заметили бы это уже на чертеже. Количество собранных колонок печатается в журнал.

Угол и азимут падения. Линия без отметки по умолчанию даёт вертикаль, ведь известно где, но 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**:

```
tg(видимый) = tg(истинный) · cos(азимут падения - 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 следуказатель 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, ведь 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 воспроизводится без дополнительных действий. 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 vex 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 геомоделлера (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 vex. Высота берётся с самих граней.	-
Грани TIN (PolygonZ)	Слои 3D-полигонов - грани TIN от геомоделлера. Нависание и опрокинутое воспроизводятся.	необязательно
Меш-слой (2.5D)	Меш QGIS для общности. Над точкой одно значение, опрокинутое в меше не сохраняется.	необязательно

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Трасса TIN на разрезе (чертёж)	Выходная 2D-трасса в осях разреза, может заворачиваться.	создаётся
Трасса TIN (3D)	Выходная трасса в реальных 3D-координатах.	по запросу
Замкнутые сечения (полигоны)	Кольца сечения, собранные из отрезков.	по запросу
Перенести поля исходного объекта (доп.)	Имена полей через запятую. Идут в кольца.	-
Допуск смыкания колец (доп.)	В единицах чертежа. Концы соседних треугольников совпадают приближённо.	0.001

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

Цепочки и замкнутые сечения

Резка даёт по отрезку на треугольник, а у оболочки их десятки тысяч. Такие отрезки сливаются в цепочки, и на чертёж идёт одна полилиния на цепочку, потому что слоем из отрезков ни подписать, ни выбрать, ни оформить.

Цепочки собираются **по источнику**. Каждая оболочка режется своими треугольниками, и смешивать их в один набор нельзя - соседние тела сошлись бы в одну линию.

Замкнутые цепочки дополнительно выходят полигонами. У оболочки это тело в разрезе, с площадью, которую можно считать и подписывать.

Кольцо получается **само**, если цепочка сомкнулась. Домыкать всё подряд нельзя, и вот почему. Замкнутый контур гарантирован только у замкнутой оболочки, а сечение поверхности - TIN рельефа, кровли пласта, любой открытой грани - разомкнуто по построению, его концы лежат на краю поверхности. Соединить их значит провести хорду, которой в данных нет, и посчитать по ней площадь, которой не существует.

Поэтому цепочка, не сомкнувшаяся сама, остаётся линией и в полигоны не идёт.

В журнал пишется количество цепочек, из них замкнутых и открытых, и наибольший зазор между концами. Если резалась замкнутая оболочка, а цепочки вышли открытыми, зазор и подскажет, что делать, - увеличьте допуск смыкания. Концы отрезков от соседних треугольников совпадают лишь приближённо, и допуск сводит их в один узел.

Внутреннее кольцо собирается отдельно от внешнего, поэтому сечение тела с полостью даёт два полигона, а не один.

Поля исходного объекта переносятся в кольца, если перечислить их имена через запятую. Слоёв граней бывает несколько, поля у них разные, и поле, которого в слое нет, останется пустым. Значения кладутся текстом, чтобы не разбирать типы на стороне выхода. Кроме них у каждой цепочки есть признак замкнутости `closed` и зазор `gap` в концах, а у полигонов ещё и площадь в единицах чертежа. Поля источника переносятся и в линии, и в полигоны.

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.

В атрибутах остаются имя разреза и его номер, по ним результат делится на чертежи, а сами 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, линейное оформление на неё не встанет, и 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, он возвращает в реальные координаты. Горизонталь вершины читается как расстояние вдоль линии (даёт план), высота - как отметка Z = высота / vex. Линия и vex берутся из того же определения, по которому строился чертёж.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Определение разреза	Линия разреза с полем vex.	-
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 вручную на разрезе объект - контур залежи, нарушение, граница - попадает обратно в план и в 3D с отметкой Z.

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. Так сделано 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 она 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. Разрез выбирается 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

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
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 растра (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 выдаётся весь набор данных для группы разреза:

- шесть поверхностей стопкой, 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 и таблица инклинометрии;
- по одному 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. Каналы грида пласта расставлены по соглашению. Канал 1 это кровля, канал 2 подошва, каналы с третьего несут параметры. Здесь это содержание и минеральный тип с зоной замещения. Поля содержания у пластов независимые, стохастические.

Один файл описывает пласт целиком, как блочная модель. Новые параметры добавляются к нему 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 Геоконструктор. 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 в 4.01 определяется по именам слоёв кровли и подошвы. У слоя **KpII_top** снимается роль, остаётся код **KpII**, и по нему опрашивается справочник. Поверхности демо названы 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 таблица с глубинами по стволу от устья и кодом пласта.

Поэтому инструмент **4.02 Скважины на разрезе** пробуется 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 получат цвет и порядок в легенде.

Скважины стоят вдоль всех трёх линий, так что колонки лягут на любой чертёж.

Та же пара годится и для трёхмерного просмотра. Там глубина уходит в Z напрямую, без вертикального масштаба и смещения раскладки.



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 скважин 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.

Слой	Геометрия	Атрибуты
Зона (демо, полигон)	полигон	name. Для инструмента пересечения векторов 4.05.
Разлом (демо)	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**, 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 ГСЧ (Доп.)	Воспроизводимость набора. 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
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-грани опрокинутой складки для 4.06.	по запросу

Структурные элементы и следы выхода. Демо отдаёт два слоя с аналитическим эталоном для проверки углов.

Структурные элементы устроены так. Три линии пересекают прямой Разрез 2 при одном истинном угле в 25 градусов и разных азимутах падения, поэтому видимые углы выходят 25, 18.25 и ноль. Ожидаемое значение записано в поле **app_exp**, и результат 4.05 сверяется числом, а не на глаз. Прямой разрез выбран нарочно, ведь на ломаном азимут звена меняется по ходу, и эталон перестаёт быть однозначным.

Следы выхода для 4.12 такие - 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, потому что подгонка по z на нём поплыла бы.

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

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 вручную, а не найдя, подать в разрез произвольную 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 междупластье, сверху вниз по разрезу. Колонки такие - код тела, номер сверху вниз, тело (пласт или междупластье), цвет, а также необязательные толща 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 основой. Сохраните слой в файл штатными средствами QGIS и правьте коды, порядок и цвета под свою стратиграфию.

Тело заполняет геолог

Повторим главное про справочник. 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’. Междупластье **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 **КрIIIа+б** - составное тело, сумма КрIIIа, междупластья КрIIIа-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. Порядок сверху вниз един, поэтому между **КрIIIб** и **КрIIIв** теперь лежат два тела, а не одно. Пара таких границ на разрезе даст серую полосу с перечнем вместо имени междупластья. На крупной гранулярности, между **КрIIIа+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 взят по Альмендингеру. Нормаль к плоскости это собственный вектор матрицы ориентации при наименьшем собственном значении. Подгонка вида `z = a·x + b·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**, где ноль это точки на прямой, а единица размах в двух направлениях.

Складка ловится невязкой. Метод предполагает, что след лежит на одной плоскости, а длинная граница редко лежит, ей мешают флексура, 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, а не одно среднее значение.

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 2.16 - отметки снимутся с примыкающих горизонталей.

4.13 Содержания по пласту в устьях

Сводит пробы опробования к одному числу на скважину и кладёт его в точку устья. Это вход для кригинга, дальше карта содержаний строится 1.01, как любая другая карта, своих средств интерполяции здесь нет.

Инструмент замыкает цепочку от базы до карты. Геоконструктор выгружает пробы таблицей `chem`, разрез красится по ним в 4.02, а здесь те же пробы превращаются в точки, по которым считается площадное распределение.

Почему стыковка идёт по глубинам

Нарезка опробования и нарезка литологии совпадают редко. Проба может лежать внутри пласта, пересекать границу двух или покрывать несколько, ведь пробу берут по керну, а границы

проводят по описанию. Поэтому стыковать по номеру записи нельзя, стыкуют по глубинам от устья.

Вес пробы это длина её перекрытия с пластом. Проба, попавшая в пласт наполовину, и весит половину своей длины. Если пласт вскрыт стволом дважды, оба интервала сводятся в одно число, и вес каждого это длина, обеспеченная данными.

Отсутствующее содержание не ноль

Это правило, ради которого инструмент устроен именно так. У разных предприятий разный набор компонентов, где-то есть бром и мощность, где-то нет. Пустая ячейка означает, что компонент не определяли, а не что его нет в породе.

Поэтому проба без значения по компоненту выпадает из среднего вместе со своим весом. Подстановка нуля дала бы заведомо заниженное среднее, и тем сильнее, чем реже компонент встречается. Считать так дискриминантную функцию значит получить уверенный и неверный ответ.

Вместе со средним в слой кладётся охват по каждому компоненту отдельно, то есть какая доля мощности пласта обеспечена данными именно по нему. У хлористого калия охват может быть полным, у брома половинным, и одно общее число это скрыло бы.

Параметры

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Устья скважин (collar, точки)	Точечный слой устьев.	-
Интервалы по стволу (interval, таблица)	Литология с кодами пластов.	-
Пробы опробования (chem, таблица)	Пробы с глубинами и содержаниями.	-
Поля содержаний	Какие компоненты считать.	выбирается из полей таблицы проб
Код пласта	Один код из поля кода интервалов.	например KpII
Наименьший охват пласта пробами (Доп.)	Порог для пометки ненадёжных.	0.5
Содержания в устьях	Выходной точечный слой.	-

Поля идентификатора и глубин ищутся по ожидаемым именам сами, задавать их вручную нужно только на нестандартных данных.

Что в выходном слое

В слое лежат точка устья, код пласта, мощность пласта по стволу, охват пробами и количество задевших проб.

Дальше идут по два поля на компонент - само содержание и охват по нему с приставкой `cov_`.

Значения с низким охватом из слоя не выбрасываются, решать за пользователя, какой охват достаточен, неправильно. Отбирайте по полю **cover** перед подачей в кригинг, а инструмент пишет в журнал, сколько таких скважин.

Перекрытия проб между собой считаются и попадают в сводку. Две пробы на одну глубину это спор в данных, и молчать о нём нельзя.

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 в распоряжении 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 остаётся незаметным. В зоне выклинивания мощность идёт к нулю, и две независимо построенные поверхности почти неизбежно пересекаются.

Дальше арифметика по такой пачке даёт отрицательные мощности и объёмы, а на разрезе это видно вывернутыми полосами. 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, поэтому считается отдельной зоной.

Отрицательная мощность - кровля пласта ниже его подошвы.

Перехлёст соседей - подошва вышележащего опустилась ниже кровли нижележащего. Проверка отдельная и не сводится к предыдущей, ведь 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 там перехлёст возникнет при следующем пересчёте поверхностей.

Признак перевёрнутого порядка срабатывает, если перехлёст занял почти всю площадь, а внутри пластов чисто. Геология так не выглядит, настоящий перехлёст 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

На выходе растр зон с кодами - согласовано, выклинивание, отрицательная мощность, перехлёст - и 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, ведь 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, это либо ошибка интерполяции, либо опрокидывание пласта на складке. Инструмент отмечает места и печатает числа, но приговора не выносит. Различают их 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, а 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, и любое расхождение с ним есть ошибка инструмента, а не данных.

Что в примере

Колонка взята из справочника пластов целиком, тридцать шесть тел сверху вниз. Сначала покровные отложения, пестроцветная и терригенно-карбонатная толщи, соляно-мергельная толща. Дальше соль с переходной пачкой, покровной каменной солью, карналлитовой зоной с междупластьями. Затем сильвинитовые пласты, подстилающая соль, маркирующая глина и нижняя соль. 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, ведь 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 выдаётся всё, что нужно для работы с пачкой. Это зеркало растворения и карта выхода под зеркало, мощность водозащитной толщи от кровли пласта В до зеркала,

устья и интервалы модели бурения с номером вскрытия в поле entry. Дальше идут 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 перехлёст 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.

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, потому что 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 и берётся доверительный интервал. Мощности на гриде срезаются по его границам, всё вышедшее за них заменяется самой границей, и из исправленных мощностей пачка собирается заново.

Количество ячеек при этом не меняется, в отличие от выбрасывания, - место остаётся, изменена 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, ведь 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 набор растров и таблиц без явной структуры. Что из этого что, знает пользователь, но эти сведения не передаются вместе с проектом. Манифест живёт в пользовательских свойствах проекта QGIS - штатное место, которое сохраняется в файле проекта и переносится вместе с ним.

Правило такое. 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, потому что имя ничего не гарантирует. Чужие роли, записанные другими модулями, сохраняются, ведь манифест общий, и удаление незнакомого нарушило бы работу соседних модулей.

Поверхности, сделанные сборкой пачки (5.03), распознаются без догадок. Сборка выкладывает поверхности файлами и при записи помечает каждый файл его ролью. Метка едет вместе с файлом.

Слой можно переименовать, перенести в другой проект или отдать соседу - роль останется при нём. Раньше такие поверхности назывались «01_КОД» и ни под одну подсказку по имени не подходили, то есть собственные выходы модуля оставались неразмеченными.

Источники роли берутся по старшинству - сначала манифест проекта, затем метка в файле, затем догадка по имени. Решение человека, записанное в манифест, не отменяется ни файлом, ни догадкой.

5.06 Складчатость поверхности

Считает, насколько поверхность смята, по разбросу отметок вокруг местного наклона.

Складчатость мерится по поверхности, а не по мощности, ведь 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, тогда наклон уходит, а 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, ведь на детрендированной 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

Группа идёт в порядке задачи. Инструменты 6.01-6.07 работают по модели рельефа. Они строят направления стока и накопление, речную сеть, бассейны и водосбор створа, канавы или карьера и считают морфометрию водосбора для отчёта. Модель рельефа для них готовят в группе «Топография», загрузкой ЦМР (2.01) и подготовкой рельефа (2.04).

Инструменты 6.08-6.11 отвечают 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 вводятся таблицей по каждому створу, а коэффициенты и уклоны задаются вручную. Между тем всё перечисленное - данные, которые в ГИС уже есть. Расстояния заложены 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

6.01 Сток и аккумуляция (D8)

Считает направления стока по восьми соседям (D8, Jenson-Domingue) и аккумуляцию, то есть 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, количество 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.

6.02 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, то есть площадь водосбора истока, делённую 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) и **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 это быстрая проверка качества ЦМР.

6.03 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 и собирает весь водосбор выше себя.

Без притяжки точка, поставленная на глаз рядом с рекой, собрала бы крошечный склоновый бассейн. Без точек бассейны строятся автоматически от устьев, то есть от 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) и **area_m2** (площадь по количеству 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_.

6.04 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 6.01 - 6.03 дают сток, речную сеть и бассейны по территории в целом, а 6.04 отвечает на вопрос про конкретный створ.

Поля исходного объекта переносятся в выход тем же порядком, что в 6.03. Нужные выбираются в дополнительных параметрах, при совпадении имени добавляется префикс src_.

Как это работает

Каждая точка створа притягивается к ячейке с наибольшей аккумуляцией в радиусе притяжки, поэтому створ ставится на глаз рядом с тальвегом и попадать мышью в ячейку водотока не нужно. От притянутой ячейки собирается полный водосбор, и по нему считается зональная статистика. Главный водоток трассируется вверх по решётке, из каждой ячейки делается шаг в соседа с наибольшей аккумуляцией, и так 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 6.04 от 6.03, где территория делится на непересекающиеся бассейны.

Что считается

Показатель	Поле	Единицы
Площадь бассейна	area_km2	км²
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
Длина главного водотока	stream_km	км
Падение водотока	fall_m	м
Средний уклон водотока	slope_ppm	промилле
Средний уклон склонов Iск по СП	sp_slope_ppm	промилле
Суммарная длина **горизонталей**	sp_iso_km	км
Средневзвешенный уклон водотока по СП	sp_stream_ppm	промилле
Длина речной **сети** внутри водосбора	net_km	км
Густота речной сети	net_dens	км на км²
Ячеек в бассейне	cells	шт.

Пять полей внизу таблицы заполняются только при включённых параметрах. Три поля с приставкой **sp_** появляются при заданном сечении горизонталей, два поля **net_** при заданном пороге аккумуляции, иначе они остаются пустыми.

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

Три длины, которые легко перепутать

В таблице атрибутов рядом стоят три поля с длинами, и по коротким именам они не различаются. В заголовках таблицы атрибутов стоят подписи словами, но при выгрузке в CSV или при работе через выражения остаются имена, поэтому разница названа здесь прямо.

stream_km - длина **главного** водотока, от створа вверх по наибольшей аккумуляции до истока. Одна линия, притоки в неё не входят.

net_km - длина **всей** речной сети внутри водосбора, главный водоток вместе с притоками. Заполняется при заданном пороге аккумуляции.

sp_iso_km - длина **горизонталей**, а не водотоков. Это множитель Σli в формуле среднего уклона склонов по СП, и он на два порядка больше длины сети, потому что горизонтали идут по всей площади через каждое сечение по высоте. Для водосбора в 54 км² при сечении 5 м получается около 2800 км, и это нормально.

Параметры

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Входная ЦМР	Рельеф в метрах в метрической СК.	-
Точки створов	Точечный слой, по точке на створ.	-
Сечение горизонталей для расчёта по СП, м	Включает поля sp_. Ноль отключает.	10
Порог аккумуляции для длины речной сети, ячеек	Включает поля net_. Ноль отключает.	0
Радиус притяжки точек, 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 **2.07 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 6.04 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 Iск считается по формуле

Iск = h · Σli / (2A),

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

Iск 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, ведь 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) и **stream_ppm** (падение водотока, делённое на его длину).

Длина речной сети

Параметр **порог аккумуляции для длины речной сети** включает поля **net_km** и **net_dens**, ноль отключает.

Сеть это ячейки, в которых аккумуляция достигла порога, то есть тот же признак водотока, что в **6.02 Речная сеть**. Длина считается по звеньям решётки стока, диагональное звено весит корень из двух размеров ячейки, поэтому число совпадает с длиной линий, которые построила бы 6.02 на том же пороге.

Звено засчитывается, только когда обе его ячейки внутри водосбора. Звено, уходящее за границу, принадлежит уже соседнему водосбору, и приписывать его сюда значило бы считать одну реку дважды.

Порог решает, что считать водотоком, и длина сети меняется вместе с ним в разы. На маленьком пороге сеть прорастает в каждую ложбину, на большом остаются только крупные водотоки. Поэтому число без указания порога не значит ничего, и в журнал порог пишется рядом с длиной.

Густота сети net_dens это длина сети, делённая на площадь водосбора, в километрах на квадратный километр. Величина безразмерная по смыслу и сравнимая между бассейнами, в отличие от самой длины.

6.05 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 тем же порядком, что в 6.03. Нужные выбираются в дополнительных параметрах, при совпадении имени 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 полъячейки, 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 6.04, 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 уведёт за собой внешние. Опора на всю внутренность снимает вопрос о направлениях в яме. Каковы бы ни были эти направления, 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	км²
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	км²

Показатель	Поле	Единицы
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

2.07 Демо-рельеф выдаёт слой **Трассы канав (демо)**: нагорную канаву выше сильного тальвега и кювет ниже по склону, обе ломаные с изломом. Подайте рельеф и этот слой в 6.05. 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.

6.06 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 вручную, взят из чужого проекта или 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.	-

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Полигоны водосборов	Готовые контуры, по которым считать.	-
Точки замыкания	Створы. Пусто - точка берётся по наибольшей аккумуляции внутри полигона.	пусто
Считать длину водотока и падение	Требует трассировки по ЦМР и заметно дороже остального.	включено
Сечение горизонталей для расчёта по СП, м	Включает поля sp_. Ноль отключает.	10
Порог аккумуляции для длины речной сети, ячеек	Включает поля net_. Ноль отключает.	0
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.	-

Поля выходного слоя

Показатель	Поле	Единицы
Площадь водосбора	area_km2	км²
Средняя высота	z_mean	м
Минимальная высота	z_min	м
Максимальная высота	z_max	м
Средний уклон водосбора	slope_mean	градусы (Horn 3x3)
Отметка точки замыкания	z_gauge	м
Длина главного водотока	stream_km	км
Падение водотока	stream_fall_m	м
Средний уклон водотока	stream_ppm	промилле
Средний уклон склонов Iск по СП	sp_slope_ppm	промилле
Суммарная длина **горизонталей**	sp_iso_km	км
Средневзвешенный уклон водотока по СП	sp_stream_ppm	промилле
Длина речной **сети** внутри водосбора	net_km	км
Густота речной сети	net_dens	км на км²
Способ выбора точки замыкания	outlet	-
Ячеек в водосборе	cells	шт.

Поля с префиксом **sp_** заполняются при заданном сечении горизонталей, поля **net_** при заданном пороге аккумуляции, поля водотока при включённой галочке длины. В остальных случаях они остаются пустыми, а пусто это отсутствие измерения, не ноль.

Три длины в этой таблице легко перепутать, и разница между ними существенная. **stream_km** это длина главного водотока, одной линии от точки замыкания до истока. **net_km** это длина всей сети вместе с притоками. **sp_iso_km** это длина **горизонталей**, множитель Σli в формуле уклона склонов по СП, и она на два порядка больше длины сети, потому что горизонтали идут по всей площади через каждое сечение по высоте. Для водосбора в 54 км² при сечении 5 м выходит около 2800 км, и это верное число, а не сбой.

В заголовках таблицы атрибутов стоят подписи словами, но при выгрузке в CSV и в выражениях остаются имена полей.

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, и 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 и длина речной сети

Считаются те же величины и теми же формулами, что в **6.04 Отчёт по створу**. Параметр **сечение горизонталей** включает средний уклон склонов Iск и средневзвешенный уклон водотока, параметр **порог аккумуляции** - длину речной сети и её густоту. Разбор формул и смысл каждого поля описаны там же.

Отличие одно. Физический уклон бассейна лежит здесь в поле **slope_mean**, а не **slope_deg**.

6.07 Линии стока от точек, линий и контуров

Куда стечёт вода из заданного места. От каждой стартовой ячейки инструмент идёт вниз по склону по направлениям стока D8 и рисует пройденный путь линией.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Входная ЦМР	Рельеф в метрах в метровой системе координат.	-
Откуда стекает	Точки, линии или контуры. Точка даёт одну ячейку, линия ячейки под собой, полигон все ячейки внутри.	-
Приёмники	Водоёмы, реки, канавы. Трасса останавливается, придя в них.	-
Останавливаться на водотоке: порог, ячеек	Останов в ячейке, куда стекает больше заданного количества ячеек. Порог тот же, что в 6.02. 0 = выкл.	0
Останавливаться на выполаживании: уклон, градусы	Останов там, где поток теряет силу. 0 = выкл.	0
Длина пологого участка, м	Короче этой длины полка пропускается.	50
Зона зарождения: уклон, градусы	Отбор трасс, у которых есть достаточно крутой участок. 0 = не проверять.	0

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Длина зоны зарождения, м	Какой длины должен быть крутой участок.	100
Обрывать трассу при слиянии	Трасса обрывается, влившись в уже пройденную.	снято
Сглаживание трассы, итераций (доп.)	Скругление ступеней D8 для чертежа. Отметки не меняются.	0
Перенести поля исходного объекта (доп.)	Какие атрибуты источника лечь в трассу.	-
Заполнить впадины	Планшон-Дарбу перед трассировкой. Иначе путь останавливается в первой же яме.	вкл.

Площадные источники. Канава в восемь ячеек даёт восемь линий, контур отвала столько, сколько ячеек он накрывает. Ниже по склону трассы сходятся в одно русло, и без обрыва по нему пройдёт каждая - тысяча ячеек отвала даст тысячу копий одного русла. Флажок **Обрывать трассу при слиянии** превращает пучок в дерево, где каждая ячейка пройдена один раз, а связность сохраняется, трасса доводится до места слияния.

Зона зарождения отбирает трассы по крутизне, остаются те, у которых есть участок круче заданного угла и не короче заданной длины. Так ищут сход лавины - она срывается там, где склон держит крутизну на протяжении, а не в одной ячейке. Обычные пороги 25 градусов и сотня метров, длина найденного участка пишется в поле `steep_m`.

Выполаживание обрывает трассу у подножия склона, на террасе, на пойме. Уклон меряется осреднённо по последним метрам пути, и длина этого участка задаётся рядом. Короткая полка внутри крутого склона среднее не уронит и пропускается, настоящее выполаживание уронит. Режется по началу участка, это и есть место, где поток растекается.

Почему в градусах. Пороги задаются углом, а не отношением. Лавинные и геотехнические критерии пишут в градусах, и растр уклона у топографа тоже в градусах.

Причина остановки пишется в поле `reason` и различает четыре случая:

- **Сток** - ниже некуда;
- **Край листа** - рельеф кончился;
- **Приёмник** - пришли в заданный водоём или водоток;
- **Слияние** - трасса влилась в уже пройденную.

Поля выхода:

- `src_id` - номер исходного объекта;
- `cells` - количество ячеек;
- `length_m` - длина пути;
- `drop_m` - перепад;
- `slope` - средний уклон;
- `z_start` и `z_end` - отметки концов;
- `reason` - причина остановки.

Трасса D8 идёт по восьми направлениям и потому выглядит ступенями под 45 градусов. Это свойство метода, а не ошибка, и сглаживание скругляет ломаную для чертежа, отметки при этом не меняются. Линия стока показывает путь по топологии рельефа и не учитывает ни впитывание, ни подпор, ни трубы.

6.08 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 раздельно обязательно, ведь 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, и 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
`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 **6.10** несёт поля `sec`, `dist`, `elev` и `km`. Поле `dist` это расстояние по створу в метрах, `elev` абсолютная отметка в метрах. Расчётные поля переносятся, если они есть.

Таблица расходов обеспеченности несёт `prob` в процентах и `q` в кубометрах в секунду. Таблица наблюдаемых уровней несёт `level` в метрах и `label` текстом.

Кривая на выходе несёт `level` м, `area` м², `width` м, `perim` м, `radius` м, `v` м/с, `q` м³/с, `n` безразмерную и `slope` м/м.

Чертёж створов несёт поля `sec`, `km`, `kind` (часть чертежа), `part`, `row`, `text` и `value`. Линия участка в нём несёт ещё характеристики на отметке подвала:

- `level`, `width`, `area`, `perim`, `radius`, `v`, `q`, `n` и `slope` в тех же единицах, что у кривой;
- `depth_avg` - средняя глубина в метрах;
- `q_pct` - доля от суммарного расхода в процентах;
- `part_no` - номер участка;
- `soil` и `cover` - грунт и покрытие, приходят пустыми и заполняются вручную.

Отметки земли отдельным слоем не выходят. Отметка лежит в Z вершин профиля, и подписи берутся стилем из геометрии.

Уровни по створам на карте несут `sec`, `level` м, `q` м³/с, `prob` проценты, `label` подпись и `kind` (вид уровня, `prob` расчётный, `obs` наблюдаемый).

В каких единицах Уклон безразмерен, это отношение падения к длине, метр на метр. В полях и параметрах он задаётся именно так, 0.0004, а не в промилле.

Шероховатость задаётся коэффициентом Маннинга, 0.030 для чистого русла, 0.070 для заросшей поймы. Строго говоря, коэффициент не безразмерен, размерность прячется в формуле, поэтому формула метрическая.

Расход выходит в кубометрах в секунду при площади в квадратных метрах и радиусе в метрах. Для футов формула потребовала бы своего множителя.

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, отметкой и подписью. Это замер, а не расчёт, на кривую он не опирается и ложится рядом с расчётными, вида УВ 472.90 Х/2021. В слое уровней на карте такие строки помечены kind=obs, расчётные kind=prob. В чертеже створов им соответствуют kind=level_obs и kind=level, и по этому полю им задаётся разный стиль.

Чертёж створов одним слоем

Весь чертёж гидроствора выходит одним слоем. Это профиль по участкам, линии уровней и вертикальная шкала отметок, а подвал рисует стиль по полям линий участков. Части различаются полем **kind**, и оформление вешается стилем на него, поэтому лист собирается один раз, а дальше меняются только данные.

Отметка земли лежит в Z вершин профиля, поэтому отдельный точечный слой ради подписей не нужен. Вертикальное преувеличение задаётся параметром **Отношение масштабов, вертикаль к горизонтали**, по умолчанию десять, как на гидростворах и чертят. Чертёж строится в собственной инженерной системе координат, к местности он не привязан.

Подвал чертежа

Подвал не собирается из отдельных ячеек. Характеристики участка на отметке подвала висят в атрибутах самой линии участка. Это ширина, средняя глубина, площадь сечения, смоченный периметр, гидравлический радиус, уклон, коэффициент шероховатости, скорость, расход и доля от суммарного. Строки подвала рисуются стилем по этим полям, поэтому правка данных не требует пересборки листа.

Отметка задаётся параметром **Отметка для подвала чертежа**. Без неё берётся наивысший из расчётных уровней, ведь подвал считают на высокой воде. Принятая отметка печатается в журнал.

Отметки земли подписываются стилем по Z вершин профиля. Лист собирается печатной компоновкой, инструмент отдаёт данные, а 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. **Чертёж створов одним слоем** в чертёжных координатах и **Уровни по створам на карте (для 6.09)** в координатах карты. **График кривой расходов (чертёж)** включается отдельно.

HTML-отчёт делается по каждому створу. В нём 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.

Что откладывается по горизонтали, выбирается параметром - расход Q, площадь живого сечения W или средняя скорость v. Скорость нужна там, где кривую читают не ради расхода, а ради размыва, потому что допустимая неразмывающая скорость грунта сравнивается прямо по графику.

График идёт отдельным слоем и в собственных осях, по горизонтали выбранная величина, 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, поэтому 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.

6.09 Полигон затопления

Режет поверхность отметкой воды и выдаёт контур затопления и растр глубины.

Отметку задают прямо или через расход. При задании расходом она берётся обратным ходом по кривой от 6.08, и это то самое движение, которое на ручных построениях рисуют красной стрелкой. Кривая подаётся таблицей, расход числом, принятая отметка печатается в журнал.

Инструмент отделён от 6.08 намеренно. У него другой вход и другой потребитель, и выполнять весь расчёт кривой ради одного полигона незачем.

Уровень вдоль реки не постоянен

Вверх по течению он выше, и срез всей площади одной отметкой заливает 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 6.08. Или желаемый расход по уже посчитанной кривой, и тогда подаются створы на карте, таблица кривой и число, а 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 6.08. Створ, у которого расход вышел за верх кривой, пропускается с предупреждением, ведь кривая строится до верха профиля, и выше него отметку взять неоткуда. Если такие сценарии нужны, поднимите верхнюю отметку в 6.08, 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, к разливу отношения не имеющий.

Связность с руслом не проверяется, и об этом сказано в журнале. Замкнутые понижения в стороне от реки останутся в контуре, на карте это видно.

6.10 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. Вводить их заново 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.

6.11 Пример реки (демо)

Инструмент строит учебную цепочку створов с известным ответом. Долина имеет русло и две поймы, отметки стоят в Z вершин. Поля участков, шероховатости, уклона и километража за-

полнены.

Русло и поймы имеют разную шероховатость, поэтому на кривой видно, как включается пойма. До бровок расход растёт круто, а выше перелома пойма добавляет площадь, но расхода добавляет мало.

Кроме створов выдаются таблица промеров и поверхность долины растром. Таблица это вход для 6.10, поверхность вход для 6.09, ведь 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 напрямую по заданному створу. Расхождение с тем, что даст 6.08 на этих же створах, есть ошибка инструмента, а не данных, потому что ответ известен заранее.

Как проверять группу

Постройте пример, подайте створы в 6.08 и сверьте таблицу кривой с эталонной - они обязаны совпасть. Затем подайте таблицу промеров в 6.10 вместе со слоем створов демо, и восстановленные створы лягут поверх исходных и дадут ту же кривую. Наконец, подайте в 6.09 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 это отдельная задача. Восстановление дна между промерными створами вдоль русла имеет свою анизотропию, и до него 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 шагам от одной до N ячеек. Шаг в одну ячейку это соседние ячейки, шаг в четыре это ячейки через три.

По наклону вариограммы определяется показатель Хёрста H. Размерность равна D = 3 - H. На гладких дифференцируемых участках D около 2, на изрезанных и шумных - ближе к 3. Значения D дают уровень изрезанности, а перепады D показывают границы, 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.

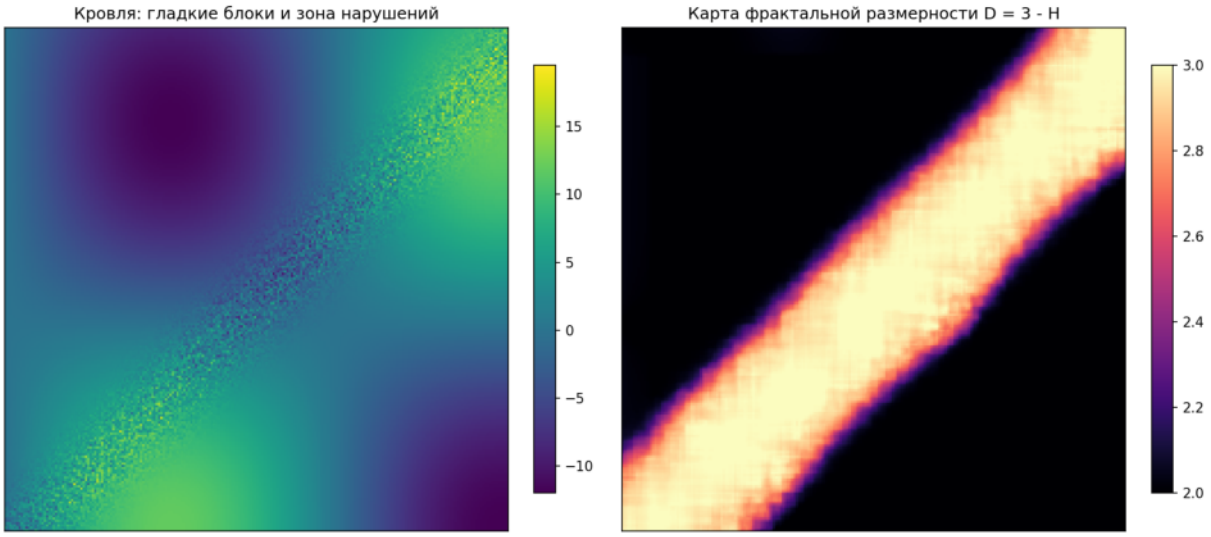


Рис. 30: Синтетическая кровля с диагональной зоной дробления и её карта D: спокойные блоки около 2, зона нарушений проявилась ярким линеаментом.

Выбор окна и шагов

Малое окно (5-8 ячеек) показывает микроструктуру и локальные нарушения, большое (12-20) - региональные зоны. При сомнении можно посчитать оба и сравнить. Количество шагов 4 подходит почти всегда, а больше шагов даёт устойчивее наклон, но толще минимальный масштаб, который метод способен различить. Окно и шаги ограничены размером грида, инструмент проверяет это сам.

Рабочий цикл

Кровля пласта из кригинга подаётся в **7.01** с окном 8, полученный грид D идёт 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. Демоповерхности подходят как есть.

Параметры

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Поверхность (растр)	Грид рельефа или любой поверхности.	-
Полурадиус окна, ячеек	Размер скользящего окна.	8
Количество шагов (Доп.)	Шаги вариограммы от одной до 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/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.

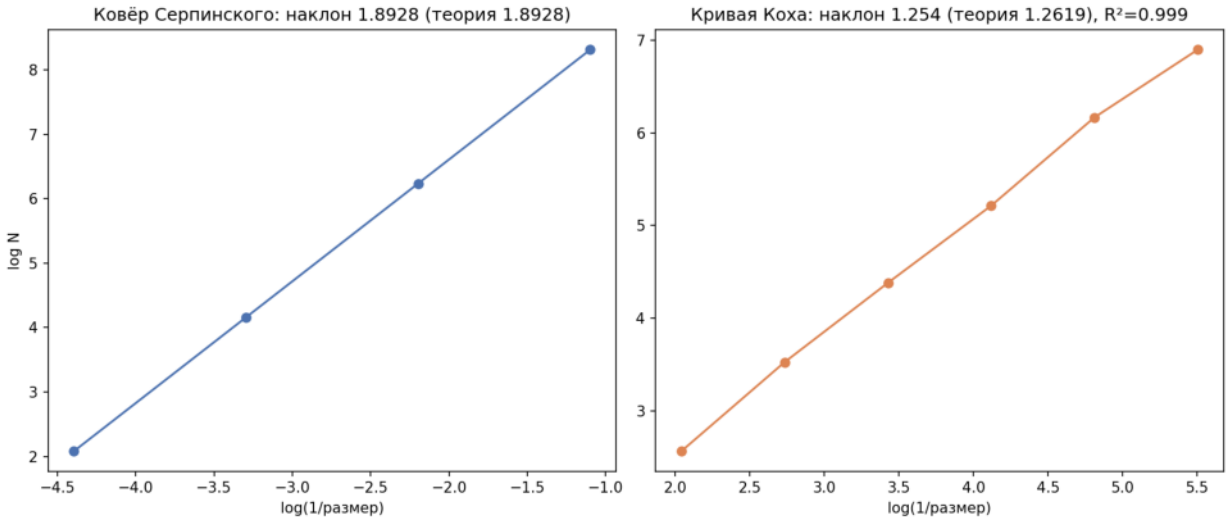


Рис. 31: Проверка оценщиков на эталонах: ковёр Серпинского даёт наклон 1.8928 при теоретических 1.8928, кривая Коха - 1.254 при 1.2619. Точки на прямой - степенной закон выдержан.

Откуда берётся маска

Маску берут из четырёх источников. Первые три это канал минтипа грида пласта с порогом между кодами классов, грид вероятности индикаторного кригинга с порогом 0.5 и карта вероятности превышения с порогом кондиции. Четвёртый это векторные контуры выработок или зон, растеризованные штатным инструментом «Растеризация (вектор в растр)». Сравнивать имеет смысл D масок одной природы на одной сетке. Рост изрезанности контура замещения от пласта к пласту или от года к году это содержательный сигнал.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию
Растр маски	Любой растр, маска - значения выше порога.	-
Порог	Граница «объект/фон».	0.5
Канал (Доп.)	Канал растра.	1

7.03 Размерность линий и границ

Инструмент считает размерность каждой линии методом циркуля (Ричардсона). Линия проходится хордами убывающего раствора, и 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 - оформление, форма сохранена. Падение на десятые - сглаживание разрушает 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

Инструмент нужен там, где извилистость линии должна стать числом, - это изрезанность контуров зон в плане, сравнение детальности оцифровки границ из разных источников и контроль генерализации при подготовке мелкомасштабных планов.

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, и наклон log N от log(1/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.

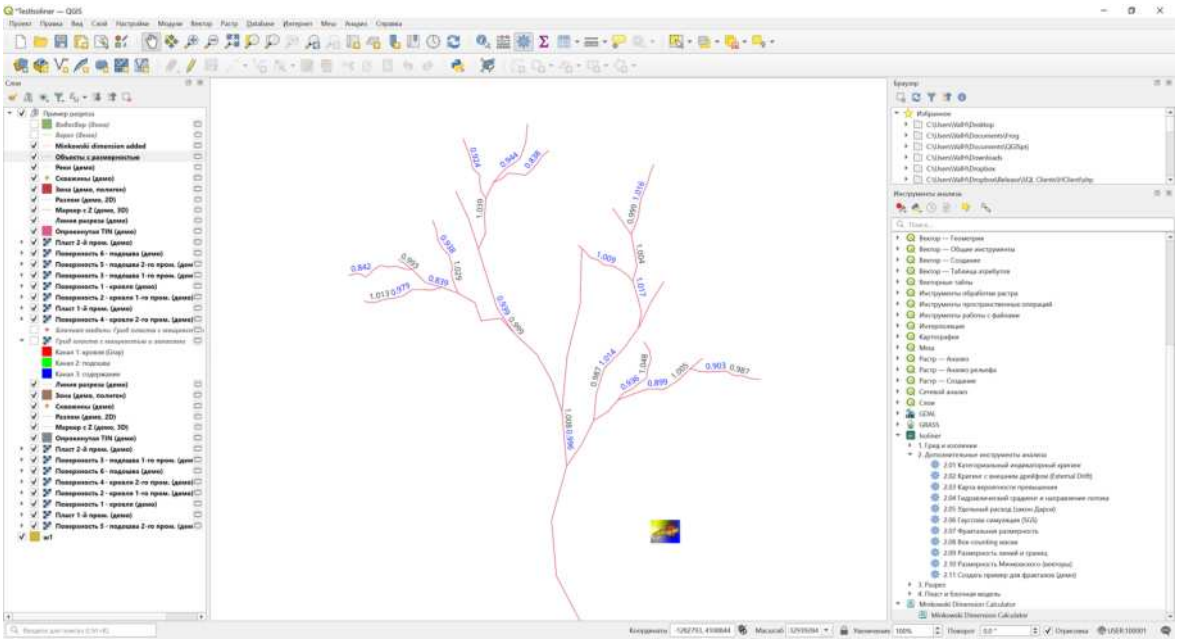


Рис. 32: Демо-реки с подписями D_mink по рукавам: почти гладкие рукава дают значения около единицы, сеть целиком - выше.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию
Линии или полигоны	Векторный слой, у полигонов берутся кольца границ.	-
Количество размеров сетки (K) (Доп.)	Количество ступеней, слишком большое K уводит ячейки ниже детальности линии и занижает D.	8

Параметр	Что задаёт	По умолчанию
Сдвигов 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)

Инструмент создаёт учебные объекты для всей фрактальной группы - ветвящуюся речную сеть с полем order, то есть с порядком притока, полигон водосбора с изрезанной границей и отдельную береговую линию, построенную 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 ГСЧ (Доп.)	Повторяемость примера.	1

8. Обмен данными

Группа собирает инструменты обмена с программами, которые работают не в ГИС. Сейчас это LandXML - обменный формат программ обработки тахеометрической съёмки и дорожного проектирования. Схема 1.2 держится с 2008 года и почти не менялась, поэтому файл, записанный одной программой, читается остальными.

Инструменты группы нейтральны к содержимому. Они переносят точки, линии, поверхность и трассу со створами, а что это за объекты по смыслу, решает пользователь.

8.01 Принять LandXML

Инструмент читает обменный файл LandXML. В этом формате отдают результат программы обработки тахеометрической съёмки - Credo, Trimble Business Center, Topcon Magnet, Leica Infinity, Civil 3D, Bentley. Схема 1.2 держится с 2008 года и почти не менялась.

До этого инструмента данные из таких программ приходилось приводить к таблицам вручную. Створы с пикетами в QGIS не читал никто.

Что читается

Раздел файла	Что это	Выход
CgPoints	точки съёмки с именем, кодом и описанием	точечный слой с отметками
PlanFeatures	именованные линии с кодами	линейный слой с отметками
Surfaces	триангуляция	слой трёхмерных граней
Alignments	трасса с пикетажем	линейный слой с началом пикетажа и длиной
Profile	продольный профиль	линия трассы с отметками из профиля

Раздел файла	Что это	Выход
CrossSects	створы	линии поперёк трассы с отметками

Выходы необязательные. Снимите ненужные, файл всё равно разбирается один раз.

Поверхность выдаётся трёхмерными гранями, а не мешем, и это сделано намеренно - такой слой сразу принимает инструмент **4.06 Пересечение TIN с разрезом**. Створы ложатся на местность поперёк трассы, и такую линию с отметками принимают инструменты группы **6. Гидрология**.

Кадастровые участки, трубопроводные сети, дорожные объекты, полевые измерения и межевые знаки не читаются намеренно. Это чужие предметные области, и поддержать их наполовину значит обещать то, чего нет. Найденные в файле, они перечисляются в журнале.

Параметры

Параметр	Что задаёт	По умолчанию / совет
Файл LandXML	Входной файл.	-
В файле сначала север, затем восток	Порядок чисел в записи точки.	включено
Система координат	Пусто - берётся из файла, а при её отсутствии система проекта.	пусто
Допуск спрямления кривых, м (доп.)	Стрелка прогиба при разбиении дуг.	0,05

Стандартные элементы схемы

Файл LandXML состоит из разделов верхнего уровня. Инструмент читает те, что перечислены ниже, и берёт из них следующее.

Units задаёт единицы измерения. Читается `linearUnit`, значение переводится в метры. Метр, километр, сантиметр, миллиметр, международный фут, фут геодезической съёмки США, дюйм, ярд и миля различаются множителями. Раздела нет - числа берутся как есть с предупреждением.

CoordinateSystem задаёт систему координат. Читаются `name` и `epsgCode`. Код перекрывается системой, заданной в параметрах инструмента.

CgPoints содержит точки съёмки. У каждой `CgPoint` читаются атрибуты `name`, `code`, `desc` и текст элемента с координатами. Пар в тексте две или три - север, восток и при наличии отметка.

PlanFeatures содержит именованные линии. У `PlanFeature` читаются `name` и `desc`, а геометрия собирается из `CoordGeom` - элементов `Line`, `Curve`, `Spiral` и `IrregularLine` с `PntList2D` и `PntList3D`.

Surfaces содержит триангуляцию. В `Definition` читаются `Pnts` с элементами `P`, у каждого атрибут `id` и координаты в тексте, и `Faces` с элементами `F`, где стоят три ссылки на `id`. Грань с атрибутом `i="1"` считается скрытой и пропускается со счётом.

Alignments содержит трассы. У `Alignment` читаются `name`, `desc`, `staStart` и `length`. Внутри лежат `CoordGeom` с той же геометрией, что у линий, `Profile` с продольным профилем и `CrossSects` со створами.

Profile даёт продольный профиль. Читается `ProfAlign` с элементами `PVI`, в каждом пара пикет и отметка. При отсутствии `ProfAlign` читается `ProfSurf` с `PntList2D`, где пары идут подряд.

CrossSects даёт створы. У `CrossSect` читаются `sta` и `name`, внутри лежат `CrossSectSurf` с именем поверхности сечения, а в них `CrossSectPnt` с парой смещение и отметка. Эта пара не переставляется правилом «сначала север», потому что правило относится к точкам на местности, а здесь смещение и отметка.

Разделы `Parcels`, `PipeNetworks`, `Roadways`, `Survey`, `Monuments` и прочие не читаются. Найденные в файле, они перечисляются в журнале с количеством вхождений.

Поля выходных слоёв

Слой	Поле	Что в нём
Точки съёмки	name	имя точки из файла
	code	код съёмки
	desc	описание
	z	отметка, пусто при её отсутствии в файле
Линии	name	имя линии
	desc	описание, а при его отсутствии имя набора линий
	npts	количество вершин
Поверхность	surface	имя поверхности из файла
	tri	номер грани внутри поверхности, с единицы
Трассы	name	имя трассы
	desc	описание
	sta_start	пикет начала трассы
	length_m	длина, объявленная в файле
Профиль	align	имя своей трассы
	npts	количество отметок
Створы	align	имя трассы
	sta	пикет створа
	name	имя створа из файла
	surf	имя поверхности сечения
	npts	количество точек

Длина трассы берётся объявленной в файле, а не измеряется по ломаной, ведь на спрямлённых кривых эти две величины расходятся.

У точки без отметки поле **z** остаётся пустым, а в геометрии стоит ноль. Пустое поле это отсутствие измерения, ноль в геометрии это требование формата слоя.

Каждый объект слоя поверхности это один треугольник. У одного створа в файле бывает несколько поверхностей сечения, земля и проект, и каждая даёт свою линию со своим значением в поле **surf**.

Порядок координат

В схеме точка записана как «север, восток», то есть Y раньше X. Часть программ пишет наоборот, и перепутанный порядок даёт зеркальный поворот площадки. На участке в сотню метров такой поворот заметить труднее, чем кажется.

Поэтому инструмент печатает в журнал охват прочитанного. Сверьте его с ожидаемым. Если координаты поменялись местами, это видно по первой же строке.

Единицы измерения

Единицы берутся из заголовка файла и пересчитываются в метры. Файл в футах читается без единой ошибки и без пересчёта дал бы отметки втрое меньше.

Поэтому отсутствие единиц в файле попадает в предупреждения, а неизвестное название единицы не толкуется наугад.

Международный фут и фут геодезической съёмки США различаются в шестом знаке, и в файле они названы по-разному. Оба пересчитываются своим множителем.

Кривые

Трасса в файле состоит из прямых, круговых кривых и переходных. Прямая переносится как есть, круговая кривая разбивается ломаной по заданной стрелке прогиба, а концы дуги ставятся точно. Переходная кривая заменяется хордой, и количество таких замен печатается в журнал, на них длина трассы занижена.

Кривая без центра тоже заменяется хордой. По одним координатам начала и конца дуга не восстанавливается, и угадывать её незачем.

Створы на местности

Поперечник в файле задан пикетом и парами «смещение, отметка». Инструмент ставит его на местность - находит на трассе точку заданного пикета и откладывает смещения поперёк хода, положительные вправо. В вершинах линии стоят отметки.

Если у трассы в файле нет геометрии, створы пропускаются с сообщением о количестве пропущенных. Выдать их в условных координатах рядом с остальными слоями нельзя, один слой оказался бы сразу в двух системах координат.

8.02 Записать LandXML

Инструмент собирает файл LandXML из слоёв проекта. Такой файл открывают Credo, Trimble Business Center, Topcon Magnet, Leica Infinity и Civil 3D.

Что записывается

Вход	Что уходит в файл
Точки съёмки	CgPoints с именем и кодом из выбранных полей
Линии	PlanFeatures с именем из выбранного поля
Поверхность: слой трёхмерных граней	Surfaces, треугольниками
Трасса (одна линия)	Alignment с пикетажем и продольным профилем по отметкам вершин
Створы (линии с отметками)	CrossSects при заданной трассе

Входы необязательные, берётся то, что задано. Файл всегда пишется в метрах и по схеме, то есть сначала север, затем восток. Система координат берётся у первого заданного слоя и записывается кодом EPSG.

Створы и трасса

Створы записываются только вместе с трассой. Смещение точки створа считается от оси, и без оси его неоткуда взять. Смещение выходит положительным справа по ходу трассы, отрицательным слева, как принято в дорожной практике.

Пикет створа берётся из выбранного поля. Без поля он вычисляется как средний пикет вершин линии, спроецированных на трассу.

Границы

Гранью поверхности считается только треугольник. Полигоны с другим количеством вершин пропускаются со счётом в журнале, триангулировать их надо заранее.

Слои в градусах инструмент отвергает. LandXML хранит плоские координаты, и градусы в нём становятся бессмыслицей.

8.03 Пример LandXML (демо)

Инструмент пишет набор файлов LandXML с одной и той же местностью, записанной поразному. Нужен он для двух вещей. Чтобы проверить чтение на материале, ответ по которому известен заранее, и чтобы увидеть, как выглядит файл, пришедший из чужой программы.

Геометрия во всех файлах одна. Двенадцать съёмочных точек, две линии, поверхность из двадцати точек, трасса длиной 240 метров с круговой кривой, продольный профиль и три створа. Различается только способ записи, поэтому результаты чтения сопоставимы между собой. Прочитайте любые два файла и сравните - расхождений быть не должно.

Варианты

Файл	Чем отличается
`landxml_base.xml`	Метры, координаты север-восток, поверхность точками и гранями. Одна грань помечена невидимой и в чтение не идёт.
`landxml_east_first.xml`	Координаты записаны восток-север. Читается верно только со снятым флажком порядка координат.
`landxml_imperial.xml`	Футы, геодезический американский. Проверяет пересчёт в метры.
`landxml_no_units.xml`	Без раздела единиц. Числа берутся как есть, в журнал идёт предупреждение.
`landxml_no_crs.xml`	Без системы координат. Слои получают систему проекта.
`landxml_points_only.xml`	Поверхность точками без граней. Триангуляции в файле нет.
`landxml_breaklines.xml`	Поверхность задана одними бровками. Читается линиями, поверхность не создаётся.
`landxml_spiral.xml`	Трасса с переходной кривой. Кривая заменяется хордой со счётом в журнал.
`landxml_survey_points.xml`	Точки без отметки, с атрибутами oID и pntSurv вместо имени и кода.
`landxml_plain_align.xml`	Трасса одной прямой, без профиля и без створов.

Откуда взяты написания

Варианты отвечают тому, что программы пишут на деле, а не придуманы. Футы и поверхность одними точками без граней выгружает Civil 3D, у него режим выгрузки поверхности так и называется. Поверхность одними бровками пишет Trimble Business Center, когда отдаёт трассу поверхностью по бровкам. Порядок координат в схеме не закреплён, поэтому файл с обратным порядком встречается регулярно. Раздел единиц и система координат по схеме необязательны.

Чего в наборе нет - точного воспроизведения выгрузки конкретной программы. Для этого нужны настоящие файлы от каждой из них, и когда они появятся, набор пополнится.

Порядок работы

Напишите файлы в папку, подайте их по одному в **8.01 Принять LandXML** и сверьте журнал с таблицей выше. Для файла с обратным порядком координат снимите флажок порядка, иначе точки уедут за экватор.

9. Сдвижения

Группа считает деформации земной поверхности по оседаниям реперов. Формулы взяты из «Указаний по защите рудников от затопления и охране подрабатываемых объектов на Верхнекамском месторождении» (ГИ УрО РАН), раздел 4. Шестая редакция для ПАО «Уралкалий» и Указания Талицкого ГОКа 2024 года в этой части совпадают.

Оседание берётся разностью отметок в репере за выбранный период, а не вычитанием двух гридов. Разность в репере точная, а у каждого грида своя ошибка интерполяции, и при вычитании они складываются. К тому же набор реперов от цикла к циклу меняется. Поэтому сначала считаются оседания в реперах, по ним строится грид (**1.01**, **1.02** или **1.03**), и уже по гриду работает группа.

Единицы те же, что в базе наблюдений. Наклон и горизонтальная деформация идут в мм/м, кривизна в 10^{-6} 1/м. Радиус кривизны в километрах равен 1000, делённой на кривизну в 10^{-6} 1/м.

9.01 Наклоны и кривизна по оседаниям

Инструмент строит по гриду оседаний растры наибольшего наклона, его азимута, кривизны вдоль наклона и главных кривизн.

Как считается

Наклон по формуле 4.22 Указаний это разность оседаний, отнесённая к расстоянию. Кривизна по формуле 4.24 это разность наклонов соседних интервалов, отнесённая к средней длине интервала.

По гриду разности берутся не по соседним ячейкам, а на расстоянии **Базы разностей**, как между реперами. Наклон считается по двум точкам на половине базы в обе стороны, кривизна по трём точкам через базу. Ячейка мельче базы только уточняет положение и на величину не влияет. Это важно. Кривизна по ячейке 5 м и по интервалу 15 м отличается в разы, а допуски заданы для 15-метрового интервала.

Флажок **Приводить к 15-метровому интервалу** умножает наклон на q_i, а кривизну на $q_i \cdot q_k$. Кривизна по п. 4.24 берётся по наклонам, уже приведённым к 15 м, и сама приводится ещё раз. При базе 15 м и меньше оба коэффициента равны единице.

Коэффициенты перегрузки инструмент не применяет. Для существующих объектов фактические деформации по профильным линиям сравниваются с допусками без них (п. 5.4).

Знак

Оседание в журнале нивелирования идёт разностью отметок со знаком минус, а в ведомостях деформаций со знаком плюс. **Знак оседания** определяется по данным или задаётся явно, и принятое решение печатается в журнал.

Кривизна считается как вторая разность оседаний, положительных вниз. В центральной части мульды она отрицательна, поверхность там сжата. У края мульды кривизна положительна, поверхность растянута. Азимут наклона смотрит в сторону роста оседания, к центру мульды.

Сверка с профильными линиями

Если заданы **Реперы для сверки**, инструмент проверяет грид по профильным линиям. **Поле профиля** делит реперы на профили, **Поле порядка реперов** выстраивает их вдоль линии, а без него реперы идут по положению.

По каждому профилю наклоны и кривизна считаются дважды, по замерам в реперах и по гриду в тех же точках. Выходят два слоя. Линии интервалов несут наклон со знаком по ходу профиля, как в ведомости базы наблюдений. Точки реперов несут кривизну и радиус. В обоих слоях рядом стоит значение по гриду и расхождение, а сводное расхождение печатается в журнал.

Большое расхождение значит, что грид срезает мульду между профилями или ячейка слишком крупная. Тогда стоит взять другую модель интерполяции или уменьшить ячейку.

База наблюдений УКК считает наклон и кривизну без приведения к 15 м. Чтобы числа совпали с ней, снимите флажок приведения.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию
Грид оседаний	Растр оседаний за период, построенный по реперам.	-
Единицы оседаний	Миллиметры или метры.	миллиметры
Знак оседания	Определить по данным, плюс или минус.	по данным
База разностей, м	Расстояние, на котором берутся разности.	15
Приводить к 15-метровому интервалу (q_i, q_k)	Коэффициенты приведения Указаний.	да
Реперы для сверки (точки)	Реперы профильных линий.	-
Поле оседания реперов	Оседание в тех же единицах и с тем же знаком, что грид.	-
Поле профиля	Деление реперов на профили.	один профиль
Поле порядка реперов	Порядок вдоль профиля.	по положению
Поле имени репера	Имя репера для выхода.	-

9.02 Горизонтальные деформации

Инструмент считает горизонтальные деформации, растяжение и сжатие, двумя путями. Растяжение идёт со знаком плюс, сжатие со знаком минус, как в базе наблюдений.

Оценка по кривизне

Там, где интервалы не измеряются, деформация оценивается по формуле 4.34 Указаний, $\varepsilon = m_e \cdot K \cdot L$. Кривизна K берётся из выхода **9.01**. Коэффициент m_e зависит от величины кривизны и считается по п. 4.27.

Длина полумульды L задаётся числом или вычисляется по глубине, которую задаёт **Глубина разработки** H, $L = (\operatorname{ctg}\delta_0 + \operatorname{ctg}\psi)\cdot H$. Угол полных сдвижений ψ равен 55°. Граничный угол δ_0 равен 55° у постоянных границ выработанного пространства и 65° у временных и длительно остановленных.

В редакции Указаний 2014 года вместо L стоял интервал l_0 между точками полумульды, и та же кривизна давала деформацию примерно на порядок меньше. Действующие редакции пишут L. Вариант с l_0 оставлен параметром **Формула оценки** для пересчёта старых отчётов.

По измеренным интервалам

Если заданы **Измеренные интервалы**, деформация каждого считается по формуле 4.27 как относительное изменение длины. Флажок приведения умножает её на q_ε. Когда задан и растр кривизны, в каждый интервал пишется оценка в его середине, а среднее расхождение и СКО печатаются в журнал. Так видно, насколько оценка по кривизне годится на этом участке.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию
Кривизна (выход 9.01)	Растр кривизны в 10^{-6} 1/м.	-
Формула оценки	Действующие Указания (L) или редакция 2014 года (l_0).	L
Длина полумульды L, м	Длина полумульды, 0 - по глубине.	0
Глубина разработки H, м	Глубина для расчёта L.	300
Граница выработанного пространства	Постоянная (55°) или временная (65°).	постоянная
Интервал l_0, м (Доп.)	Интервал для формулы редакции 2014 года.	15
Измеренные интервалы (линии)	Линии между соседними реперами.	-
Поле начальной длины	Начальная длина, пусто - длина линии.	-
Поле текущей длины	Длина в текущем цикле.	-
Приводить к 15-метровому интервалу (q_ε)	Коэффициент приведения.	да

9.03 Пример мульды (демо)

Инструмент строит мульду оседания над прямоугольной выработкой по типовой функции S(z) из таблицы 1 Указаний. Наклон и кривизна такой мульды известны заранее, и на ней проверяются **9.01** и **9.02**.

Выработка стоит в центре, длинной стороной с запада на восток. Пример рассчитан на полную подработку, когда размер выработки не меньше 1.4H. Тогда у мульды есть плоское дно, а от его края идёт полумульда длиной L. Неполную подработку Указания считают иначе, демо её не моделирует и только предупреждает. Оседание в растре пишется в миллиметрах со знаком минус, как разность отметок, чтобы проверялся и выбор знака в **9.01**.

К оседанию пример добавляет скорости. Предыдущий тур берётся как та же мульда, умноженная на **Долю предыдущего тура**, за **Срок между турами** мульда углубилась на оставшуюся часть. Скорость оседания идёт вторым растром в миллиметрах в год, со знаком, как у оседания. Такой растр подаётся в **9.01** так же, как оседание, и даёт скорости наклонов и кривизны.

Третий выход это реперы двух профильных линий по главным сечениям I-I и II-II через центр мульды. Шаг реперов по умолчанию L/10, как в п. 4.26.2 Указаний. У каждого репера есть оседание текущего тура **eta_mm**, предыдущего **eta_prev_mm** и скорость **rate_mm_y**. При таком шаге наклоны и кривизна по реперам совпадают с формулами Указаний точно. При глубине около 357 м (L = 500 м) и оседании 1 м они повторяют таблицу 2 редакции 2014 года, кроме строки z = 0.20. В ней кривизна напечатана с ошибкой, по формуле выходит $-0.450 \cdot 10^{-4}$ 1/м вместо -0.630.

Порядок проверки

Постройте пример и подайте растр в **9.01**, а реперы демо в сверку с полем eta_mm. Расхождение наклона и кривизны по гриду с реперами должно быть малым. Затем подайте кривизну в **9.02** и сравните оценку с числами в журнале.

Параметр	Что задаёт	По умолчанию
Глубина разработки H, м	Глубина, от неё зависит L.	350
Длина выработки D11, м	Размер с запада на восток.	1200
Ширина выработки D12, м	Размер с юга на север.	900
Максимальное оседание, м	Оседание на дне мульды.	1.0
Граница выработанного пространства	Граничный угол 55° или 65°.	постоянная
Шаг реперов, м	Шаг реперов на профилях, 0 - L/10.	0
Срок между турами, мес	Время между предыдущим и текущим туром.	12
Доля предыдущего тура (Доп.)	Какая часть оседания была уже в предыдущем туре.	0.9
Размер ячейки, м (Доп.)	Ячейка растра, мельче шага реперов.	5
СК выхода (метрическая)	Система координат примера.	EPSG:32640
Куда положить (охват)	Сдвигает пример, размер не меняет.	-

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.

Список инструментов длинный, и это пугает при первом знакомстве. Начните с пяти - **1.01**, **1.04**, **2.03**, **2.10** и **4.01**. Остальное найдётся само, когда упрётесь в задачу.

После каждого шага написано, что должно получиться. Если получилось другое, надо остановиться и разобраться, а не идти дальше.

Сценарий 1. У меня точки

Пять минут. Скважины, пробы, замеры, любая нерегулярная сеть наблюдений.

Шаг 1. 1.10 Пример скважин (демо) Минимум - ничего задавать не нужно, всё по умолчанию. Если у вас есть свои точки, пропустите шаг. *Получится* - точечный слой в проекте.

Шаг 2. 1.01 2D Kriging (точки → растр) Минимум - **Точки**, **Поле значения**, **Размер ячейки**. Остальное по умолчанию. *Получится* - растр и слой стандартной ошибки. Ошибка растёт там, где точек мало, и смотреть на неё надо в первую очередь.

Шаг 3. 1.04 Изолинии из растра Минимум - **Растр**, **Сечение**, **Стиль изолиний** = Структура / гипсометрия. Сечение подберите так, чтобы линий было видно, но не сплошная штриховка. *Получится* - изолинии с подписями и контурные пояса, границы которых совпадают с линиями.

Дальше по вкусу. **1.06** и **1.07** покажут, есть ли в данных анизотропия, а **1.09** оценит метод перекрёстной проверкой.

Сценарий 2. Мне нужен рельеф

Пятнадцать минут. Главный сценарий - строим рельеф, проверяем его числами и устраняем найденное.

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, а у Copernicus GLO-30 высота снята по верхушкам, и горизонтали по нему повторяют кроны. *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. 6.01 Сток и аккумуляция (D8) Минимум - **ЦМР** из шага 1. Заполнение понижений оставьте включённым. *Получится* - растры направлений стока и накопленной площади.

Шаг 4. 6.02 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. 2.06 Вершины и ямы 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, а из OSM придут из другого источника и с матрицей могут не совпасть. *Получится* - до пяти слоёв в группе Топография.

Шаг 7. 2.03 Topo2Raster (рельеф из векторов) Минимальный набор входов:

- **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. 2.09 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. 2.10 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. 2.11 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 **2.07 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 их на горизонтали шага 2 другим цветом. Линии должны лечь друг на друга и вправе 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. Матрицы Copernicus GLO-30, GEDTM30 и Mapzen Terrain Tiles распространяются свободно.

Приложение. Поля демо-слоёв

Сводка полей всех генераторов демонстрационных данных с единицами. Значения демонстрационные, и там, где величина абстрактна, единицы условны.

Выходы групп «Топография» и «Гидрология»

Слой линий **Речная сеть** (инструмент 6.02):

Поле	Тип	Смысл, единицы
order	целое	порядок Стралера
acc_out	дробное	аккумуляция в замыкании звена, ячеек

Поле	Тип	Смысл, единицы
length_m	дробное	длина звена, м

Слой полигонов **Бассейны** (6.03) несёт **basin** (номер бассейна, целое) и **area_m2** (площадь, м²). Слой точек **Вершины** (2.06) несёт **z** (высота, м) и **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 (2.07) - 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)
T	дробное	водопроводимость, м²/сут, T = K·мощность (необязательное)
mintype	строка	минтип, категория (демо замещения, необязательное)
dz	дробное	величина, 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 (ρк, 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 ρк, Ом·м
rho_true	дробное	ρк 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 это 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, поля **hole_id**, **z** (отметка устья), **eoh** (глубина забоя) и **number** (подпись).
- **Интервалы interval (демо)**, таблица, поля **hole_id**, **from**, **to** (глубины по стволу от устья) и **code** (индекс пласта).
- **Пласт 1-й пром. (демо)** и **Пласт 2-й пром. (демо)** это 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, поле **name**.
- **Маркер с Z (демо, 3D)**, линия с отметкой Z, поле **name**.
- **Зона (демо, полигон)**, полигон, поле **name**.
- **Опрокинутая TIN (демо)**, 3D-грани, поле **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 счётом.

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 журнале 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** - **prec**. 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 журнал. Строка **Масса входа 500, масса на сетке 500, расхождение 0** и есть инвариант, интеграл плотности равен сумме масс.

Шаг 3. Плотность по линиям

Запустите 3.07 на слое **Демо-линии**.

- **Поле точности** - **prec** - 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 журнале 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 журнал.

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. Это аналог кригинговой дисперсии для этажа плотности, и он 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 журнале 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 и QGIS, затем имя запущенного инструмента, его параметры, время

счёта, а при сбое - описание ошибки. 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.