

МОДЕЛЬ ЛЕДНИКА КАК ИДЕАЛЬНЫЙ ОБЪЕКТ ТЕОРИИ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В.Ю. Забродин
Институт тектоники и геофизики ДВО РАН, Хабаровск

В 70–80-е гг. динамические системы (в понимании Ю.А. Косыгина и В.А. Соловьева, 1969) интенсивно исследовались и в большинстве случаев считались кибернетическими, что для неживой природы методологически неточно. Главная их особенность – такие системы *в принципе* доступны непрерывному наблюдению в сравнительно (с человеческой жизнью) небольшие временные интервалы. Вопрос в том – *действительно ли* непрерывному? Ведь самое главное в исследовании развивающихся (или движущихся) систем – это отождествление объекта с самим собой в разные моменты времени. Особенно это сказывается, если объект в процессе эволюции (или просто в динамике) приобретает разные формы (полиморфизм динамической системы). С.В. Мейен показал, что реально мы почти никогда не можем вести непрерывное наблюдение меняющейся системы – в процессе исследования мы связываем различные статические состояния объекта в непрерывную эволюционную последовательность, основываясь на принципе процессуальных реконструкций («принцип Бергсона»).

А.М. Боровиков, В.И. Громин и В.Ю. Забродин (1985) предложили три модели (в качестве кандидатов на роль «идеального объекта» в теории динамических систем), которым присуще явление саморегуляции процесса: «лавина» – модель самоусиливающегося процесса с положительной обратной связью; «изостазия» – модель самокомпенсирующегося процесса (самоуравновешивающиеся, или авторегулирующиеся, системы) с отрицательной обратной связью; «гейзер» – модель автоколебательного процесса в самом обобщенном смысле. Включает отрицательную обратную связь с некоторым запаздыванием (инерцией), что влечет перекомпенсацию отклонений. Из-за этого возникают отклонения обратного знака, которые вновь компенсируются той же или другой обратной связью; инерция связей снова приводит к перекомпенсации, и т.д. Поскольку положительные и отрицательные отклонения сменяют друг друга, происходит автоколебание. Существуют импульсные автоколебательные системы, в которых самоуправление производится поочередно положительной и отрицательной обратными связями; можно считать, что в таких системах действует еще одна отрицательная дискретная обратная связь, но более высокого ранга, которая управляет первыми двумя связями, а не самим процессом. В модели им-

пульсной автоколебательной системы поочередно реализуются модели «лавинного» и «изостатического» типов. Эта модель теоретически и экспериментально исследована на примере импульсного осадконакопления А.В. Лукьяновым, который отметил, что попытки обнаружить собственные колебания в геологических процессах и выяснить их причину встречаются не так уж часто. Наибольший интерес для системно-теоретического анализа представляют наблюдения над природным объектом – ледником.

Ледник, существующий в нормальных условиях (отсутствуют прогрессирующее потепление, когда ледник тает и постепенно исчезает, и прогрессирующее похолодание, когда он растет), представляет собой импульсную автоколебательную систему. Геологи далеко не всегда учитывают тот факт, что ледник – горнопородное, довольно специфическое тело. Оно сложено мономинеральной горной породой – льдом. Такое тело чрезвычайно удобно для анализа динамических систем, т.к. практически все процессы его образования, формирования структуры и формы, эволюции, усложнения, разрушения, перехода в иные формы существования доступны действительно *непрерывному* натурному наблюдению, в том числе и с использованием различных приборов (т.е. здесь не требуется осуществлять процессуальные реконструкции).

Формирование ледника как горнопородного тела начинается с конденсации водяного пара в атмосфере. Капельки воды замерзают и превращаются в снежинки, которые опускаются на поверхность. Снег, уплотняясь, превращается в фирн, а затем в собственно ледниковый лед. Весь этот процесс совершенно аналогичен формированию тела, положим, известняка или кремнистой породы (выпадение осадка из раствора – литификация – катагенез). Если считать, что капелька воды сконденсировалась не сама по себе, а на какой-либо примесной частице в атмосфере, процесс формирования ледника может рассматриваться и как аналог процесса формирования терригенной породы в водоеме. Выпадение на поверхность ледника не снега, а дождя вызывает частичное растворение и смерзание кристалликов льда, – это явный аналог процесса формирования в осадочной породе карбонатного или кремнистого цемента. Кроме того, ледники зачастую питаются за счет лавин (аналог импульсной седиментации). В теле ледника лед претерпевает метаморфизм (метаморфические преобразования в леднике описаны В.Т. Лукьяновой, А.В. Лукьяновым, 1987). Движение ледника – это два разных процесса: вязкопластичное течение и глыбовое скольжение (в последнем случае ледник движется как твердое тело). Таким образом, движение ледника может рассматриваться как динамическая модель двух типов

движения геологических тел иного состава: как вязкопластичное течение геологических тел, твердых в статическом состоянии (очень медленный процесс – ползучесть, проявляющийся лишь в масштабах «геологического времени» или под нагрузкой), и как движение нормальных твердых тел (скольжение тела как целого, аналог поддвиго- и надвигообразования). Под воздействием внешних и внутренних причин от языка ледника могут отламываться глыбы и, при определенных условиях, захороняться в осадках иного состава (модель образования олистостромы). В теле ледника в процессе движения возникают наложенные структуры – дизъюнктивные и пликативные.

Ледник можно представить как совокупность элементов, объединенных обратными связями. Это бесконечная совокупность статических систем (мгновенных срезов), которые плавно, через трансформацию структуры, перетекают друг в друга: ледник испытывает непрерывную смену полиморфических модификаций. Этот полиморфизм – неизомерийный (т.к. лед – мономинеральная порода). В полиминеральных же породах, очевидно, будет проявляться изомерийный и изомерийно-неизомерийный полиморфизм.

Ледник как динамическая система аналогичен как минимум еще одной системе осадочных пород – кварцевым песчаникам. Таким образом, мы получили систему объектов-систем того же самого рода; дальнейшая задача – поиск других подобных систем. Поскольку между системами одного и того же рода возможны изоморфные соответствия, исследование наиболее доступной из них позволяет переносить знания о ее свойствах на все другие объекты.

Вышеизложенное представляет собой формулировку проблемы (позиция методолога). Задача геолога-теоретика – придать модели такой вид (упростить ее), чтобы можно было построить методологически корректную теорию динамических систем.