


ИНФОРМАЦИОННЫЙ БУКЛЕТ

# ПУТЬ К НАДЕЖНЫМ ГЕОЛОГИЧЕСКИМ МОДЕЛЯМ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ

Как Driver и Leapfrog помогают геологам увереннее открывать новые месторождения, заверять данные и строить модели



Краткий обзор	03
<hr/>	
ГЛАВА 1 Почему для структурной интерпретации нужен подход, более прочно опирающийся на данные	04
<hr/>	
ГЛАВА 2 Как Driver выполняет количественную оценку локальной геологической непрерывности	06
<hr/>	
ГЛАВА 3 Применение Driver в рабочих процессах геологического моделирования	09
<hr/>	
Заключение	23
<hr/>	



# Краткий обзор

Понимание геологических объектов, определяющих строение месторождения, имеет ключевое значение для построения обоснованной модели. Роль структурной геологии критически важна: она помогает геологам понимать взаимосвязи между геологическими элементами и определять пространственные непрерывности, лежащие в основе качественной модели и оценки ресурсов. Однако во многих рабочих процессах получение надежной структурной информации в поддержку интерпретации месторождения остается сложной задачей. Выявление непрерывности геологических объектов в разреженных данных бурения — фундаментальный аспект понимания и моделирования месторождений, но он редко получает количественное описание в той форме, которую можно напрямую использовать при построении моделей (Sinclair and Valee, 1994; Reid and Cowan, 2023).

Инструмент Driver, интегрированный в связанный рабочий процесс с Leapfrog, заполняет этот пробел, предлагая количественную оценку локальной геологической непрерывности непосредственно по данным бурения. Driver, опираясь на методы машинного обучения, извлекает структурные тренды, заложенные в пространственной конфигурации данных опробования, литологического каротажа и изменений пород, и преобразует их в практические выводы, которые можно проверять, интерпретировать и применять. Таким образом Driver формирует количественный, основанный на данных процесс структурной интерпретации месторождений и предлагает выводы, которые снижают объем ручной работы по построению моделей с учетом структурной информации и упрощают их обновление по мере поступления новых данных.

В этом буклете мы рассмотрим, почему для структурной интерпретации месторождений требуется подход, основанный на данных, как Driver помогает получить количественную оценку геологической непрерывности и каким образом эту аналитику можно использовать в рабочих процессах открытия, моделирования и оценки месторождений. Опираясь на реальные примеры использования и истории успеха, мы покажем, как Driver помогает создавать геологически более реалистичные модели и позволяет геологам выявлять, проверять и применять структурные закономерности, которые без него было бы трудно использовать.



## ГЛАВА 1

# Почему для структурной интерпретации нужен подход, более прочно опирающийся на данные

Геологическое моделирование всегда опиралось на интерпретацию, основанную на экспертных знаниях. Этот подход остается важным, но одновременно создает и ряд ограничений. В большинстве рабочих процессов геологам приходится принимать длинную цепочку решений, в результате которых наблюдаемые геологические данные, интерпретации и представления о месторождении превращаются во входные параметры, а затем — в пригодную для использования цифровую модель (Kentwell, 2019). Инструмент Learfrog значительно ускорил формирование поверхностей и объемов, однако интерпретация данных и геологических объектов по-прежнему в значительной степени зависит от пользователя. По мере роста объема, плотности и сложности наборов данных управлять этой зависимостью становится всё сложнее.

## С увеличением объемов данных моделирование не стало автоматически больше опираться на них

Казалось бы, с увеличением объемов данных бурения модели должны более эффективно использовать потенциал самих данных (Sinclair and Blackwell, 2002), однако на практике структурные интерпретации нередко фиксируются на ранних стадиях и затем используются без регулярного пересмотра и обновления. По мере того как модель насыщается данными, пересматривать исходную интерпретацию зачастую становится сложнее, а не проще.

В результате формируется рабочий процесс, в котором ранние предпосылки и предубеждения только закрепляются, а объем ручных корректировок растет, утомляя специалиста и усложняя масштабирование модели и количественное обоснование принятых решений. В итоге модель во многом зависит от первоначальной интерпретации человеком, даже когда новая информация могла бы способствовать получению более детализированной и объективной цифровой картины.

## Непрерывность — фундаментальное свойство, которое сложно корректно зафиксировать

Одна из самых серьезных задач при построении количественных

геологических моделей — реалистичное отображение геологической непрерывности.

Непрерывность описывает, как объекты, пересеченные отдельными скважинами, фактически связаны в трехмерном пространстве. Она определяет геометрию геологических единиц и характер распределения содержаний по месторождению (Sinclair and Valee 1994). Поэтому точное понимание непрерывности критично как для качества модели, так и для уверенности в оценке ресурсов.

Непрерывность сложно оценить количественно напрямую. Ее можно вывести из структурных наблюдений по стволу скважины, например по ориентации жил, слоистости или сланцеватости, однако такие данные часто фрагментарны и не отражают непрерывность в масштабе, значимом для построения репрезентативной модели.

Дополнительные сложности связаны с тем, что геология редко бывает однородной на всем протяжении месторождения (Stoch et al., 2022). Большинство геологических объектов демонстрируют выраженную направленную зависимость (анизотропию), причем изменения доминирующей ориентации нередко происходят на локальном уровне, например при складчатости и деформации стратифицированной толщи, сложных сетях жил или неправильных формах рудных тел. Модели, которые учитывают и воспроизводят локальную непрерывность, как правило, лучше отражают реальную геологию (Martin et al., 2019).

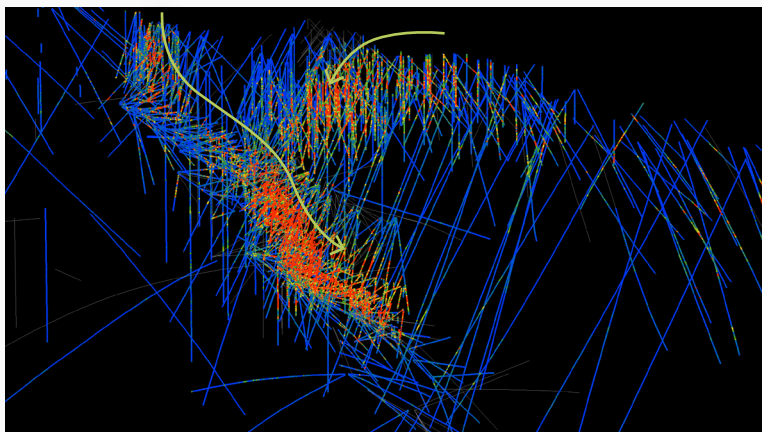


РИСУНОК 1. Локальная непрерывность, выраженная в данных опробования по содержанию полезного компонента из бурения. Закономерности в масштабе месторождения (зеленые стрелки), наблюдаемые в этих данных, могут дать ключевую аналитику о структурных объектах, контролирующих распределение по месторождению.



## ГЛАВА 2

# Как Driver выполняет количественную оценку локальной геологической непрерывности

Инструмент Driver призван помочь геологам количественно оценивать локальную геологическую непрерывность непосредственно по данным бурения. Его базовый метод — картирование пространственной непрерывности (Spatial Continuity Mapping, SCM) — представляет собой алгоритм машинного обучения без надзора, который определяет и измеряет непрерывность в трехмерных геологических наборах данных. SCM выбирает стратегические точки анализа в массиве данных бурения и в каждой такой точке измеряет и моделирует пространственную непрерывность аналогичных проб в окружающей области.

Полученные результаты выражаются в виде набора локальных эллипсоидов, каждый из которых описывает доминирующую ориентацию и протяженность непрерывности в данной точке. В совокупности по всему месторождению эти эллипсоиды образуют поле локально варьирующей анизотропии, которое геологи могут проверять, интерпретировать и использовать в последующих рабочих процессах (например, Stoch et al., 2022).

Картирование пространственной непрерывности в *Driver* можно применять как к скалярным числовым атрибутам (таким как данные опробования), так и к категориальной информации (такой как диаграммы литологического каротажа, коды изменений пород). Для данных, связанных с оруденением, SCM выявляет локальные структурные контролирующие факторы непрерывности распределения содержаний. Для категориальных данных алгоритм выделяет такие объекты, как стратиграфическая слоистость, геометрия интрузий, ориентация жил и смещения по разломам. Во всех случаях цель одна: извлекать структурные закономерности непосредственно из данных, а не задавать их вручную.

## Как работает картирование пространственной непрерывности

SCM принимает на вход атрибутированные трехмерные точечные данные либо интервальные данные по стволу скважины. В геологическом анализе это обычно подземные пробы бурения, описанные

с точки зрения стратиграфических подразделений, литологии жил, геохимических опробований и т. п.

Пробы, представляющие интересующий объект (например, конкретную литологическую толщу или содержание выше порогового значения), получают значение 1, остальные — значение 0. Перед анализом данные, как правило, объединяются по стволу скважины до регулярной длины интервала, чтобы уменьшить высокочастотный шум, сохраняя при этом ключевые геологические объекты, которые значимы для интерпретации и моделирования.

Рабочий процесс SCM включает три ключевых шага: i) выбор центров; ii) картирование непрерывности; iii) изучение анизотропии.

Сначала выбирается подмножество проб, которое используется как центры анализа для полуравномерного распределения точек по интересующей области. В каждом центре SCM агрегирует соседние пробы, превышающие заданный пользователем порог, и по ним картирует локальную непрерывность в окружающей области. Так формируется репрезентативный эллипсоид анизотропии, описывающий протяженность и ориентацию непрерывности вокруг такого центра анализа.

Каждый эллипсоид фиксирует главные оси (угол падения, направление падения, угол наклона главной оси в плоскости) и лимиты (диапазоны) локальной непрерывности, а также включает показатели качества, например достоверность модели и степень поддержки данными.

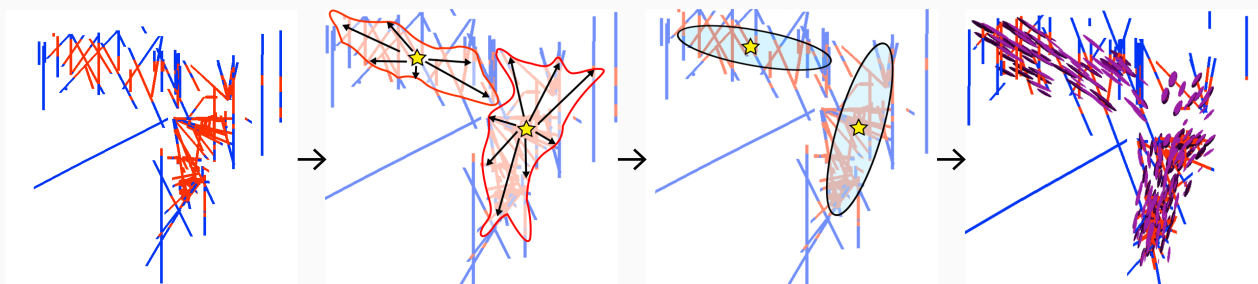


РИСУНОК 2. Алгоритм SCM для моделирования локальной непрерывности на основе атрибутированных данных бурения.

Достоверность рассчитывается как доля углового пространства вокруг центра, для которой имеется трехмерная информация. Поддержка данными отражает количество уникальных проб, использованных в анализе для данной точки. Вместе эти показатели дают специалистам количественные критерии для оценки надежности локальных результатов.

В отличие от традиционной вариографии, ориентированной на интерпретацию пространственной непрерывности в крупном домене, SCM изучает локальную геометрию непосредственно по пространственной конфигурации атрибутированных данных.

Driver представляет непрерывность в виде локальных эллипсоидов, поскольку это гибкий способ описания геологических объектов со сложной пространственной конфигурацией. В рамках единой структуры эллипсоиды позволяют описывать распространенные геометрии: планарные объекты (стратиграфические пласты, жилы), линейные объекты (рудные столбы, оси погружающихся складок) и количественно оценивать геометрическую непрерывность в форме, пригодной для визуальной проверки и последующего использования в рабочих процессах.

Сопутствующим расширением SCM является автоматическая кластеризация эллипсоидов на основе их пространственной близости и анизотропных характеристик, включая ориентацию, размер и форму. Эта встроенная в SCM функция кластеризации использует метод распространения меток в рамках полуконтролируемого машинного обучения для выявления групп проб, которые согласованы в пространстве и анизотропно. Опираясь на итеративное распространение связей, алгоритм формирует группы, повторяющие криволинейные геометрии (например, складки), и размещает границы решений в областях с резким изменением непрерывности. Алгоритм слабо параметризован: пользователю не нужно заранее задавать количество кластеров. Система определяет связи, исходя непосредственно из пространственной конфигурации данных и поля непрерывности, созданного SCM, при этом пользователь может регулировать угловой допуск для связей между соседними эллипсоидами.

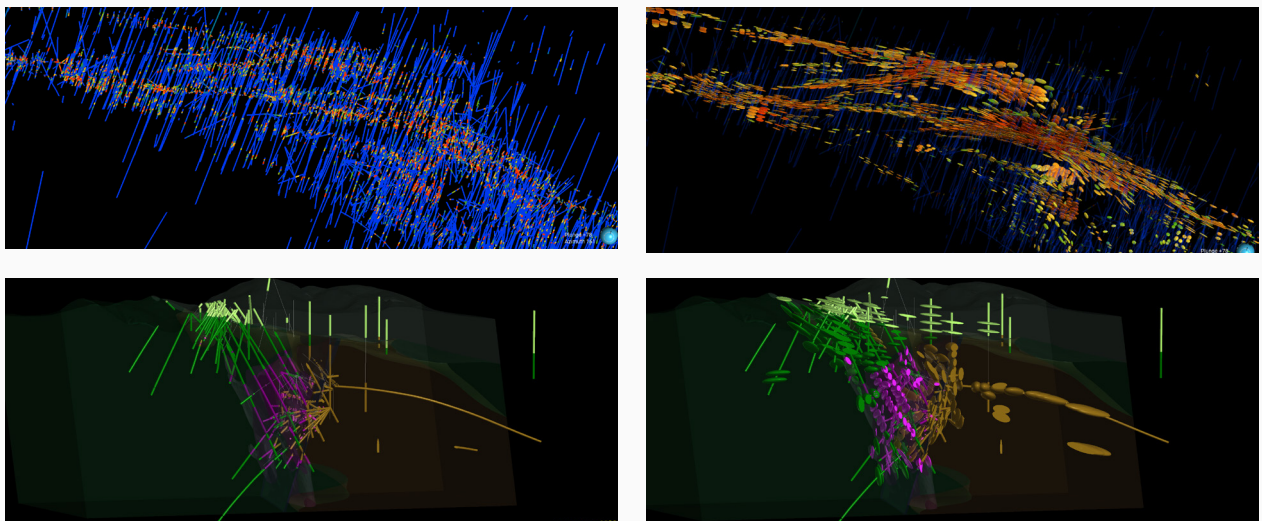


РИСУНОК 3. Примеры результатов SCM при анализе локальной непрерывности золотоносных (Au) жил (вверху) и литологических разностей, выделенных по данным бурения (внизу).



## ГЛАВА 3

# Применение Driver в рабочих процессах геологического моделирования

Ценность Driver в том, как используются результаты этого инструмента: для заверки и выявления геологических объектов, построения улучшенных моделей условного моделирования и поддержки рабочих процессов оценки, которые зависят от анизотропии, основанной на данных.

# 01 Структурные данные для заверки геологии и открытия месторождений

Данные о непрерывности, полученные с помощью Driver, представляют собой структурную информацию, отражающую основные геологические тренды, заложенные в данных бурения. Они помогают геологам выявлять объекты, которые ранее могли остаться незамеченными, или подтверждать, что существующая интерпретация действительно опирается на данные. Это делает Driver полезным инструментом как для поиска новых возможностей, так и для тестирования структурных гипотез и решений по доменному разграничению с большей уверенностью.

## Заверка геологических данных на месторождении Голден-Кросс, полуостров Коромандел, Новая Зеландия

Один из примеров использования Driver в заверке структурной интерпретации — месторождение золото-серебряного оруденения Голден-Кросс на полуострове Коромандел (Новая Зеландия). Месторождение включает две ключевые зоны: крутопадающую зону Эмпайр и более пологую западную зону Стокверк (Begbie et al., 2007).

Функционал Driver был применен непосредственно к данным по содержанию золота, в результате чего был сгенерирован набор локальных эллипсоидов, выявивших структурную сложность, включая серию ответвлений золотоносных жил в лежачем боку жилы Эмпайр. Хотя эти ответвления отмечались в некоторых исходных интерпретациях поперечных разрезов, их независимое подтверждение посредством непрерывности, извлеченной непосредственно из данных опробования, усиливает доверие к геологической модели и поддерживает решения по доменному разграничению. Оно также создает прочную связь между концептуальной моделью и эмпирическими закономерностями в данных.

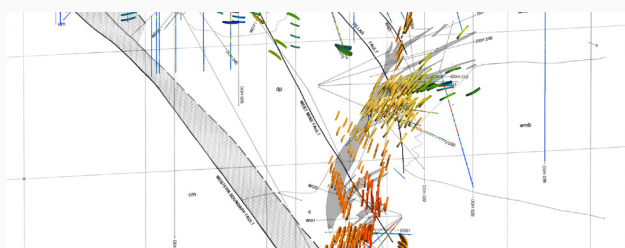


РИСУНОК 4. Геологические объекты, выделенные картированием пространственной непрерывности на руднике Голден-Кросс, полуостров Коромандел, Новая Зеландия.

## Геологическое открытие на объекте компании OceanaGold в Ваихи

Структурные результаты, полученные с помощью Driver, могут также способствовать выявлению экономически значимых объектов в данных месторождений. На подземном объекте компании OceanaGold в Ваихи функционал Driver помог команде геологов обнаружить ответвление жилы, ранее не отраженное в моделях.

Работая в геологически сложной эпитермальном системе с несколькими рудными участками и старыми выработками, команда использовала Driver для анализа данных разведочного бурения и создания эллипсоидов, описывающих ориентацию и распределение локальной непрерывности в минерализованных структурах. При сопоставлении с установленной геологией и данными подземного контроля руды оказалось, что интерпретация Driver хорошо согласуется с наблюдаемой архитектурой жил. Это стимулировало команду на дальнейшее изучение.

Ключевой вывод был сформулирован, когда в Driver была выделена группа эллипсоидов в области, где ранее не было смоделировано ни одной жилы. Это указывало на наличие минерализованной структуры, ответвляющейся от основной зоны. Команда проверила эту гипотезу, сравнив результаты с имеющимися подземными данными, и подтвердила, что выявленная в Driver структурная закономерность реальна и практически значима. После подтверждения ответвление было оконтурено, оценено и интегрировано в рабочий процесс планирования горных работ. От первичного анализа до получения полностью оцененной блочной модели, на основе которой можно было приступать к планированию, прошло всего около часа.



Результат оказался и быстрым, и ощутимым. Компания OceanaGold выявила ранее упущенный источник прибыли с ресурсным потенциалом свыше 2000 дополнительных унций золота, при этом более 100 унций уже добыто. Программа Driver помогла обнаружить тонкий, но экономически значимый структурный тренд и позволила получить более полную модель, теснее связанную с отраженными в данных объектами.

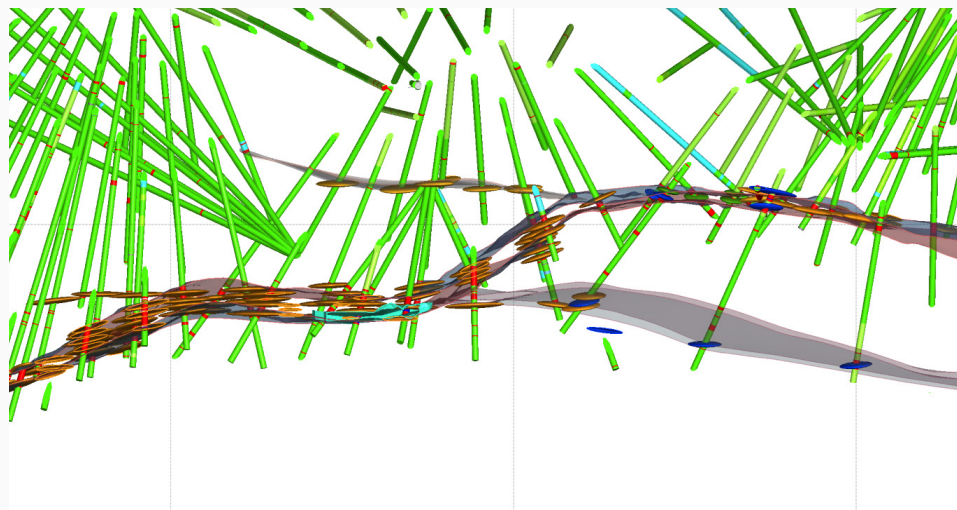


РИСУНОК 5. Эллипсоиды Driver, выделяющие ориентации основной жилы и ответвлений, полученные по набору данных разведочного бурения.

[Читать полную версию примера успешного использования →](#)



## 02 Анализ категориальной непрерывности и заверка геологических данных

SCM может применяться напрямую к категориальным данным, предоставляя мощный инструмент количественной оценки пространственных геометрических взаимосвязей в описанной информации по стволам скважин, например для групп литологических разностей или гидротермальных изменений. Разделяя данные на индикаторные классы для каждой категории, алгоритм может картировать локальную протяженность непрерывности и формировать наборы кодированных эллипсоидов, которые можно проецировать и использовать для построения моделей.

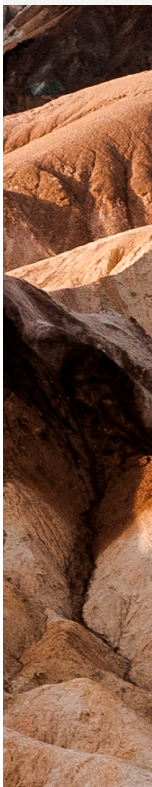
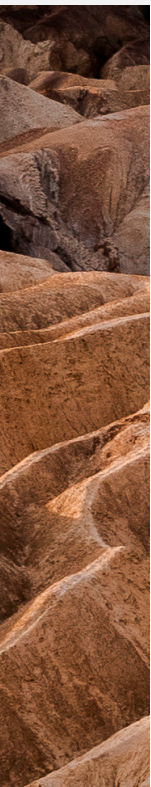
### Распутывание взаимосвязей содержаний и литологических разностей в наборе данных по орогенному месторождению

На орогенном золоторудном месторождении Сигма-Ламак (Канада) с помощью категориального анализа на основе SCM проводилось изучение связей между вмещающими породами и содержанием золота в минерализованных жилах и дайках кислого и среднего состава.

Сначала был выполнен анализ непрерывности золота для формирования базовой картины локального распределения проб с повышенными содержаниями. Затем для каждой литологической разницы был построен набор эллипсоидов, а результаты сопоставлены на визуальных срезах в Leapfrog. Этот подход позволяет напрямую сравнивать структурные взаимосвязи непрерывности между содержанием и вмещающими литологическими разностями.

Анализ показал, что распределение даек кислого и среднего состава демонстрирует сильную локальную ассоциацию с субвертикальными трендами минерализованных жил, но слабо связано с преобладающими пологопадающими минерализованными зонами.

Такое наблюдение играет важную роль в понимании геологических взаимосвязей, необходимом для надежного моделирования и доменного разграничения ресурсов. Ассоциации вмещающих пород и содержаний на месторождении Сигма сложны и демонстрируют локальные взаимосвязи объектов, зависящие от прочности пород и близости к путям минерализующих флюидов. Эти флюиды использовали дайки кислого и среднего состава как минерализованные сдвиговые жилы, а другие вмещающие породы (например, ранний диорит) — для формирования пологопадающих зон жил растяжения (Cowan, 2020).



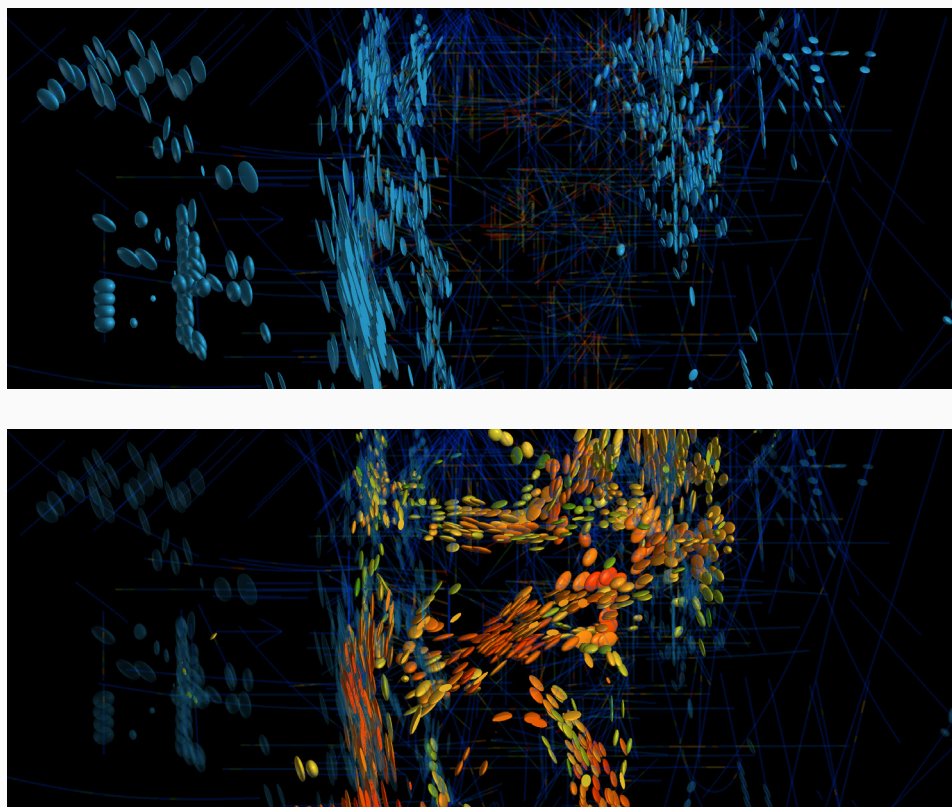


РИСУНОК 6. Анализ категориальной непрерывности с помощью Driver, примененный для интерпретации связи литологии с повышенными содержаниями золота. Структурные диски светло-голубого цвета показывают локальные ориентации даек кислого и среднего состава. Многоцветные эллипсоиды отражают повышенные содержания золота, окрашенные по уровню достоверности анализа.

## 03 Улучшенное условное моделирование

Геология редко бывает простой, и глобальные тренды зачастую не отражают сложную локальную непрерывность реальных месторождений (Stoch et al., 2022). Хотя Leapfrog предоставляет инструменты для управления локальной анизотропией, такие настройки по-прежнему приходится задавать вручную и регулярно пересматривать по мере развития модели и обновления данных.

Driver автоматизирует этот процесс, используя SCM для построения объективных, локально адаптивных ограничений непрерывности непосредственно на основе данных по скважинам. Он создает полностью проверяемое поле эллипсоидов, описывающее локальное трехосное состояние непрерывности. При этом специалисты могут просматривать, фильтровать и уточнять результаты перед их включением в модель условного моделирования.

Этот рабочий процесс реализован через инструмент формирования структурного тренда на основе трехосного объединения данных в Leapfrog. Такой тренд сохраняет полный трехмерный результат Driver, включая планарные и линейные геометрии, и используется для управления результатами интерполяции на основе радиальных базисных функций (РБФ) в Leapfrog. В итоге формируется прямой путь от количественно оцененной непрерывности к геологически правдоподобным, высокоадаптивным моделям условного моделирования.

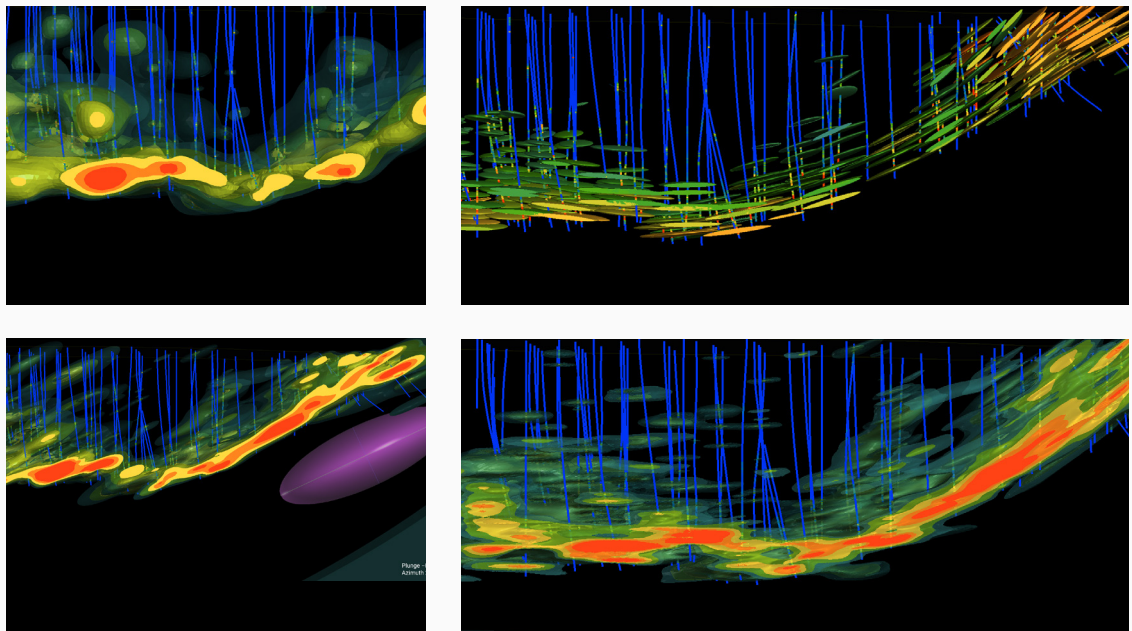



РИСУНОК 7. Рабочий процесс Driver–Leapfrog: локальные эллипсоиды из Driver используются для формирования числовых моделей условного моделирования в Leapfrog. Слева: числовые модели в Leapfrog с изотропным и глобальным трендом. Справа: локальные эллипсоиды, созданные с помощью Driver, и модель со структурным трендом, основанным на трехосном объединении данных.



## Улучшение моделей условного моделирования в компании SRK для отработанного золоторудного месторождения

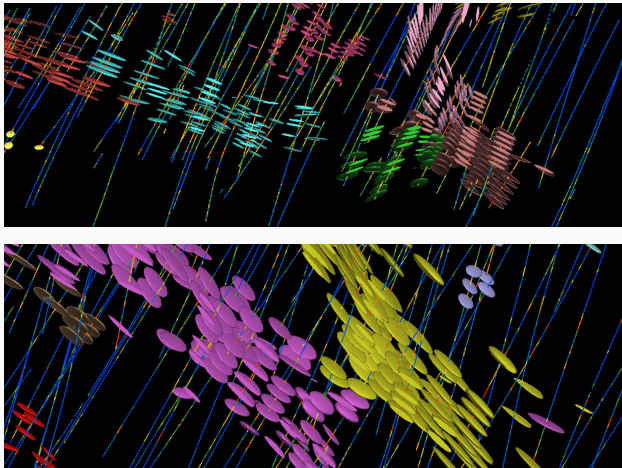
SRK Consulting применила Driver на золоторудном месторождении в зоне сдвига, где прежнее моделирование опиралось на раннюю гипотезу о тренде оруденения: предполагалось, что минерализация последовательно вытянута вдоль «глобального» простирания и падения. С учетом новых данных бурения компания SRK стремилась пересмотреть эту структурную интерпретацию и обновить модели Leapfrog для новой оценки ресурсов. Первичный анализ показал, что, хотя прежняя интерпретация приемлема в качестве начального приближения, она не отражает более сложные локальные структурные объекты месторождения, включая крупные локальные изменения падения, резкие разрывы содержаний и широкие складкообразные структуры.

С помощью Driver была проведена проверка исходной структурной гипотезы и оценка того, сможет ли более локально репрезентативная модель непрерывности применяться для нового поколения целевых доменных моделей, основанных на содержании полезного компонента. Компания SRK построила несколько экземпляров анализа на основе SCM для оценки непрерывности при различных порогах содержаний, а затем выбрала репрезентативное поле локальных эллипсоидов для передачи в Leapfrog и включения в обновленную модель.

Анализ в Driver в целом подтвердил исходную интерпретацию, но также выявил дополнительные объекты, не учтенные в первоначальной оценке. Локальные эллипсоиды указали на широкую открытую синклираль в северной части месторождения, зоны, где локальные углы падения сдвиговых структур отклонялись более чем на 10–15° от доминирующего тренда, и выраженную крутую непрерывность содержаний в предполагаемой зоне расширения добычи. Ни одна из этих характеристик ранее не была отражена в модели.

После исключения эллипсоидов с низкой достоверностью и слабой поддержкой данными компания SRK использовала оставшиеся эллипсоиды и структурный тренд Leapfrog, основанный на трехосном объединении данных, для построения индикаторных объемов с учетом содержаний. Они демонстрировали явное улучшение относительно прежней интерпретации. Поверхности, построенные с помощью Driver, оказались более структурно согласованными, локально более гибкими и лучше соответствовали геометрии, предполагаемой по данным бурения. Таким образом были четко очерчены и крутая зона непрерывности в предполагаемой области добычи, и широкая синклиналь на севере. Важно, что этот результат был достигнут за считанные минуты и при существенно меньшем объеме ручной работы, чем требовал бы традиционный подход.

[Читать полную версию примера успешного использования →](#)



**РИСУНОК 8.** Результаты SCM, окрашенные по автоматически сформированным группам кластеров, указывают на крутую структуру залегания в предполагаемом расширенном карьере (вверху) и наклонные зоны сдвига в западной части месторождения (внизу).

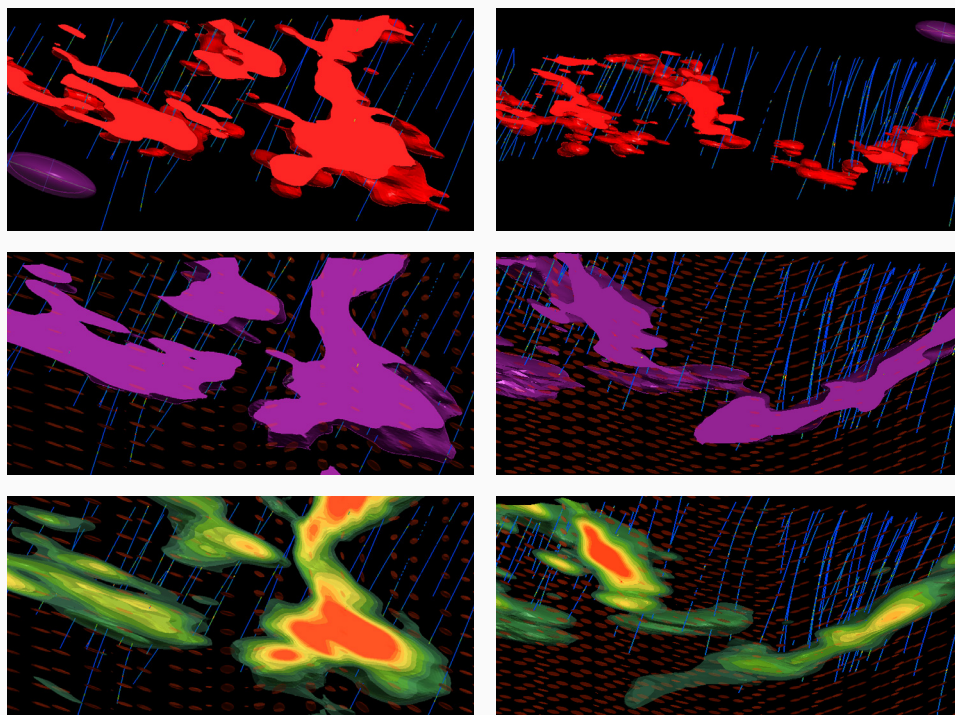


РИСУНОК 9. Сравнение моделей условных доменов и числовых моделей Leapfrog, построенных с использованием структурного тренда на основе трехосного объединения данных из Driver (фиолетовый и теплые цвета), в сопоставлении с моделью исторического глобального падения (красный цвет). Результаты демонстрируют крутопадающую локальную структуру непрерывности в предполагаемой зоне добычи (слева) и широкую открытую синклиналичную структуру (справа).

## 04 Автоматическая кластеризация эллипсоидов SCM для разграничения структурных доменов

Функция кластеризации в Driver превращает анализ непрерывности в быструю количественную отправную точку для основанной на данных интерпретации доменов, подготовки данных для моделирования и разведочного анализа.

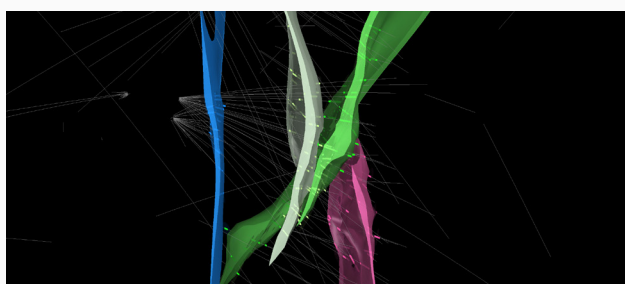
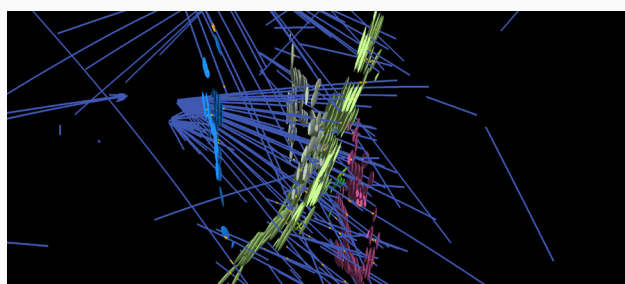
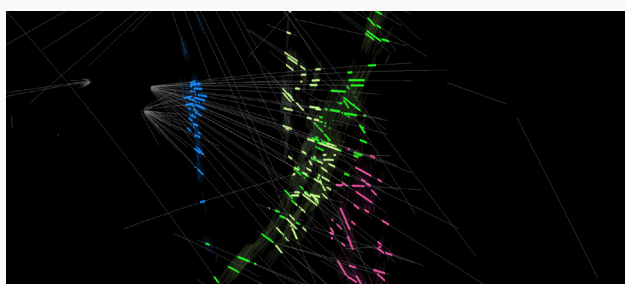
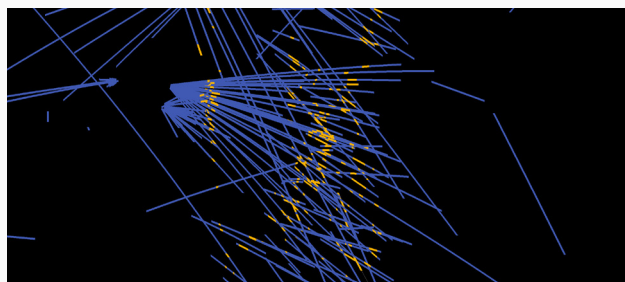
Она использует метод распространения меток в рамках полуконтролируемого машинного обучения для поиска групп проб, которые согласованы как пространственно, так и по анизотропным характеристикам. Кластеры эллипсоидов, сгенерированные с помощью SCM, можно анализировать напрямую или проецировать обратно на исходные данные бурения, чтобы быстро выбирать интервалы для отдельных жил и структурных доменов, необходимых для последующего моделирования в Leapfrog.

### Автоматическое выделение групп жил в эпитермальном золоторудном месторождении

Эпитермальные золоторудные месторождения часто содержат геометрически сложные конфигурации кварцевых жил: разветвления, ответвления, перекрещивания. Отобразить эту сложность в литологическом каротаже по стволам скважин трудно, поскольку обычно указываются лишь основные признаки (интервалы с сульфидсодержащими жилами или бесперспективными вмещающими породами).

Это создает проблему для условного моделирования: жилы все равно нужно разделять и моделировать независимо друг от друга. Традиционно это требует ручного выбора интервалов и привязки их к интерпретационным классам жил, что делает создание крупных повторных интерпретаций медленным и трудозатратным процессом.

Driver оптимизирует этот процесс, определяя жилы посредством анализа непрерывности и разбивая их на кластеры в местах, где непрерывность нарушается, смещается или прерывается. Далее эти кластеры напрямую назначаются входным интервалам бурения для автоматического построения жил в Leapfrog. В рассмотренном примере эпитермального месторождения программа Driver классифицировала более 65 000 интервалов проб в 31 независимую группу жил, из которых восемь были выбраны как основные золотоносные жилы для моделирования. Результаты оказались близки к модели, построенной вручную, при этом благодаря Driver специалисты получили быстрый альтернативный рабочий процесс моделирования жил с уверенностью, что решения по доменному разграничению опираются на доступные трехмерные данные.



**РИСУНОК 10.** Кластеризация непрерывности, примененная для разграничения жил на эпитермальном золоторудном месторождении. На первой панели показаны необработанные данные в виде зарегистрированных сульфидсодержащих жил. На второй и третьей — эллипсоиды, сгруппированные и сопоставленные с интервалами бурения. На последней панели показана модель жилы Learfrog, построенная на основе 8 выбранных кластеров, сгенерированных с помощью Driver.

## 05 Локально варьирующая анизотропия для расширенной геостатистики

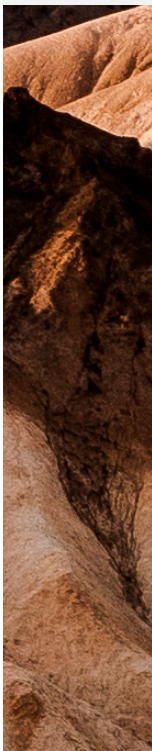
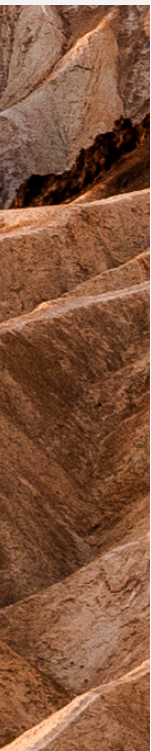
Результаты анализа непрерывности в Driver могут также использоваться в расширенной геостатистике, особенно там, где оценка опирается на локально варьирующую анизотропию (LVA). Локально меняющиеся тренды содержаний можно моделировать вручную, но это крайне трудоемко, и модели затем сложно поддерживать, особенно когда специалисты вынуждены вручную оцифровывать поверхности доменов и визуально оценивать геометрию.

Driver предлагает быстрый, основанный на данных способ оценки LVA, формируя эллипсоиды и структурную информацию непосредственно из непрерывности по данным скважины. Эти результаты можно использовать для оптимизации моделирования доменов, как независимую проверку геометрической стационарности, а также как параметры локальной ориентации для построения каркасных сеток и формообразующих интерполянтов в условном моделировании Leapfrog, которые затем управляют оценкой содержаний посредством динамических эллипсоидов.

### Быстрая оценка LVA для содержания серы в месторождении Бэббитт

Бэббитт — крупное медно-никелевое месторождение с малым содержанием полезного компонента, расположенное в Миннесоте (США). Сульфидное оруденение приурочено к габброидным породам в основании толщи, преимущественно вдоль узкой зоны, прослеживающейся вдоль плавно волнистого базального контакта с неминерализованными метаосадочными породами (Severson et al., 2002).

С помощью Driver был проведен анализ непрерывности по данным опробования по содержанию серы и сформирована серия эллипсоидов и структурных планарных дисков, отражающих тренд, контролируемый волнистой поверхностью базального контакта. Эти результаты были импортированы в Leapfrog и использованы для построения доменного объема на основе содержаний и набора формообразующих поверхностей, описывающих локальный тренд содержаний по месторождению. Далее эти поверхности были переданы в инструмент оценки динамических эллипсоидов в Leapfrog Edge и использованы для управления оценкой методом ординарного кригинга в формате, аналогичном оценке LVA. Анизотропия содержаний задавалась посредством локальной переориентации эллипсоида поиска и вариограммы, что позволило получить более точную оценку, демонстрирующую усиленную непрерывность вдоль волнистого базального контакта.



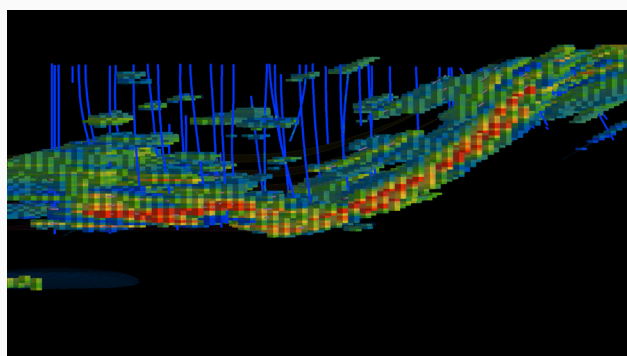
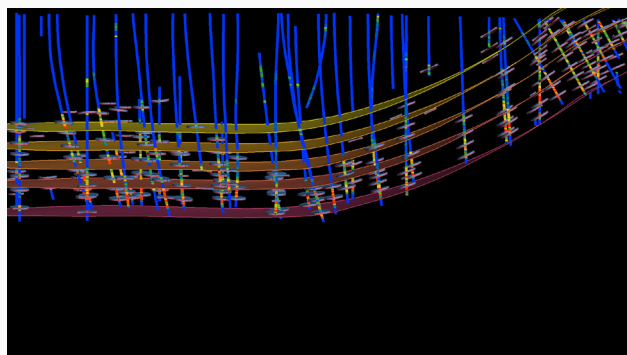
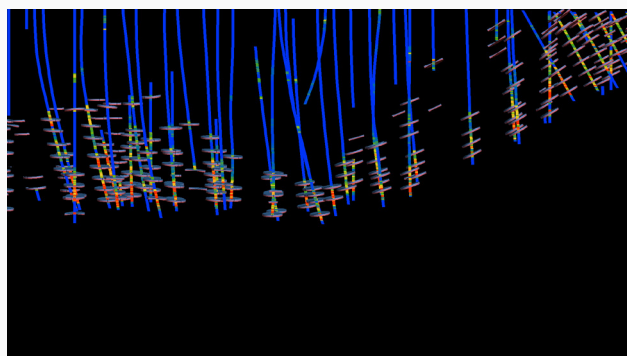


РИСУНОК 11. Оценка содержания серы в формате, аналогичном LVA, в месторождении Бэббитт. Тренды, полученные в Driver, используются как входные данные для формирующих интерполянтов, объемов доменов на основании содержаний и оценок динамических эллипсоидов.

# Заключение

Driver — это значительный шаг вперед в области извлечения и использования структурной информации при геологическом моделировании и оценке. Благодаря количественной оценке локальной геологической непрерывности непосредственно на основе данных бурения Driver позволяет получать ценную структурную информацию, которая поддерживает широкий спектр рабочих процессов, от разведочного анализа данных и построения доменов до обнаружения, неявного моделирования и оценки.

Во всех этих сценариях ценность остается неизменной: Driver преобразует структурную информацию, которую часто сложно зафиксировать и использовать, в прозрачные, проверяемые и практически применимые результаты. Упрощая количественную оценку, обновление и повторное использование структурной интерпретации, Driver помогает создавать более динамичные модели, которые теснее связаны с данными и лучше отражают локальные особенности геологии. Не менее важно, что геолог остается ключевым участником процесса. На рынке, где неизменно усиливается роль автоматизации, Driver предлагает путь, в центре которого остаются геологи и их экспертность, а технологии выступают инструментом для более быстрого, уверенного и подконтрольного построения, тестирования и уточнения моделей.

## Узнайте больше о Driver

Закажите индивидуальную демонстрацию возможностей Driver и узнайте, как внедрить этот инструмент в вашей организации.

[Узнать больше](#)

# Справочная информация

Begbie, M. J., K. B. Spörli, and J. L. Mauk. 2007. "Structural Evolution of the Golden Cross Epithermal Au-Ag Deposit, New Zealand." (Структурная эволюция эпитермального месторождения золота и серебра Голден-Кросс, Новая Зеландия). *Economic Geology*.

Cowan, E. J. 2020. "Deposit-Scale Structural Architecture of the Sigma-Lamaque Gold Deposit, Canada: Insights from a Newly Proposed 3D Method for Assessing Structural Controls from Drill Hole Data." (Структурная архитектура золоторудного месторождения Сигма-Ламак (Канада) в масштабе месторождения: выводы по новому предложенному методу трехмерной оценки структурного контроля на основе данных скважин). *Mineralium Deposita*.

Kentwell, D. J. 2019. "Destroying the Distinction Between Explicit and Implicit Geological Modelling." (Устранение различия между явным и условным геологическим моделированием).

Martin, R., D. Machuca-Mory, O. Leuangthong, and J. B. Boisvert. 2019. "Non-Stationary Geostatistical Modeling: A Case Study Comparing LVA Estimation Frameworks." (Нестационарное геостатистическое моделирование: тематическое исследование, сравнительный анализ систем оценки LVA). *Natural Resources Research*.

Reid, R. J., and E. J. Cowan. 2023. "Towards Quantifying Uncertainties in Geological Models for Mineral Resource Estimation Through Outside-In Deposit-Scale Structural Geological Analysis." (На пути к количественной оценке неопределенности в геологических моделях для оценки минеральных ресурсов с помощью структурно-геологического анализа месторождения по принципу «от общего к частному»). *Australian Journal of Earth Sciences*.

Severson, M. J., J. D. Miller, D. M. Peterson, J. C. Green, and S. A. Hauck. 2002. "Mineral Potential of the Duluth Complex and Related Intrusions." (Минеральный потенциал комплекса Дулут и связанных с ним интрузий). *Minnesota Geological Survey Report of Investigations 58: 164–200*.

Sinclair, A. J., and G. H. Blackwell. 2002. *Applied Mineral Inventory Estimation*. (Прикладная оценка запасов минеральных ресурсов). Cambridge: Cambridge University Press.

Sinclair, A. J., and M. Vallée. 1994. "Reviewing Continuity: An Essential Element of Quality Control for Deposit and Reserve Estimation." (Проверка непрерывности: важный элемент контроля качества при оценке месторождения и запасов). *Exploration and Mining Geology: 95–108*.

Stoch, B., J. Basson, J. N. Gloyn-Jones, and K. G. Lomberg. 2022. "The Influence of Variable Anisotropic Search Parameters on Implicitly-Modelled Volumes and Estimated Contained Metal in a Structurally Complex Gold Deposit." (Влияние переменных параметров анизотропного поиска на объемы, полученные методом условного моделирования, и оцененное содержание металла в структурно сложном золоторудном месторождении). *Ore Geology Reviews*.

## Познавайте недра Земли, чтобы создать лучший мир.

Seequent выводит понимание строения недр на качественно более высокий уровень и изменяет подход к операционной деятельности у предприятий и организаций.

Занимая ведущие позиции в мире на рынке программного обеспечения для моделирования недр, анализа и управления данными, а также междисциплинарного взаимодействия, Seequent находится в авангарде усилий по формированию общей картины понимания строения Земли.

Мы нанимаем в штат замечательных людей, которые сотрудничают с нашими клиентами для совместного поиска технологических решений, способных дать ответ на стоящие перед ними вызовы и обеспечить больше положительных результатов, чтобы переменить мир к лучшему.

Являясь подразделением компании Bentley по изучению недр, Seequent соединяет естественную природную среду с объектами, построенными человеком, чтобы на всех этапах реализации проектов предприятия и организации могли контролировать влияние этих проектов на окружающее пространство.

**Seequent: познавайте недра Земли.**