

## Чувствительность к слабым сигналам: науки о Земле с другой точки зрения. The sensitivity for the weak signals: geosciences from a different view point

В этой дискуссии о природе научного мышления, Paolo Dell'Aversana определяет от чего зависят процессы индукции, дедукции, и силлогизма перед тем, как заявить о том, что силлогизм – самый пренебрегаемый подход в поиске оригинальных решений к знакомым задачам.

Индуктивный и дедуктивный процессы познания наиболее часто используются в науке. Ученые наблюдают природные явления или выполняют эксперименты в лабораториях с целью найти общие законы (индукция: от частного к общему). В других обстоятельствах они применяют общие законы для получения новых следствий, для предсказания будущих событий, или для объяснения определенных результатов эксперимента (дедукция: от общего к частному). Непрерывная обратная связь между индукцией и дедукцией представляет собой тип цикла с автоматическим питанием, который каждый день производит знания.

Так называемый научный метод основан на этом действующем цикле. Гений Галилея внес значительный вклад в этот подход, который успешно применялся поколениями ученых. Успех этого метода невозможно измерить, поскольку он был единственным логическим путем к прогрессу человеческого знания. Однако, имеется другой способ мышления, который в равной мере эффективен для достижения научного прогресса и выполнения ежедневной научной работы. Его нельзя идентифицировать ни с индуктивным ни с дедуктивным процессом: этот метод называется силлогизмом.

Первый полный анализ этого подхода был выполнен 50 лет назад американским мыслителем Charles Sanders Peirce, 1839-1914. Одним из наиболее подходящих определений силлогизма – его утверждение, что *'это процесс формирования поясняющей гипотезы...'*. Силлогизм – подход, нацеленный на стимуляцию инновации и он полезен по крайней мере в двух различных обстоятельствах: когда мы не имеем никакой гипотезы, чтобы объяснить неожиданные факты или когда стандартная гипотеза не работает. Это типичная ситуация по многих сферах науки, но также и в повседневной жизни.

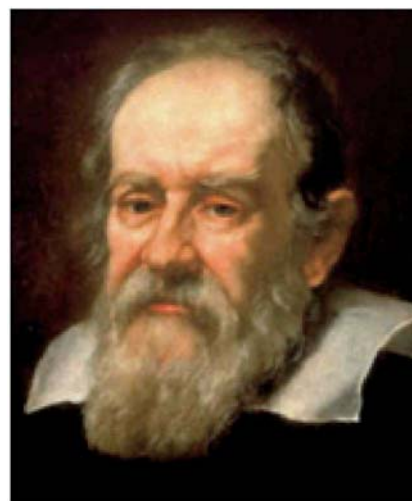
Иногда случаются события, которые не согласуются с нашими ожиданиями. Они лежат за пределами тех

мысленных рамок, которые мы построили за многие годы. В этих обстоятельствах старые правила не работают хорошо и нам нужна новая точка зрения на прогресс. Этот тип ситуации не является необычным для относительно молодых дисциплин, таких как науки о Земле. В частности силлогизм часто используется, более или менее сознательно, в геофизике. Причина этому проста: силлогизм начинается в точке наблюдения аномалии... а геофизика – наука об аномалиях.

Геофизики тратят большую часть рабочих часов в поиске аномалий с целью открытия чего-нибудь интересного, например минералов, воды, углеводородов, камер с магмой, и т.д.. В результате имеется много практических причин для ознакомления с концепцией силлогизма. Вероятно наиболее важной причиной является то, что силлогизм представляет собой фундаментальный аспект процесса инновации. Более того он является базовым этапом для новых открытий.

### Структура силлогизма

Общая структура силлогизма имеет следующий вид. Мы наблюдаем несколько событий, и среди них мы видим событие 'А', которое существенно отличается от фона наших ожиданий (*аномалия*). Мы не находим никакой стандартной гипотезы для объяснения 'А'. Мы стараемся объяснить 'А', предполагая новую гипотезу 'Н', которая отличается от любой стандартной гипотезы, предполагаемой до настоящего времени. Мы проверяем что если 'Н' было бы верно, то 'А' было бы сразу же объяснено. Итак у нас есть



Галилео Галилей.

Хорошая практическая причина подозревать, просто подозревать, что 'Н' верно.

Вышеприведенная концептуальная структура имеет несколько важных выводов. Первый, это то, что силлогизм не соответствует никакой из предыдущих теорий и он не поддерживает очевидно никакую новую теорию. Фактически консолидация (новой или старой) теории последствием длинной серии экспериментальных свидетельств – роль индуктивных заключений (*от частного к общему*). Вместо этого силлогизм концептуально связан с аномальными фактами.

Силлогизм – мощный процесс генерирования новых идей в форме новых гипотез. Но новая идея не обязательно хорошая идея. Поэтому силлогизм может не выдержать натиска более того, что может выдержать хорошая твердая теория, основанная на длинной последовательности экспериментальных результатов. Абдуктивный подход более рискованный, чем индуктивный подход. Фактически если мы предполагаем инновационную гипотезу на основе новых аномальных событий (силлогизм), мы не можем претендовать на абсолютное подтверждение его в будущем. Вместо этого, если мы пронаблюдаем много согласующихся фактов, мы можем

быть уверенными в том, что Природа раскрывает некую единую структуру: физический закон, например (индукция). Однако, конечная награда, которую дает силлогизм, может быть выше, чем конечный результат индукции: это новая идея, инновация, или смена парадигмы. В общем, индукция консолидирует теории, тогда как силлогизм может генерировать идеи.

Вторым моментом является то, что силлогизм начинается не с обычных фактов, а с аномальных событий. Это значит, что для того, чтобы найти силлогизм что-либо, нам требуется найти аномалию. Или даже лучше, нам требуется признать аномалию. Далее мы обсудим фундаментальную концепцию признания аномалий, но прежде всего надо сказать несколько слов о концепции аномалии. Среди философов науки Thomas S. Kuhn возможно был единственным, кто подчеркивал важность того, что аномальные факты стимулируют любое изменение парадигмы, не только в научной сфере, то также в искусстве, музыке и, в некоторых обстоятельствах, в повседневной жизни.

В период между 1960 и 1970 он написал (и переписал) труд *Структура научной революции* (1960 и 1970, Университет Чикаго), и фундаментальную книгу о творчестве и инновации. Он писал: 'Открытие начинается тогда, когда кто-либо осознает аномалию, признает, что Природа некоторым образом, не удовлетворяет ожиданиям стандартной науки...' Ясно, что для того, чтобы осознать аномалию, нам требуется фон ожиданий. Роль стандартной науки, т.е. набора общепризнанных теорий, представляет собой этот фон. В результате стандартная наука и



Thomas Kuhn.

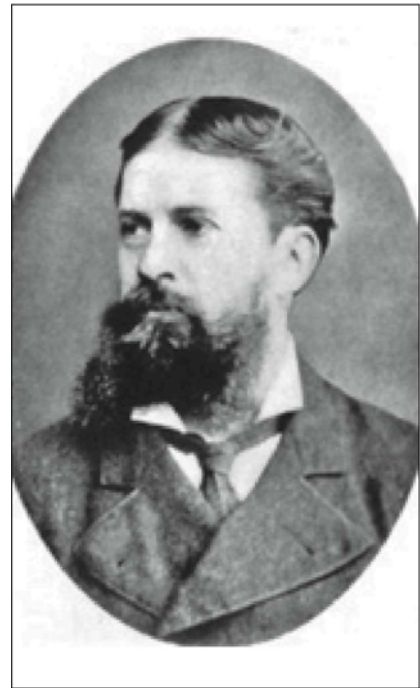
инновационные идеи работают совместно на общую цель: прогресс человеческого знания.

Стандартная наука использует индукцию и дедукцию для построения

и консолидации фона знаний, тогда как революционные идеи основаны на силлогизме, который фокусируется на аномалиях. Это очень интригующая и сложная философская концепция. Фактически консолидированные теории и революционные идеи признаются всеми как диаметрально противоположные аспекты науки. В романтической традиции гений часто описывается как тип человека, который переходит за рамки стандартных взглядов. Это не совсем так: часто гению требуется фон стандартных ожиданий для того, чтобы увидеть аномальное свечение во тьме.

Переходя на другой уровень, равно важный: геофизикам требуется правильное понимание того, что представляет собой фон для фокусировки внимания на аномалиях. Другими словами: нет фона, нет аномалий. Если пойти другим путем, каждая идея гения возникает из уплотненности мирского здравого смысла. Если обобщить, общая структура силлогизма лучшим образом синтезируется на Рисунке 1. Нетрудно проверить, что это как раз общая структура процедуры инверсии, где: 'Факты' соответствуют 'Наблюдениям', 'Взгляд' соответствует 'Модели', и 'Аномалия' (между фактами и ожиданиями) соответствует 'несовпадению' (между наблюдаемыми и предсказанными значениями).

Силлогизм просто итерация более общего процесса, который можно рассматривать полным только когда аномалия полностью оправдана в контексте обновленных границ. Этот процесс ничто иное, как то, что было названо Kuhn 'сменой парадигмы'. Конечно, это относится не только к области науки. На сегодняшний момент должно быть ясно, почему один процесс выработки силлогизма не может гарантировать успеха. Геофизики очень хорошо знают, что невероятно получить оптимальную модель только после одной итерации!



Charles Sanders Peirce.

### Силлогизм и науки о Земле

На настоящем этапе мы находимся в лучших условиях, чтобы понять важность силлогизма в науках о Земле и в частности в геофизике. Граф инверсии на Рисунке 1 является просто схематическим упрощением гораздо более общего подхода, который знаком многим людям, работающим в науках о Земле. Имеется интересное утверждение, которое кажется специально написано для геофизиков: '... Охотник был бы первым, кто может рассказать историю, поскольку он был единственным, кто умел читать, в безмолвных следах жертвы, последовательности логических событий.' (C. Ginzburg, 1979). Возможность читать безмолвные следы и трансформировать их в когерентные идеи может быть хорошим определением работы многих геологов, геофизиков, палеонтологов, и так далее. Этот подход имеет название, полученное из английского языка: интуитивная прозорливость. Интуитивная прозорливость строго связана с абдуктивным процессом особенно в науке.

История науки полна фундаментальных открытий, обязанных исследователям обладающих особой способностью улавливать слабые сигналы, малые аномалии, и безмолвные следы'. Они нашли что-то похожее на порядок точно там же, где их коллеги

не увидели ничего, кроме путаницы и нелогичной информации. Конечно, интуитивная прозорливость – общий умственный подход, который может также работать в других областях, которые отличаются от науки. Гений многих художников, писателей, поэтов, музыкантов, политиков и бизнесменов основан, по крайней мере, частично, на их незаурядная чувствительности 'видеть', или 'чувствовать', что-то, что незаметно обычным людям.

Прозорливость – просто незаурядный ментальный статус для стимуляции абдуктивного цикла. Геофизики должны понимать это ментальное условие очень хорошо. Они выискивают малые аномалии из миллиона сейсмотрасс, или они пытаются выявить слабые электромагнитные сигналы, которые едва выделяются на общем фоне. Они пытаются извлечь логичные модели из путаницы шумных наборов данных. Например, интерпретаторы-сейсмологи имеют способность пикировать когерентные горизонты, чертить разломы, видеть 'фантастические' надвиги, там, где другие увидят только путаницу. Ученые-геофизики выслеживают жертву (ловушки углеводородов, вода или скопления минералов) в поиске слабых сигналов или объединения разрозненной информации в логичные модели. Их целью является поиск 'концептуальной структуры' которая может объяснить, с геологической (или геофизической) точки зрения, много небольших аномалий. В этом смысле поведение ученого не слишком отличается от способностей охотника. И наоборот, работа многих

Ученых в области наук о Земле может быть сравнена с деятельностью детектива: они используют концептуально эквивалентные методы (силлогизм) и у них, в принципе, одна и та же конечная цель (открытие).

### Перед силлогизмом

Конечно, работа ученого в области наук о Земле также требует более 'научного' подхода, основанного на индуктивном и дедуктивном процессах. И, конечно, имеются важные отличия между ученым геофизиком и детективом, или между геологом и охотником, или между палеонтологом и художником. Ключевым отличием, например является то, что геофизик не может найти никаких 'спонтанных' сигналов на земле, как охотник. В области геофизики нет никаких жертв, которые оставляют следы. Аномалии, которые, в конечном итоге, ведут к открытию или инновационной идее, должны быть извлечены посредством длительной, часто изощренной подготовительной работы. Процедура, которая дает интерпретируемую информацию из исходных данных, обычно сложная и требует много этапов, основанных на специфичных алгоритмах, здоровой теоретической основе, способности использовать соответствующее программное обеспечение и т.д. Используя одни и те же полевые данные, разные геофизики могут дать разный результат на выходе, который можно интерпретировать разными способами. Другими словами, перед попыткой абдукции геофизику требуется получить материал из самого абдуктивного процесса.

Как мы сказали, этот материал состоит из двух основных категорий информации, в большинстве случаев: фона и аномалий. Дополнительная трудная задача состоит в разделении существенных аномалий, выбросов, и артефактов. Фактически данные неизбежно содержит шум, и сама обработка может давать 'фальшивые' сигналы. Это разделение между тем, что важно и тем, что ложно – одна из самых трудных частей работы геофизиков. Современные технологии позволяют нам иметь доступ к излишним наборам данных и невероятному количеству информации. Способность фильтрации сообщений абсолютно необходима. Для этого не существует ни особой методики, ни оптимального подхода. Однако, можно разработать несколько подходов для улучшения способности фильтрации реальных аномалий от артефактов.

Очевидно эти качества имеют дело скорее с искусством нежели с наукой. Фактически, одним является чувство формы, поскольку отклик Земли часто является вопросом формы, а не вопросом абсолютной амплитуды. Интерпретатор в сейсморазведке не анализирует амплитуду одной трассы для заданного времени пробега отражения. Он анализирует набор трасс, которые все вместе, являют собой структуру. Как охотник учится распознавать следы, оставленные различными животными, так похожим образом геофизики могут учиться распознавать форму сигналов. Например,

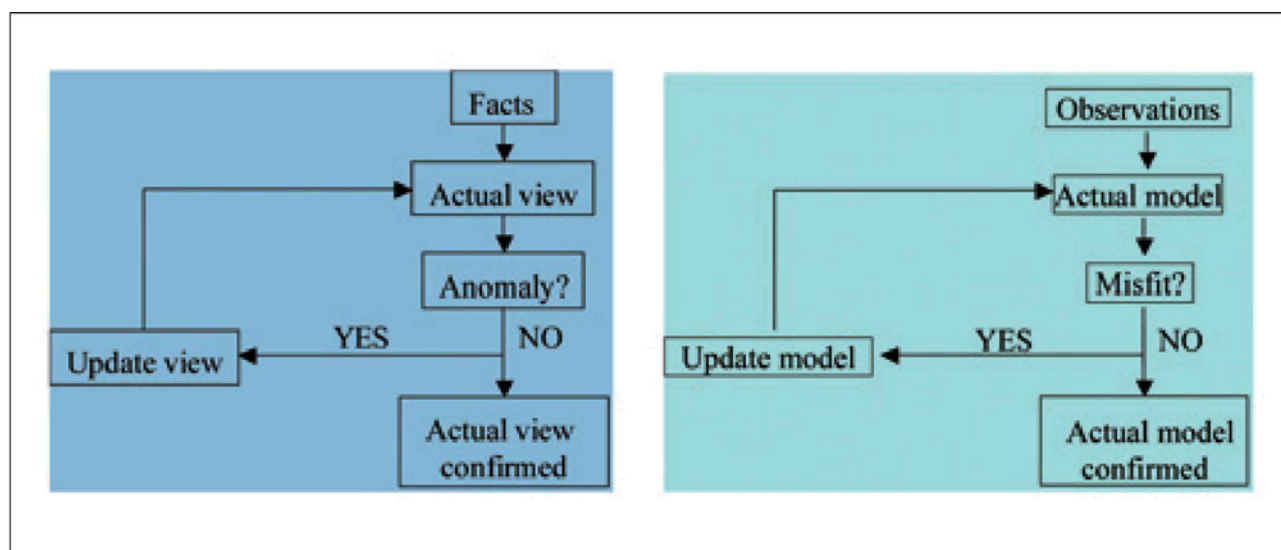


Рисунок 1 Общая схема абдукции (слева) и общая схема инверсии (справа).





Рисунок 2 Это молодая или старая женщина? Одно и то же изображение переключается с одной фигуры на другую в зависимости от детали, на которой фокусируется наше внимание.

тот, кто привык рассматривать многие тысячи сейсмограмм каждый день, должен быть способен иногда разделять артефакты и хорошие отражения, на полевых данных.

Противоположная ситуация возникает когда неопытные геофизики стараются непосредственно интерпретировать разрез сопротивлений или карту, полученную в результате обработки электромагнитных данных. Кажется, перепутать артефакт с аномалией или неправильно интерпретировать саму аномалию исключительно вероятно. Существует немецкое слово, которое выражает концепцию формы: *Чувственный образ*. М. Wetheimer, К. Koffka и Kdhler в 1920х проанализировали важность глобальной формы, которая определяет структуру нашего первичного процесса восприятия. Они поняли, что собственное восприятие не независимо от высокого уровня процесса познания: мы видим то, что мы ожидаем увидеть; мы улавливаем форму как глобальную информацию в зависимости от контекста, на основе нашего предыдущего опыта, нашей культуры, наших ожиданий, нашей точки зрения, и так далее (Рисунок 2). Эти концепции были разработаны и объединены в рамках новой психологической парадигмы, называемой 'теория чувственных образов'.

Эти теории очень близки ко многим аспектам наук о Земле: не так трудно проверить, что сейсмическая интерпретация, обработка сигнала, электромагнитная инверсия, моделирование гравитации, стратиграфическая корреляция все по сути

являются вопросами чувственного образа. В общем, смысл формы и распознавания образа строились за годы опыта, здравый технический фон, восприятие контекста, и так далее, все являются фундаментальными необходимостями для различия полезных и ложных сигналов. Процесс 'построения аномалии' из исходных данных, решение о том, что является фоном и что аномалией, совместно с усилиями, затрачиваемыми на дискриминацию между аномалиями, выбросами, и артефактами, - подготовительная работа, которая предшествует, не только в науках о Земле, самой абдукции. По этой причине мы называем этот процесс пре-абдукцией.

Пре-абдукция может быть спонтанным процессом, но особенно в сложной области, подготовительная работа для выявления аномалий должна быть основана на точных методиках. Например, в науках о Земле, уместное представление всей доступной информации представляет собой первый этап для правильной идентификации истинных аномалий и для выделения значащих сигналов из шума и артефактов.

Более обобщенно, представление является первичным мыслительным процессом познания. Правильное отношение к представлению является не только техническим вопросом, он также включает эстетическое чувство к структурам и распознаванию образов. Возможно, что дух артистизма имеет дополнительные шансы 'почувствовать' некоторые интересные сигналы, скрытые на фоне и признать значимые аномалии. Это как раз случай чемпиона человеческого мышления, такого как Леонардо да Винчи, который был одновременно гением науки, технологии и искусства.

Reitse сообщал, что абдукция – фундаментальна, не просто стимулятор новых идей. Она представляет что-то основное в нашем базисном мыслительном процессе, включая восприятие. Можно доказать, что пре-абдукция в равной степени важна. По уже упомянутым причинам, возможно что науки о Земле дают привилегированную точку зрения для анализа, в макро-шкале, основу нашего процесса познания. Они могут

также внести вклад в изучение наших структур познания. Например, помимо пре-абдукции и абдукции, аналогия и корреляция являются основным мыслительным подходом в науках о Земле.

Более того, к мышлению по аналогиям часто обращаются в явном виде, например ассоциации обнажений, стратиграфические комплексы, геофизические взаимные корреляции, геостатистический анализ и т.д.; это означает, что иногда можно анализировать процесс образования аналогий, изучая в деталях важные аспекты фигуральной мысли напрямую на реальных примерах.

## Абдукция и управление

Дополнительным важным приложением абдукции является поле 'решения задач' и принятия решений. Не редко менеджер обязан принять решение за короткое время по важному вопросу без какой-либо дополнительной информации для балансировки решения. В таких обстоятельствах он/она должен принять решение на основе слабых сигналов. Человеку требуется стимулировать цикл абдукции. В других случаях менеджер может приобрести конкурентоспособность, если он/она готов уловить маленькие аномалии, которые могут предшествовать важному событию. Примером является то, когда управление нефтяной компанией должно решить должны ли осуществляться будущие инвестиции в некую новую технологию или новую неисследованную область и т.д.

Также в этих случаях абдукция может быть наиболее подходящим подходом. Мы сказали, что фундаментальное свойство процесса абдукции, когда природный риск связан с каждой инновационной гипотезой. Но мы также сказали, что одна абдукция может рассматриваться как одна итерация более сложного цикла (смотрите иллюстрации). Если этот процесс само-питания превращается в бесконечный цикл, это значит, что аномалии остаются и аномалиями и сама абдукция не удастся.

Однако если цикл приходит к конечному решению, которым можно объяснить начальную аномалию, результатом этого может быть открытие, инновационная идея, новая теория, смена парадигмы. Менеджеры должны

позволить неточности с только что описанным подходом, принимая риск и имея необходимое терпение и ждать, по крайней мере, несколько итераций цикла абдукции, перед тем как отвергнуть любую нестандартную гипотезу. К сожалению, многие решения в индустрии принимаются без этого. Особенно в нефтегазовой отрасли, руководство считает, по крайней мере, во многих случаях, что хороших результатов можно добиться за короткое время, просто потому, что никто не хочет разочаровывать акционеров слишком долго.

Эту рассудительность можно понять, но последствием любого консервативного подхода является то, что хорошие идеи или хорошие пласты, или хорошие технологии могут быть оставлены слишком рано. Можно привести много примеров из области геофизики и геологии,

но это, в конце концов, может стать темой отдельной статьи. Здесь мы хотим просто подчеркнуть важность общего подхода, основанного на интуитивной прозорливости. Ученые в области наук о Земле и их руководители должны развить как можно больше чувствительности к слабым сигналам если они хотят прочитать в безмолвных следах жертвы последовательность логичных событий.

#### Предлагаемая литература

Burks, A.W. (Ed.) [1958] *Collected Papers of Charles Sanders Peirce, Vols 7-8*. Harvard University Press, Cambridge, MA, USA. (Cited as CP).  
Hartshorne, C. and Weiss, P. (Eds.)

[1931-35] *Collected Papers of Charles Sanders Peirce, Vols 1-6*. Harvard University Press, Cambridge, MA, USA. (Cited as CP).

Houser, N and Kloesel, C. (Eds.) [1992] *The Essential Peirce, Selected Philosophical Writings, Volume 1 (1867-1893)*. Indiana University Press, Bloomington and Indianapolis, USA. (Cited as EP 1).

Kuhn, T.S. [1962] *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press, Chicago, USA. Peirce Edition Project (Eds.) [1981] *Writings of Charles S. Peirce, A Chronological Edition*. Indiana University Press, Bloomington and Indianapolis, USA. (Cited as CE).