О трёхмерной игре «жизнь»

Виктор Владимирович Славутинский ©

Введение

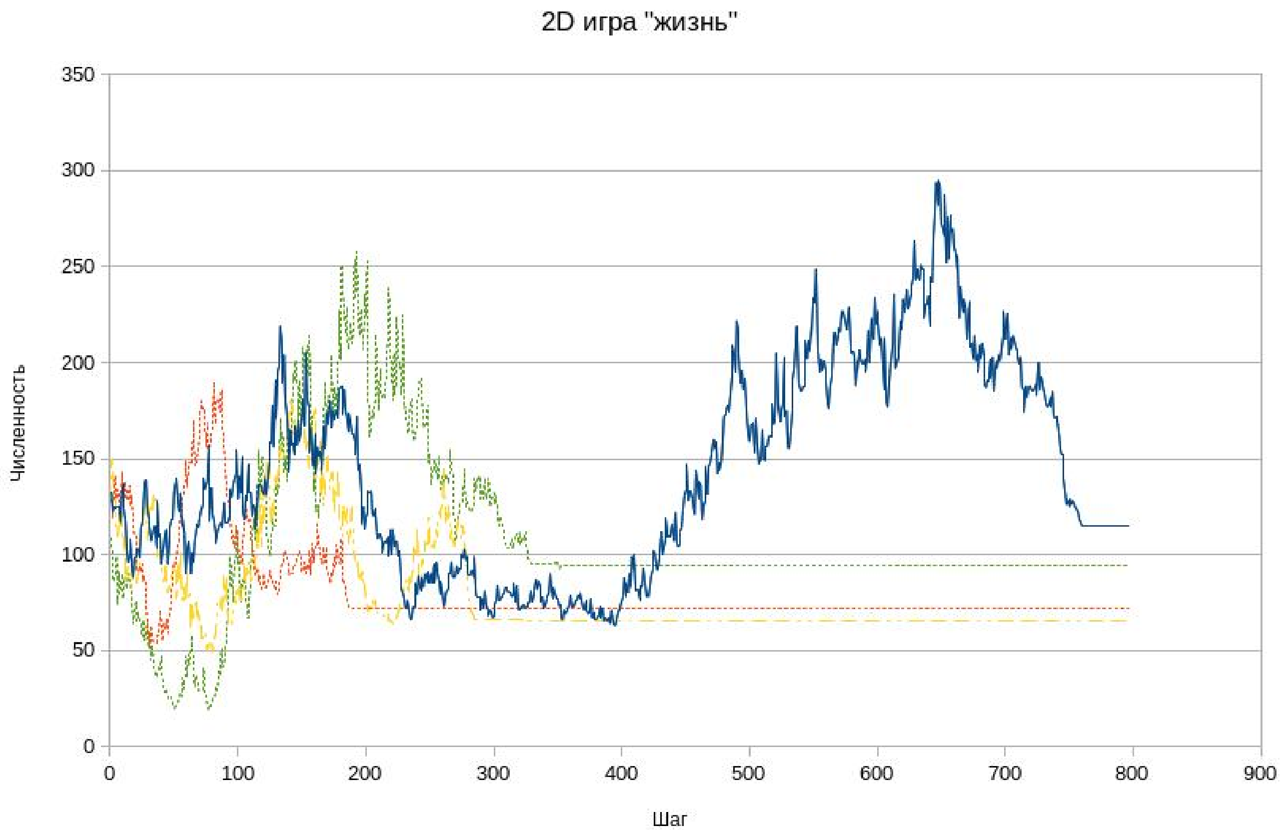
Есть такая, придуманная математиком Конуэем, уважаемая людьми соответствующего склада ума, игра «жизнь». На клетчатую доску выставляются фишки в ту или иную конфигурацию, а после этого следующий шаг игры считается так, что если у фишки меньше двух «соседей» — фишек в соседних клетках — или их больше трёх, то она убирается; если же у пустой клетки «соседей» ровно три, то в неё ставится ещё одна фишка.

Результаты достаточно разнообразны — начальная «затравка» может развиться в большую и долго «живущую» конфигурацию, а большая конфигурация вдруг схлопнуться быстро. Более того, возможны «летящие», движущиеся последовательно в разные стороны, «самолёты», «пушки», генераторы, которые их регулярно «выстреливают», и так далее.

Доказано, что в рамках такой игры реализуется машина Тьюринга; этих простецких правил достаточно, чтобы собрать вычислительную машину, считающую что угодно — есть субъекты, которые действительно это сделали. Посредством гораздо больших вычислительных машин, конечно.

Типичная история развития конфигурации плоской «жизни» в смысле численности выглядит приблизительно так, как на приведённом ниже графике. В примере в центр поля сто на сто бросалась случайная конфигурация размером двадцать на двадцать, из фишек выставленных с вероятностью один к двум.

График 1. Пример изменений численности конфигурации двухмерной «жизни» от шага.



Легко заметить «синусоиду», достаточно «зашумлённую»; кроме того, иногда до статичной конфигурации, остающейся той же на следующем шаге, проходит двести шагов, а иной раз восемьсот — плоскую «жизнь» интересно созерцать, потому, что её динамика с одной стороны «музыкальна», а с другой мало предсказуема.

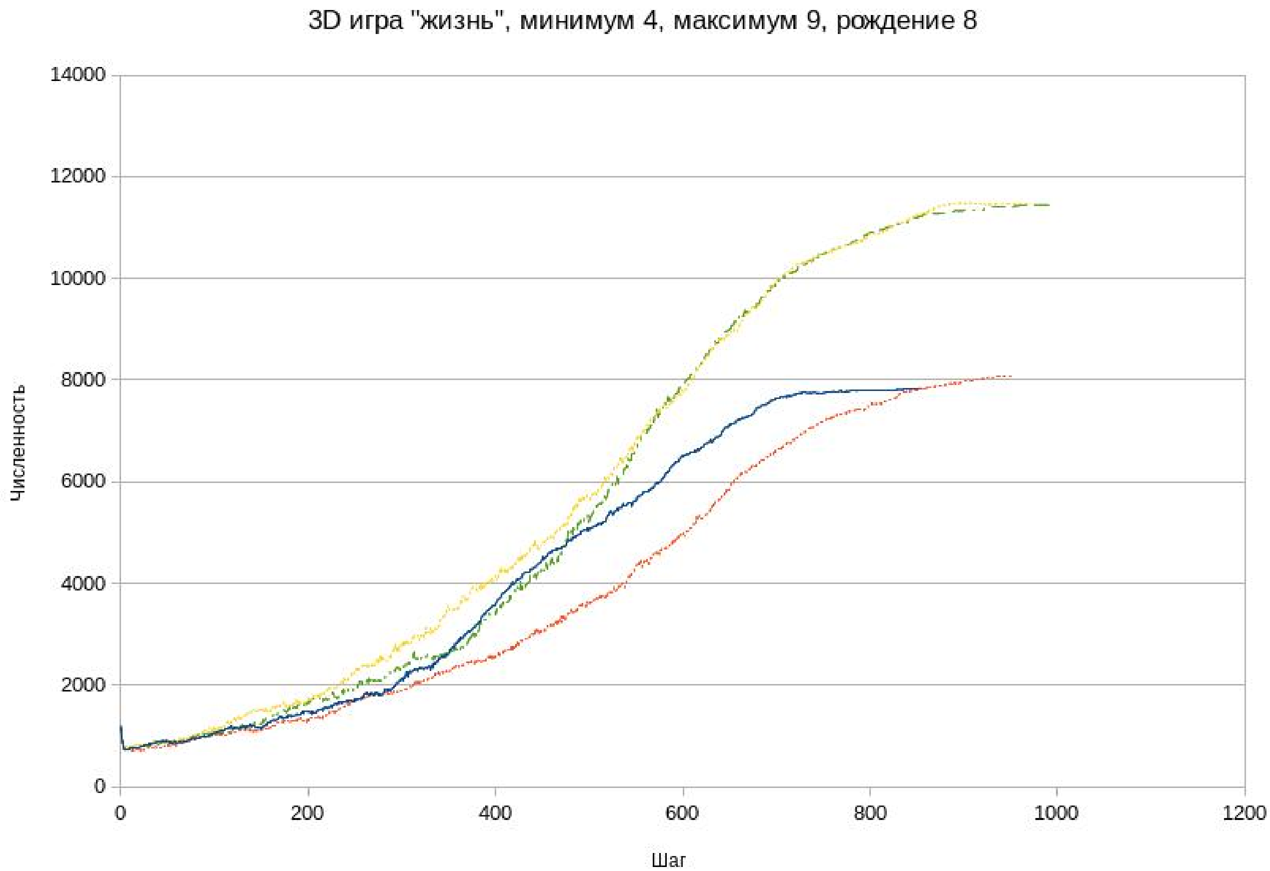
В своё время, ещё в прошлом веке, я попробовал создать такую же игру для пространства.

И с удивлением обнаружил, что подобрать числа правил по соседям, чтобы так же причудливо могло из пустячка вдруг разрастаться что-то большое, а большое вдруг сдуваться, выходит мало. Мало выходит то, что одни считают игрой, а другие жизнью — конечное развитие, в котором есть вступление, разработка, кода.

В том числе и когда оба условия шире, «от n до m соседей». Либо получалось быстрое угасание, либо, наоборот, быстро занимало весь объём. Максимум, чего я тогда достиг — нашёл условия, с которыми конструкция, приблизительно сохраняя исходный размер, достаточно долго «перекладывалась».

Помнится, написал программу перебравшую все простые варианты, и подтвердившую, что нет правил, с которыми промежуточная численность заметно больше и начальной, и конечной. Вот одно из условий, найденных тогда.

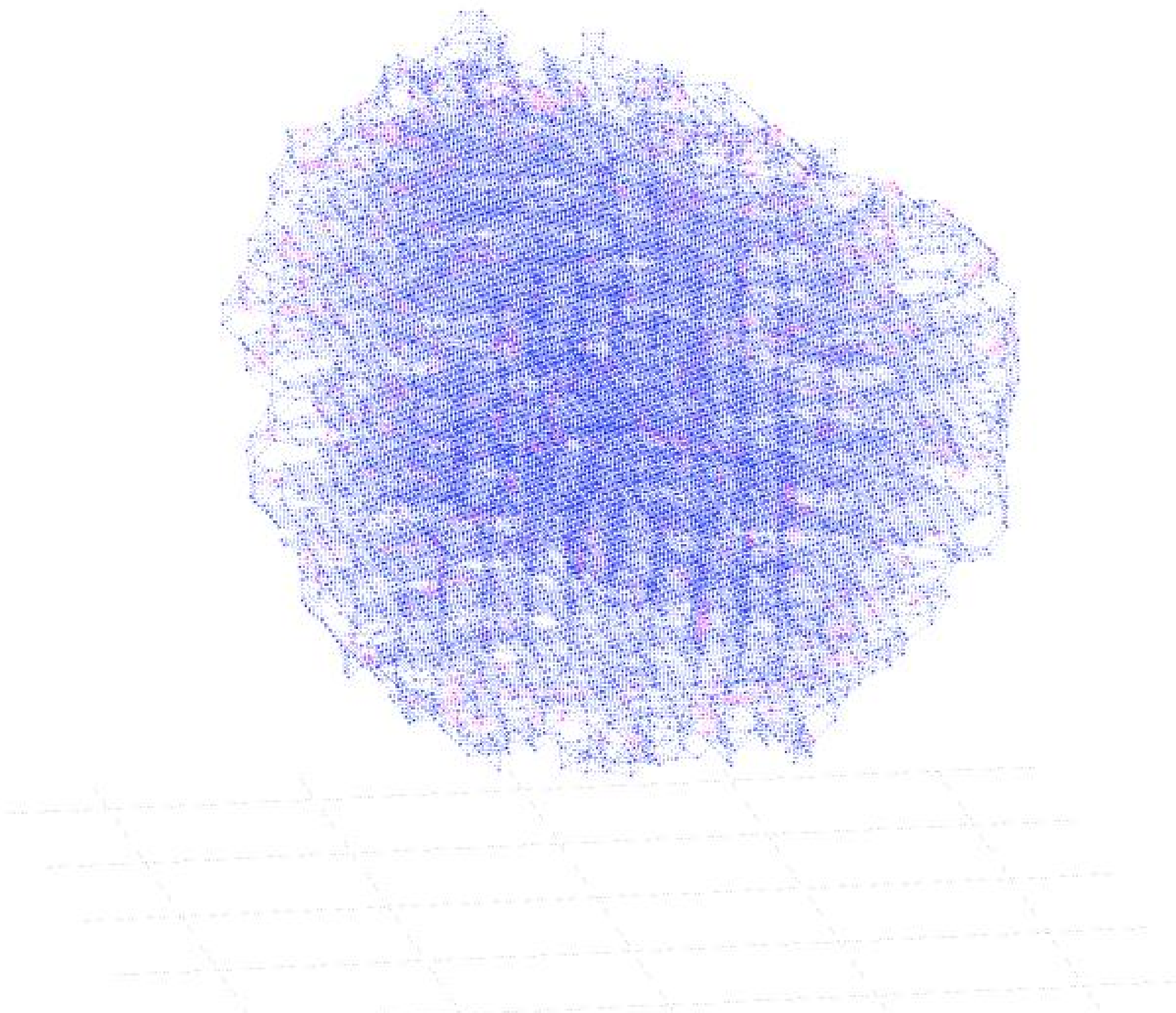
График 2. Пример изменений численности конструкции трёхмерной «жизни» от шага, правило: соседей от 4 до 9, рождение 8.



С ним случайно созданная конструкция планомерно разворачивается, выходит на какую-то свою, определённую закономерностями среды и начальными условиями, полку объёма, и останавливается на ней. Без всякой драмы и синусоиды.

Результат выглядит, к примеру, так. Исходный кубик с ребром двадцать ячеек, с вероятностью заполнения каждой ячейки в одну вторую, перекладывается в такое облачко за порядка восьмисот шагов. Цвета на графике означают разную плотность, и зависят от количества соседей.

График 3. Трёхмерная «жизнь», правила: соседей от 4 до 9, рождение 8. Результирующая конструкция.



Философски, тогдашний вывод был, что в пространстве либо жизнь есть почти везде, либо её почти нигде в нём нет; присутствует жизнь, возможно, но нет игры, нет колебаний между «хорошо» и «плохо».

Придя к такому выводу, тогда, в 1999м, перешёл к изучению «жизни» с фишками двух цветов на плоскости. Там получились довольно интересные результаты.

В «двойной плоской жизни» можно выставить такие правила, что разные её «виды» это «враги», или у них «симбиоз», или один другому одновременно и враг, и животворящий источник. Или, скажем, один другому источник, а сам от соседства страдает. С предсказуемыми, конечно, производными — либо слипаются в одно целое, либо возникает пустая буферная зона, либо в ней идёт бурлёж, либо остаётся только один, а второй исчезает полностью.

Между тем, по сути получилось практически то же самое, что в оригинальной игре. Только цветов два, а суть та же. Вероятно, можно и на таком материале плоскую машину Тьюринга собрать; тогда мне это было довольно занятно, сейчас повторять эту часть исследования скучно.

Между тем, поскольку мощность вычислительной техники за прошедшее время возросла, интересно посмотреть, нет ли какого-то упущенного мной «Грааля», условий, с которыми объёмная жизнь имеет динамику плоской.

Вариант «3D+», «дом»

Заметные осцилляции в двухмерном варианте, понятно, вызывает то, что вообще соседних клеток относительно мало — система больше «зависит от погрешностей» на более грубом «шаге квантования».

В объёме в три раза больше соседних ячеек, в частности ячеек разделяющих/объединяющих две через одну. Изменения оказываются самосогласованными в три раза сильнее, значит в три раза менее хаотичными, чем на плоскости — потому «зашумлённости» много меньше.

Решить эту проблему можно, наверное, сократив число считаемых соседей. К примеру, отказом от подсчёта углов, сведением до креста «3D+» — только верх, низ, право, лево, и вперёд-назад. Шесть это почти то же самое, что восемь.

Для поиска требуемых правил я снова написал программку, которая посчитала развитие случайно созданной конструкции при всех мыслимых их вариантах. На случай, если кто-то захочет повторить мой опыт, кратко расскажу о ней.

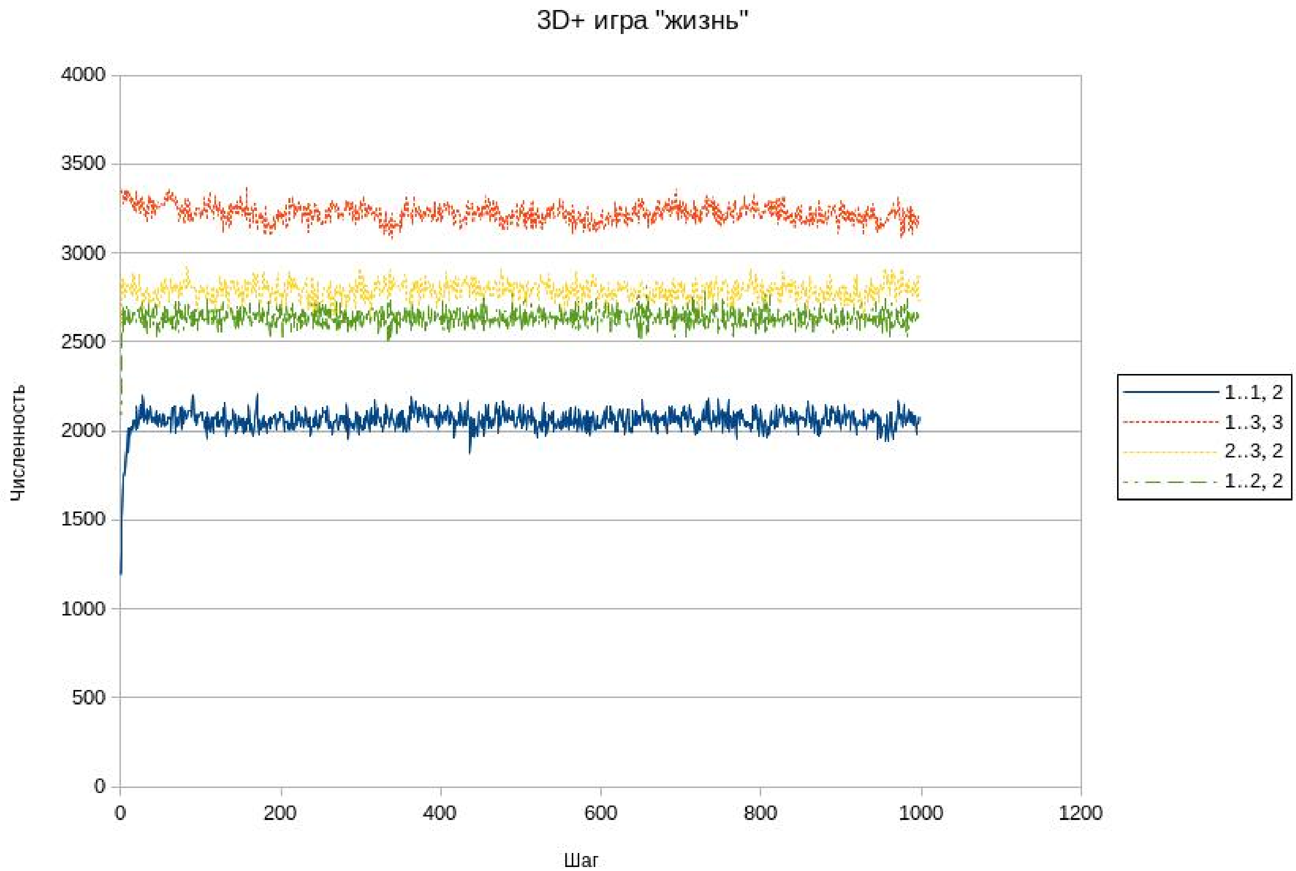
Во-первых, для сокращения времени подсчёта, на каждом цикле сначала находился «кирпич», минимальный объём в котором точно что-то есть. Подсчёт производился только в нём и для примыкающего к нему единичного объёма, что, поскольку конструкция занимает только часть доступного пространства, вычисления обычно ускоряет на порядок, а то и два. Эту идею, помнится, мне подсказали ещё двадцать лет назад.

Во-вторых, поскольку процесс поиска условий всё равно достаточно долог, он останавливался если численность в четыре раза превышала исходную, заведомо довольно «плотной» конструкции — «ряд расходится»; то же самое если после определённого периода начальной стабилизации был заметен последовательный рост численности выше того же предела в четыре раза; или на протяжении шестидесяти четырёх шагов наблюдался один и тот же циклично повторяемый паттерн численности, в том числе статичный, или нулевой, «ряд сходится». И, понятно, заранее было задано предельно возможное количество итераций.

Оставив из найденных только правила дававшие «продолжительность жизни» больше ста шагов — они уложились в линейную «генеральную последовательность» — я вручную нашёл те, в которых колебания численности были максимальны, минимум и максимум «популяции» на установившемся режиме в наибольшей степени отличались от её средней численности.

Результат поиска приведён на графике.

График 4. Изменения численности конструкций трёхмерной «жизни+» от шага, в зависимости от правил.

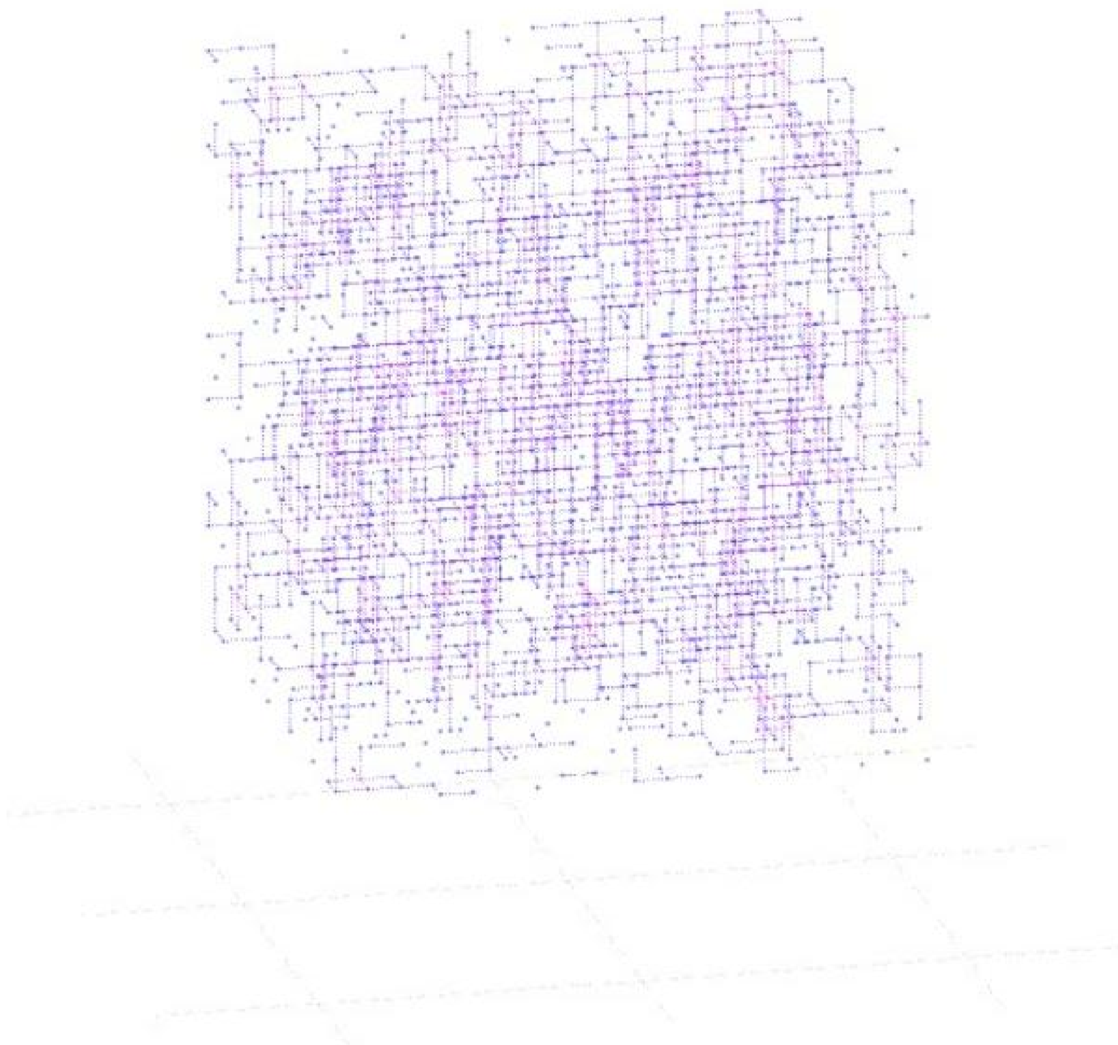


Во всех достаточно устойчивых для изучения правилах изменения происходили в рамках изначально заданного «кубиком» объёма — легко понять, почему.

Чтобы за «стенкой» заполненных ячеек что-то возникло, число соседей рождения в такой разновидности игры должно быть равным единице. Но с таким условием всё доступное пространство заполняется. А если для рождения нужен «уголок», то заполняется, в самом лучшем случае, всё в пределах начального кубика.

На графике — пример результата найденных правил.

График 5. Трёхмерная «жизнь+», правило: соседей от 2 до 3, рождение 3. Результирующая конструкция.



Во всех четырёх найденных стабильных условиях «жизни 3D+» получаются такие «перемигивающиеся кубики»; остальные варианты либо гарантированно сходятся, либо расходятся, и большинство из них быстро.

Она, выходит, что-то типа модели жизни в многоэтажном доме, в котором то в одной комнате свет горит, то в другой. Кому-то, возможно, такое может показаться привлекательным, но в целом приходится признать, что уму и сердцу созерцание такой «жизни» мало что даёт.

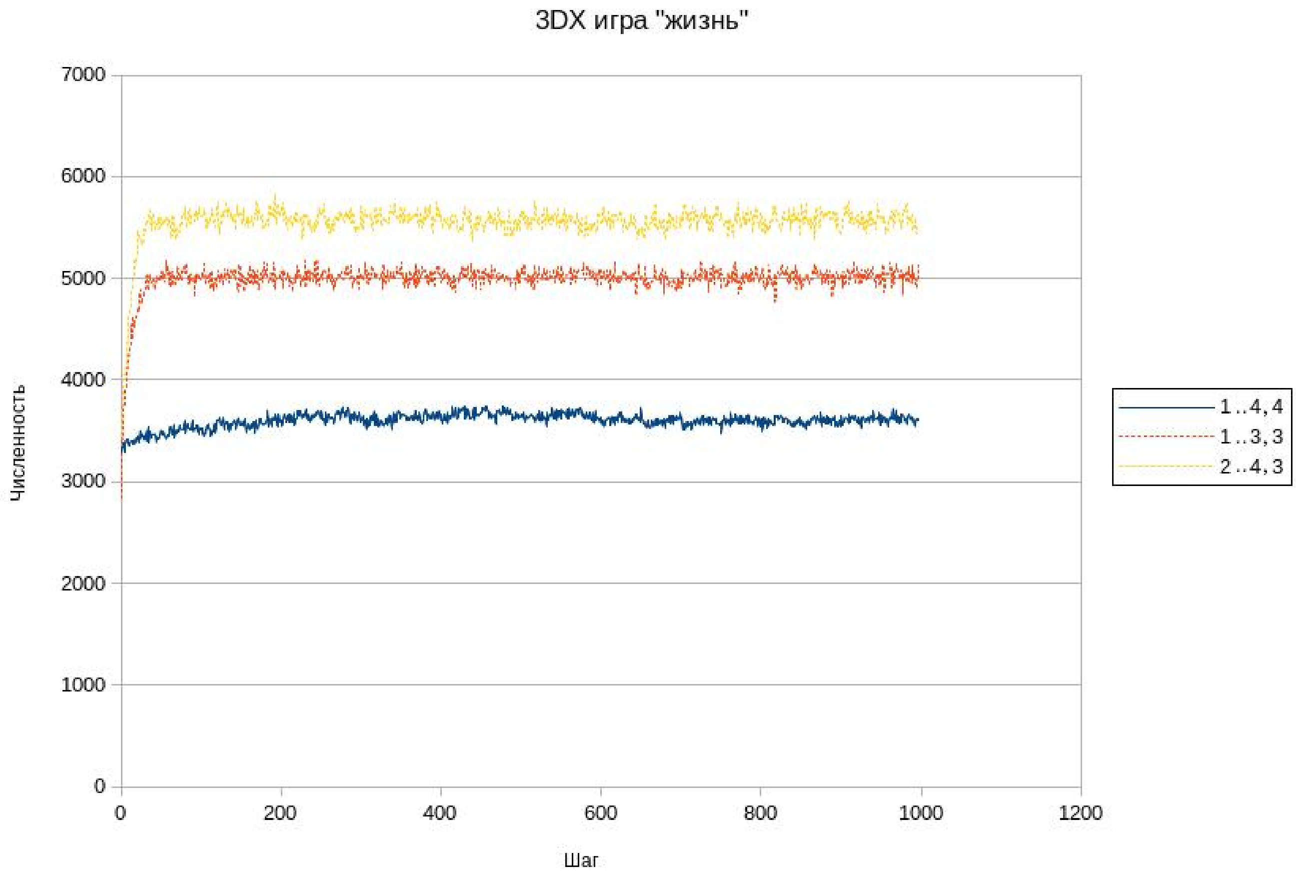
Вариант «3DX», «кристалл»

Хорошо, а если считать только соседей по углам? Их как раз восемь, ровно как на плоскости.

В начале поиска показалось, что в этом варианте «генеральной последовательности» нет, а есть какие-то отдельные её кусочки, в том числе и в больших числах; при их изучении стало ясно, что на больших числах высокая продолжительность «жизни» обеспечивается колебаниями апериодическими, по крайней мере достаточно больших периодов чтобы они обходили проверку, но слишком малой силы для создания визуального интереса.

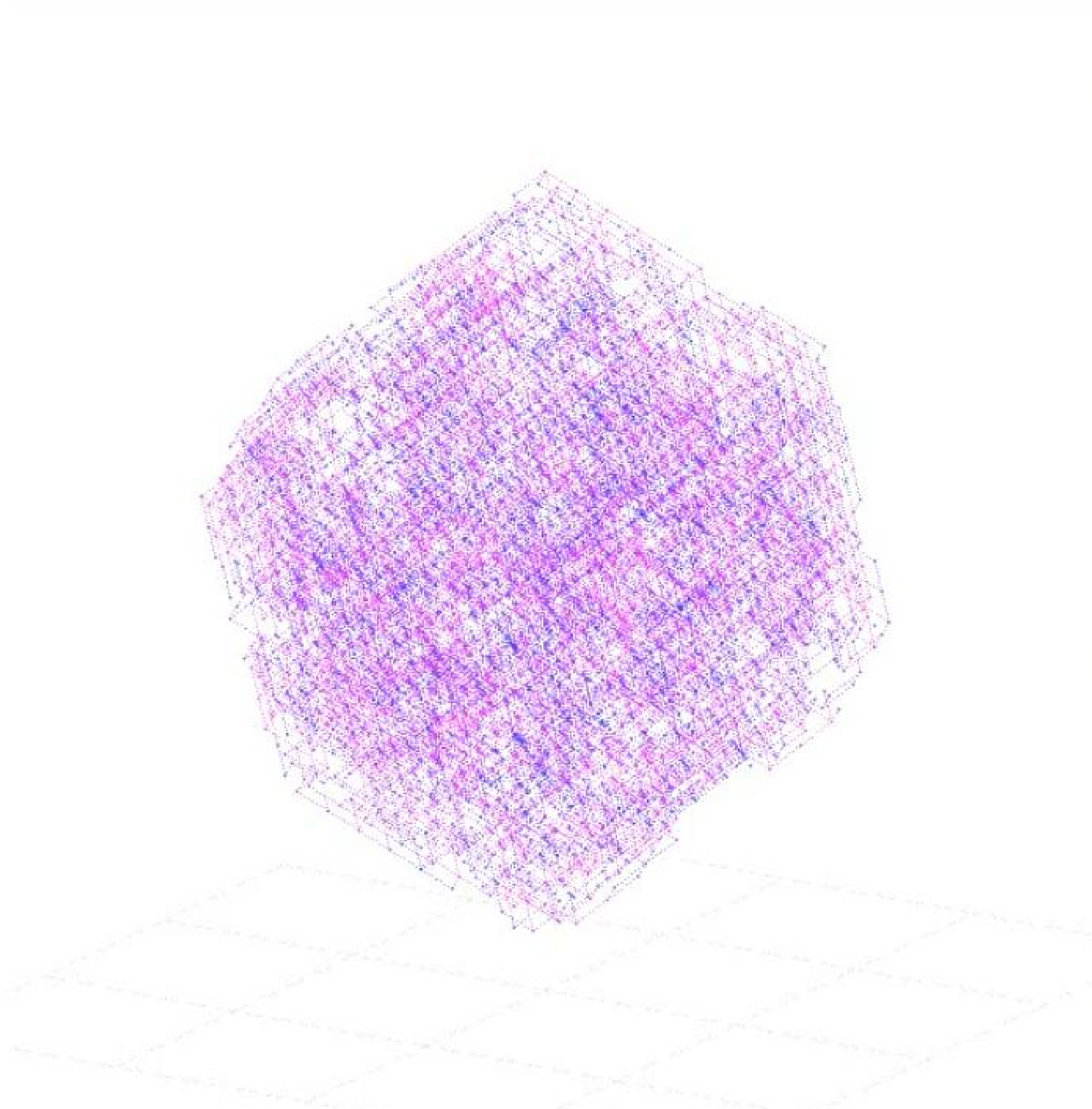
После отсева таких, осталось всего три рабочих правила, результаты их по численности приведены на графике.

График 6. Изменения численности конструкций трёхмерной «жизни X» от шага, в зависимости от правил.



Начальная случайная конструкция быстро перекладывается в что-то практически статичное, которое потом в себе "мерцает" без заметных пространственных изменений. Получается типа ромбических кристаллов, усечённых октаэдров, или объёмных фигур Хладни, достаточно хорошо симметричных; это похоже на модель электрического поля в веществе, кристаллографию, и теде.

График 7. Трёхмерная «жизнь X», правило: соседей от 2 до 4, рождение 3. Результирующая конструкция.



Происходит такое по причинам тем же, что и в варианте «3D+» — чтобы выходило за «стенки», число соседей рождения должно быть низким, но с таким всё пространство заполняется. Для долгого рассмотрения слишком мало случайности и в «3DX».

Простая трёхмерная «жизнь», «облако»

Различные разновидности «3DX+», с одновременно считаемыми по отдельности правилами для двух «крестов» — как выяснилось, слишком хаотичны. Стабильных среди них нет. Рассказывать о полностью безрезультатных поисках излишне.

Для «обычной» трёхмерной «жизни», с 26 соседними ячейками, я использовал те же методы и принципы поиска, что относительно предыдущих двух её типов.

Предварительно, на числах от 1 до 10, автоматическим перебором всех возможных вариантов вообще, выяснил что «генеральная последовательность», линия подходящих чисел условий в трёхмерном пространстве «минимум/максимум/рождение», есть и в ней.

Минимум допустимого числа соседей вышел в районе 1..5, допустимый максимум и число рождения, приблизительно равные друг другу — где-то в районе 8..10.

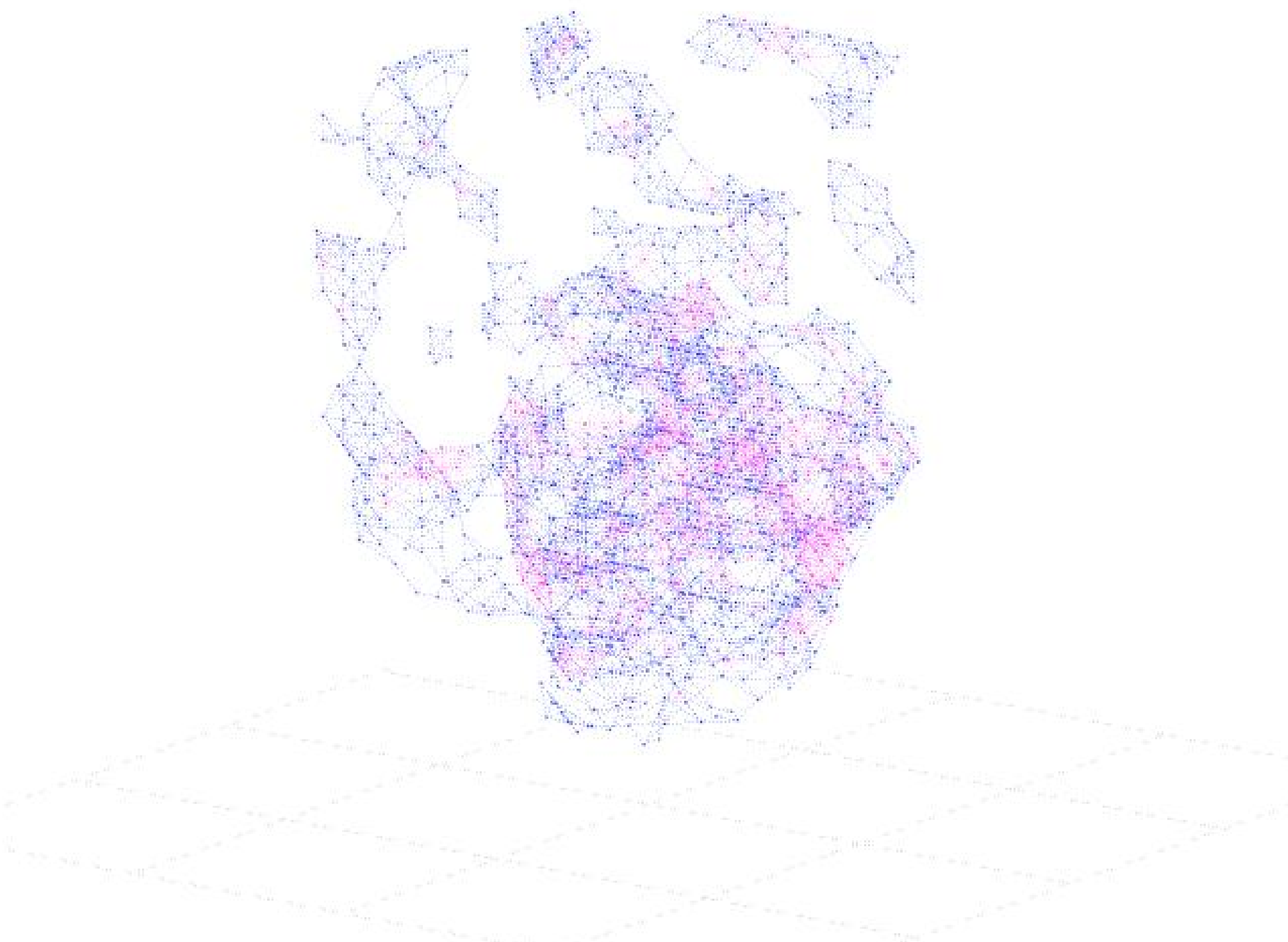
Кроме того, я удостоверился, что число соседей рождения всегда оказывается больше числа допустимого их минимума, что дало возможность ограничить нижнюю планку поиска, равно как, естественно, и нижнюю планку максимума. В результате умеренно быстро — в районе часов четырёх..пяти — перебрало всё в пределах от 1 до 16. Раньше такой подсчёт требовал в разы больше времени, и при пространстве меньшем в разы.

Программа автоматически выбрала из полученных правил те, с которыми конструкция существует дольше ста шагов, отсутствует её последовательное разрастание выше предела в четыре численности начальной, и есть выход хотя бы на пять ячеек в стороны за рамки исходного кубика стороной в двадцать ячеек.

Таких условий оказалось всего пара десятков, а из них почти все отсеялись — как создающие последовательно возрастающую «популяцию», только возрастающую достаточно медленно, чтобы обойти четырёхкратное условие; либо «живущую» больше ста шагов — но, к примеру, сто семьдесят.

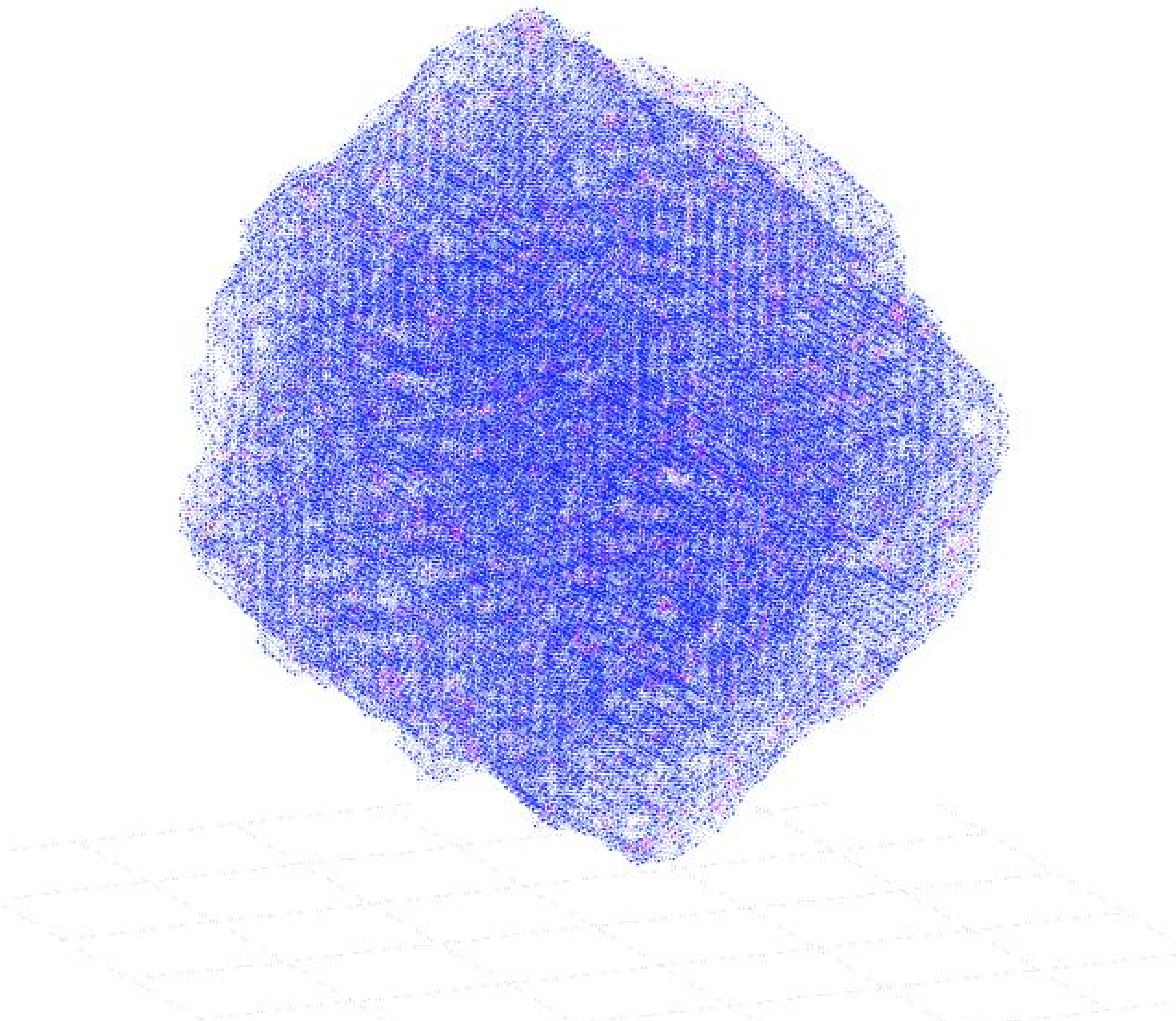
В той или иной степени соответствует требованиям зрелищности ранее продемонстрированное, полученное ещё в предыдущем исследовании, правило «минимум 4, максимум 9, рождение 8» — без особого шума, зато перекладывается за рамки начальной конструкции, выгодно отличаясь от ограниченных ими результатов «3D+» и «3DX».

График 8. Трёхмерная «жизнь», правила: соседей от 4 до 9, рождение 8. Процесс.



И ещё одно найденное простое правило — «6..12, 9». Оно менее эффектно, похоже на 3D принтер — бегающие по поверхности полоски довольно быстро достраивают всё до похожей на результат предыдущего конструкции.

График 9. Трёхмерная «жизнь», правила: соседей от 6 до 12, рождение 9. Результат.



В целом, новое исследование на этом этапе выводы старого только подтвердило.

Диапазон чисел рождения, «община»

Первое предположение о том, как повысить хаотичность развития конструкции — если для выживания «существа» в ячейке есть диапазон допустимого числа соседей, от минимума до максимума, попробовать задать диапазон и для рождения.

При желании, можно найти ему и бытовое объяснение — люди зачастую, что называется, женятся семьями, и семьи эти могут быть разной степени полноты.

Скажем, семья из пяти человек, включающая родителей и бабушку с дедушкой, может сойтись как с такой же, так и с имеющей меньшую или даже большую численность — включающей ещё брата или сестру, детей от первого брака, и теде. Как десять «родителей» может выйти, так и девять, и одиннадцать.

Говоря же математически, диапазон чисел рождения увеличивает «рождаемость» на той же базе в разы; компенсировать это может увеличение требуемого минимума соседей, означающее больший «коллективизм», и большую обусловленную отсутствием требуемого коллектива «смертность».

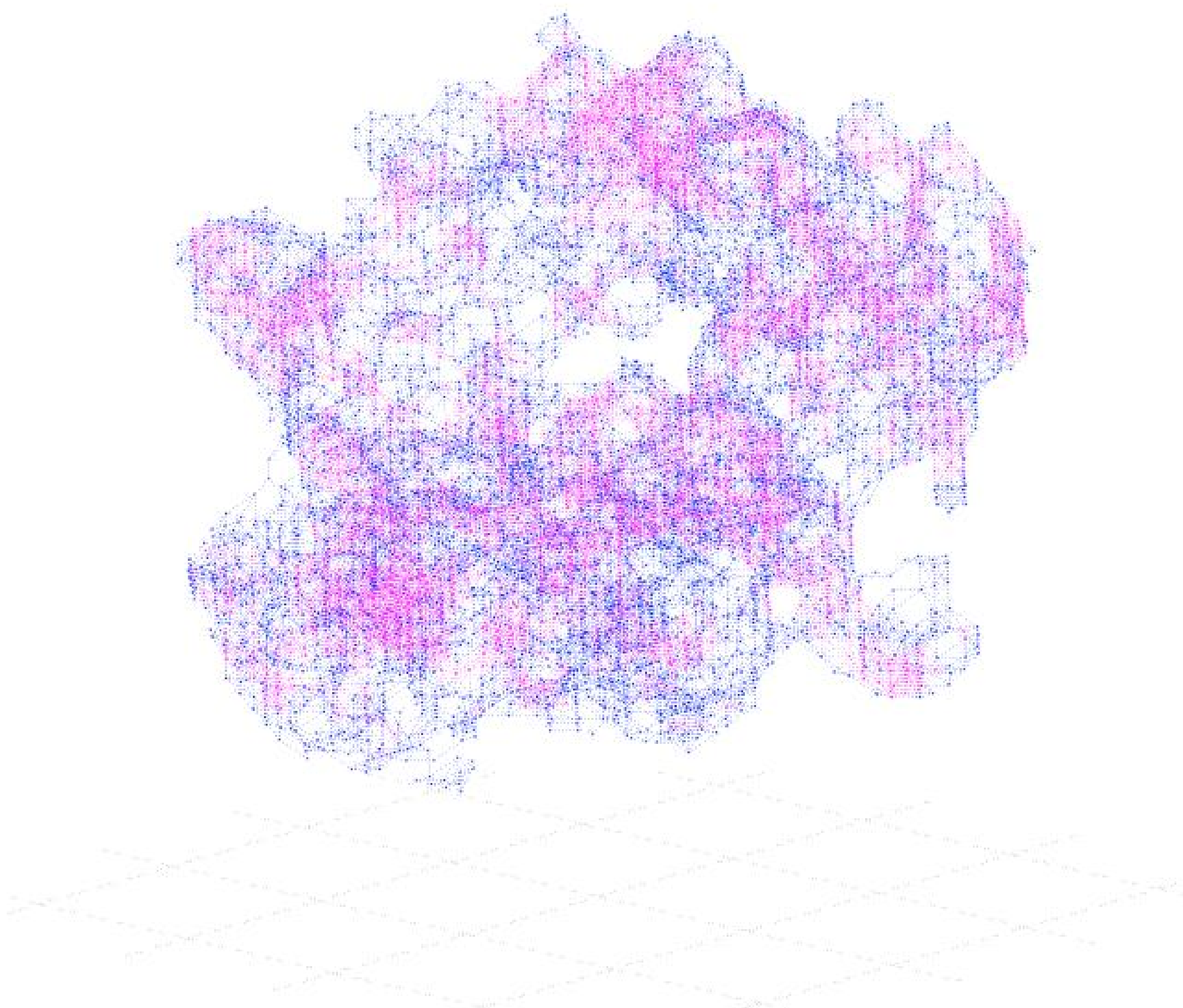
Процессы, происходящие вокруг ячейки с минимумом соседей, и ячейки с максимумом , тем более различны, чем дальше первый от второго отстоит. Требуемое для «рождения» число соседей, в варианте когда оно только одно, близко к максимуму допустимых чисел соседей — высока вероятность, что и диапазон «рождения» где-то там же, и потому определяется иначе, чем минимум, и чем обусловленная им «смертность».

Возможно, есть такое сочетание, которое, двумя разными процессами с разными частотами, даст требуемую степень хаоса — при сохранении численности на той или иной "полке", или, хотя бы, при достаточной длительности её плавного уменьшения.

Начатый с таким предположением автоматический поиск занял многие часы, и, кроме того, оказался осложнён тем, что «затравка» размерами в двадцать ячеек, как выяснилось, слишком мала для выводов о таких, более хаотичных, условиях. С ними порой есть что-то типа «критической массы»: выглядящие «сходящимися» на малой «затравке» правила зачастую «расходятся» на больших затравки; требуемый минимум ребра, результаты которого остаются теми же и при дальнейшем увеличении — по опыту, порядка сорока, а то и пятидесяти ячеек.

Из найденных «истинно стабильным» и примечательным оказалось только одно правило — «4..10, 9..10». Оно даёт состоящую из «осцилляторов» конструкцию, действительно довольно бурно «пузырящуюся» и очень медленно «выкипающую» до какой-то мелочёвки.

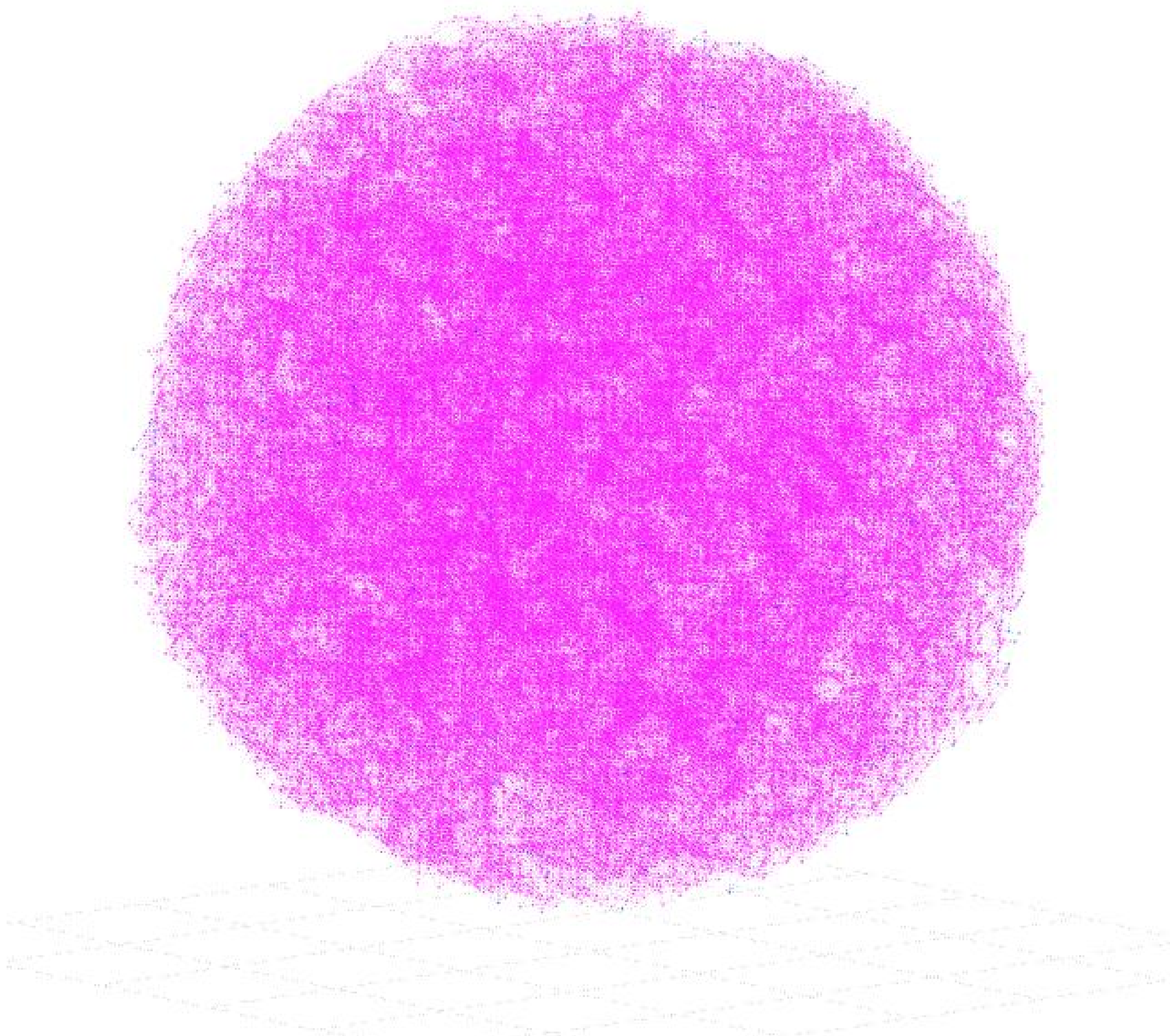
График 10. Трёхмерная «жизнь», правило: соседей от 4 до 10, рождение от 9 до 10. Процесс.



В остальных же случаях «настройка диапазоном» оказалась слишком грубой — чтобы уравнять «рождаемость» и «смертность» её мало. Самое лучшее — иногда, как в приведённом примере, можно сделать скорость уменьшения численности конструкций умеренно низкой.

Кроме того, «община» даёт довольно большие числа, и допустимого количества соседей, и соседей рождения— а для улетающих «самолётов», по всей видимости, нужно частое сегментирование, и, соответственно, числа как можно меньше. В качестве примера отличия наличного от требуемого — один из других полученных вариантов условий.

График 11. Трёхмерная «жизнь», правило: соседей от 2 до 4, рождение от 8 до 15. Процесс.



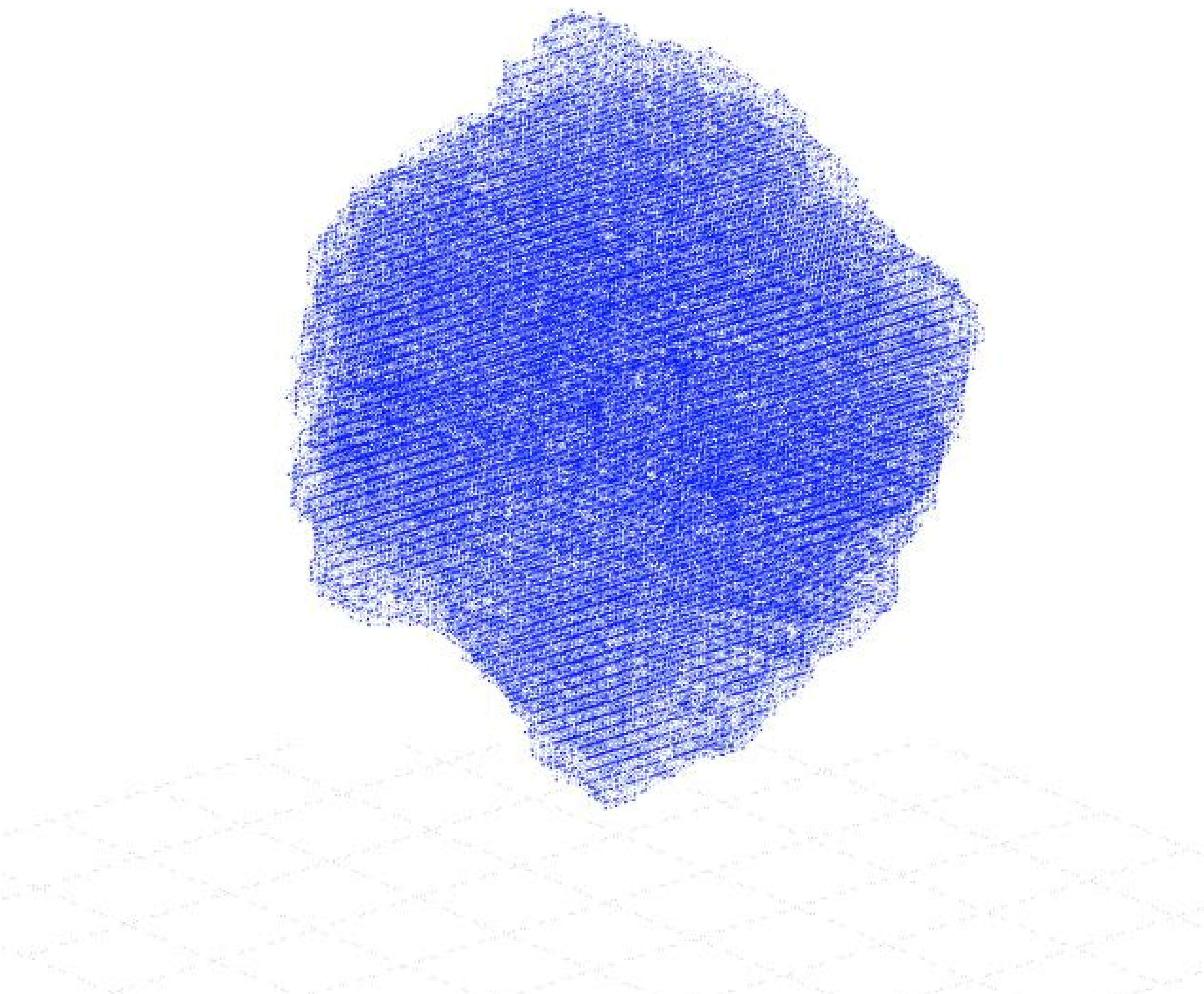
Диапазоны «выживания» и «рождения» в нём сильно разнесены — по сути, именно так, как написано в начале этой главки, и вроде бы должны давать синусоиду численности; однако такая конструкция «живёт» как плотный шар, из которого «самолёты» никуда не летят.

Простые вариации правил

В процессе поисков я экспериментировал и с двумя раздельными числами рождения, и с двумя диапазонами рождения. Автоматический перебор занимал очень много времени, дни, а стабильные результаты оказывались близки к двум стандартным найденным «облакам», добавляя числа сверху или снизу их диапазонов, изменяя этим динамику весьма умеренно.

К примеру, возможно следующее правило.

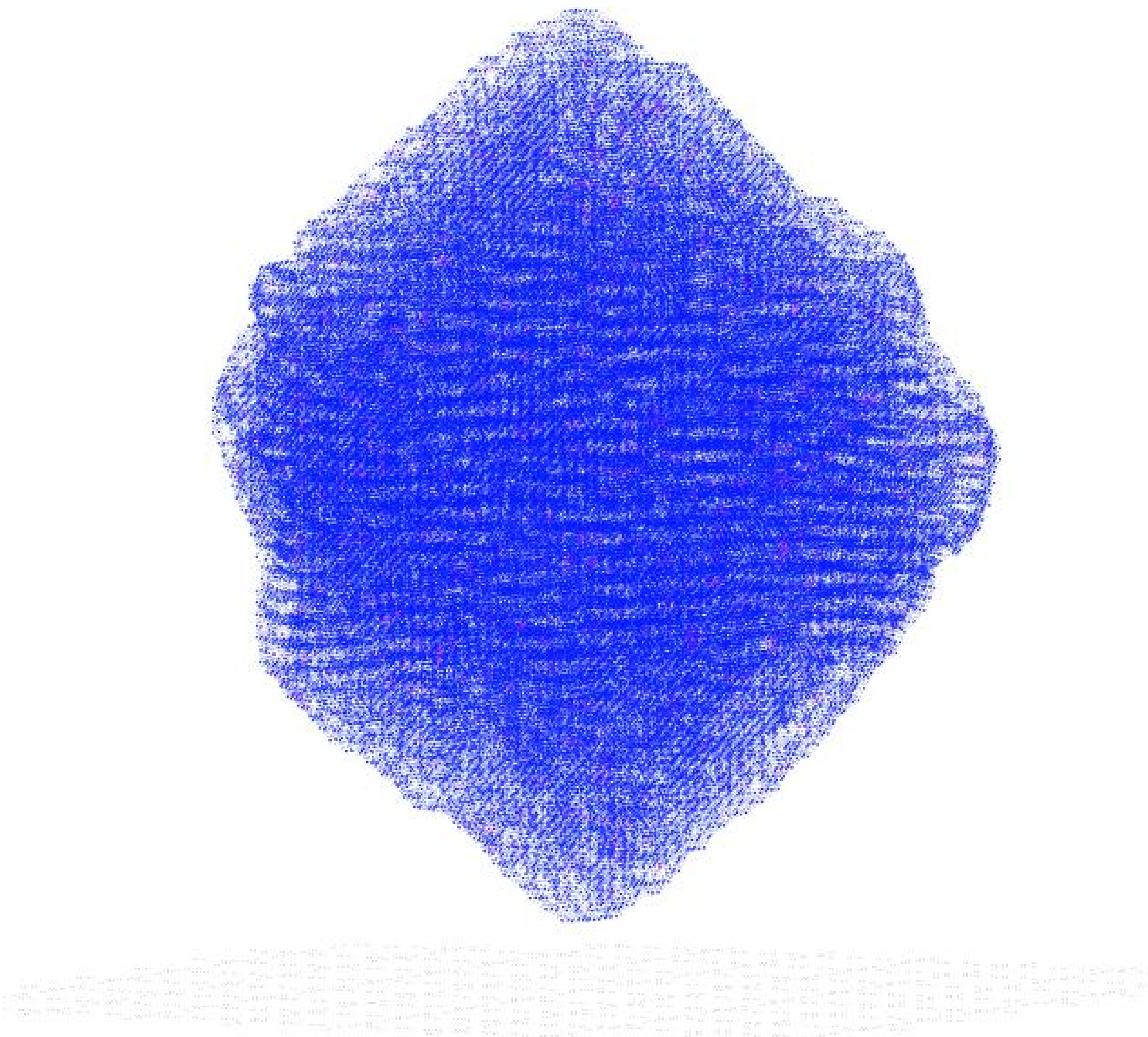
График 12. Трёхмерная «жизнь», правило: соседей отлично от 10, рождение 8. Результат.



Здесь исключено единственное число соседей, с которым, при таком числе соседей рождения, возможен бурный рост. С остальными же оно приводит просто к более выраженному усечённому додекаэдру, чем условие «4..9, 8», модификацией которого является.

Ещё один пример того, что вариации правил, дающие стабильные процессы, дают результаты мало отличные от уже найденных.

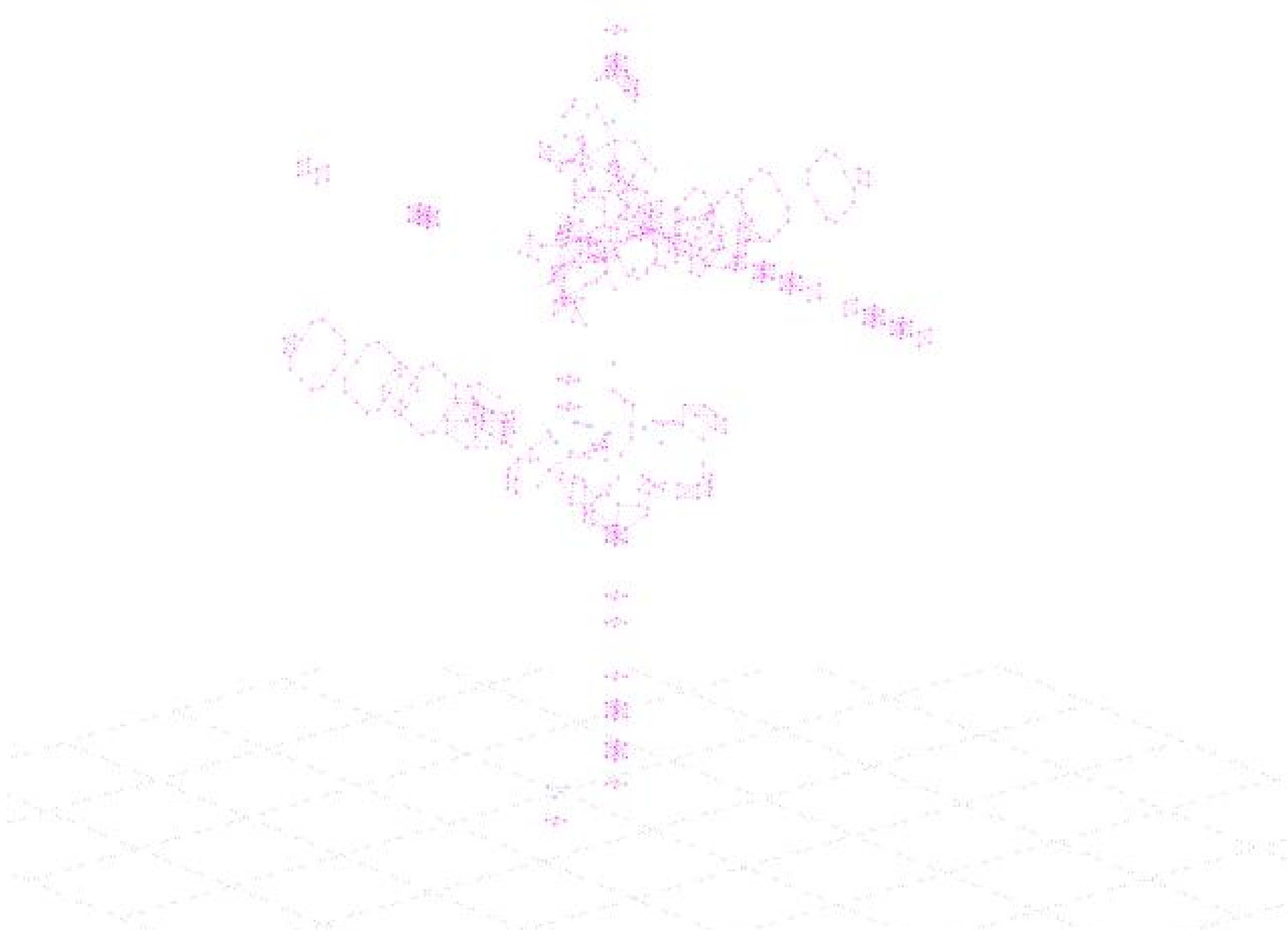
График 13. Трёхмерная «жизнь», правило: соседей от 5 до 12, рождение 9 и 18. Результат.



«Спектры»

Крайний минимум числа соседей рождения, что выяснил ещё в прошлый раз, равен 5; при меньшем, на 4, конструкция постоянно увеличивается, даже если все «родившееся» «существа» на следующем шаге «гибнут»; их потомков оказывается достаточно для разлёта во все стороны расширяющихся «лучей», и заполнения ими всего пространства.

График 14. Трёхмерная «жизнь», правило: «нет, 4». Процесс.



Между тем, все найденные ранее условия начинались с числа соседей рождения равного 8. Очевидно, числа 5, 6, и 7 тоже могут стать основой «жизни», но дают стабильные процессы только при разделении диапазона допустимого количества соседей на много большее количество частей, чем две — на состоящей из отдельных линий «спектр».

При этом, большие числа соседей, и теоретически, и по опыту, встречаются реже, и потому вносят в «смертность» меньший вклад. Если так, то можно написать программу, последовательно собирающую такие «спектры» от меньших чисел к большим, их последовательным перебором.

При заданном числе соседей рождения, равном 5, эта программа сначала проверила на допустимом числе соседей, равном 1, нет ли «расхождения» — о котором свидетельствовало превышение численности в четыре раза на каком-то шаге над исходной численностью довольно плотной «затравки».

Поскольку расхождение отсутствовало, притом восемь раз подряд в пределах 2^{13} шагов, программа проверила нет ли его при допустимых числах 1 и 2. Оно отсутствовало и там, а нашлось на 3 — тройка была пропущена, подсчёт продолжился, показав что правило «5: 1 2 4» даёт «сходящийся» результат; и так далее.

Следует отметить что дополнительным условием «схождения» было отсутствие превышения финальной численности, на максимально возможном шаге порядка десяти тысяч, в два раза над численностью на шаге 2^{10}, который порядка тысячи. С высокой вероятностью последовательно растущие со временем конструкции мало удовлетворяют такому условию, даже если они растут очень медленно.

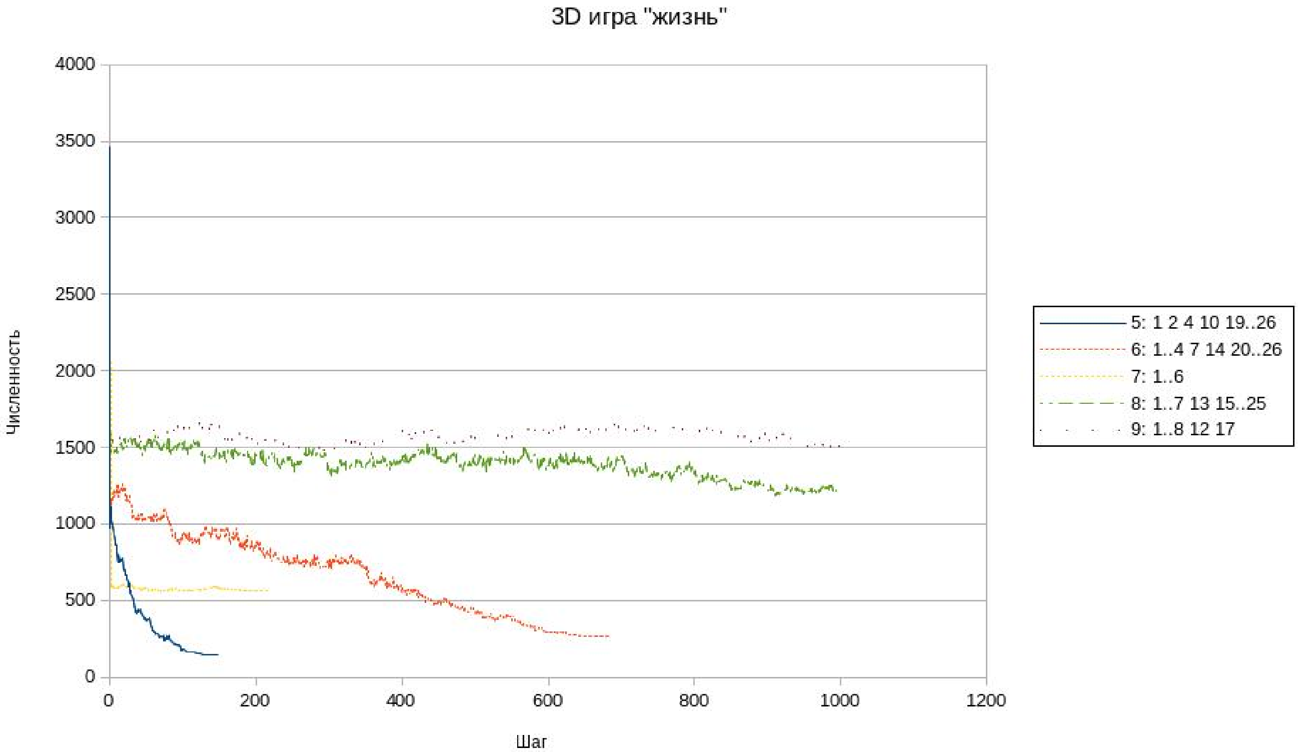
За считанные часы — с учётом того, что пришлось ещё, до пятидесяти, поднять размер ребра «затравки», это довольно быстро — программой были найдены «спектры», последующей ручной проверкой доведённые до следующих:

5: 1 2 4 10 19..26
6: 1..4 7 14 20..26
7: 1..6
8: 1..7 13 15..25
9: 1..8 12 17.

Большие числа рождения дают конструкции заведомо остающиеся в пределах исходного кубика, потому мало интересные; однако мало выходят за эти пределы и результаты полученных правил.

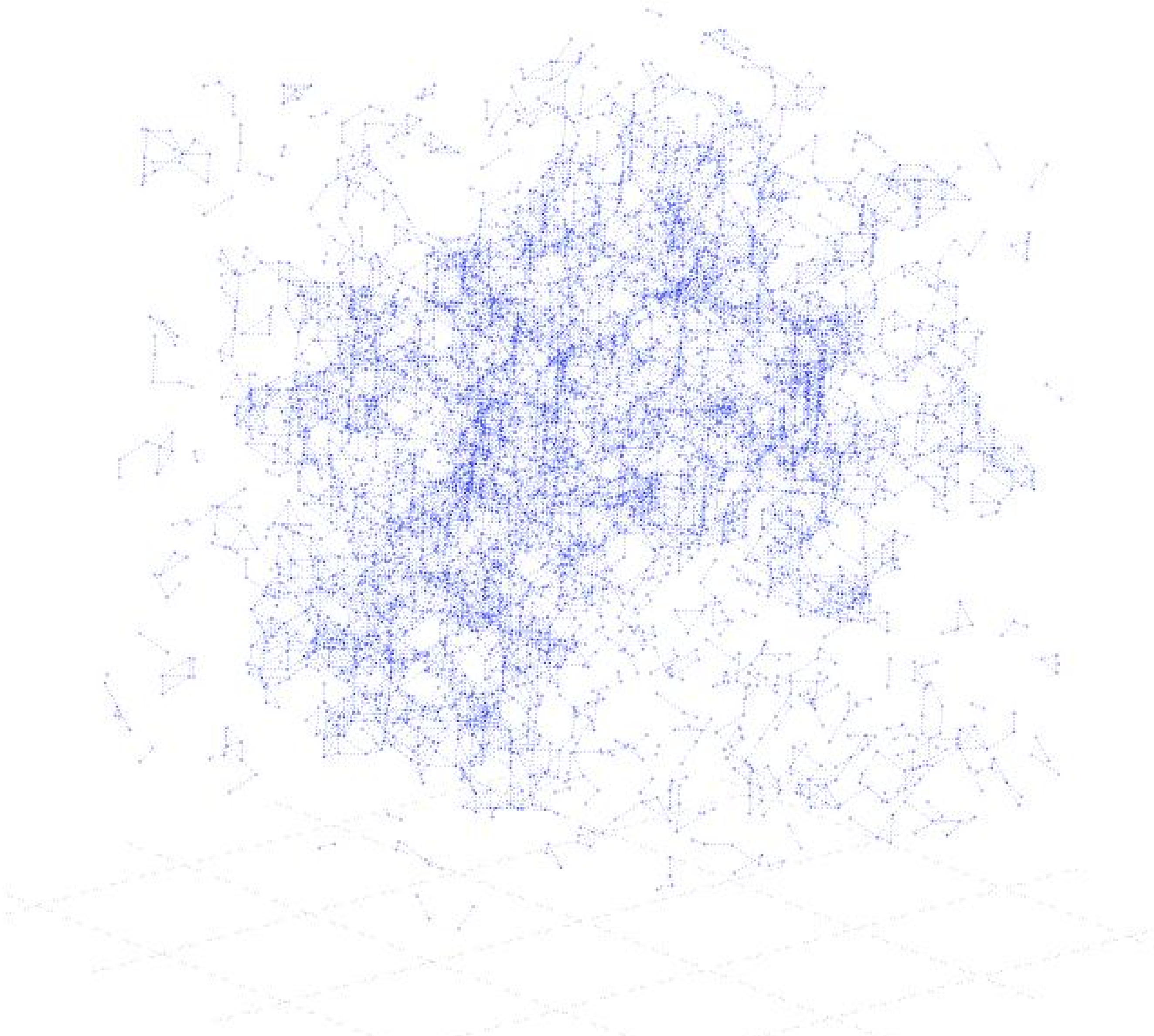
Внешне похожие на «перемигивание областей» или «бег паучков» процессы идут в них умеренно долго, с заметным повышением продолжительности к большим числам. Однако этот «бег» происходит практически локально, в заранее известном объёме — самое большее, в отсеянных вручную вариантах с ошибками, постепенно вокруг исходного кубика возникал додекаэдр, и крайне медленно рос дальше.

График 15. Численность конструкций «спектров» трёхмерной «жизни» в зависимости от правил.



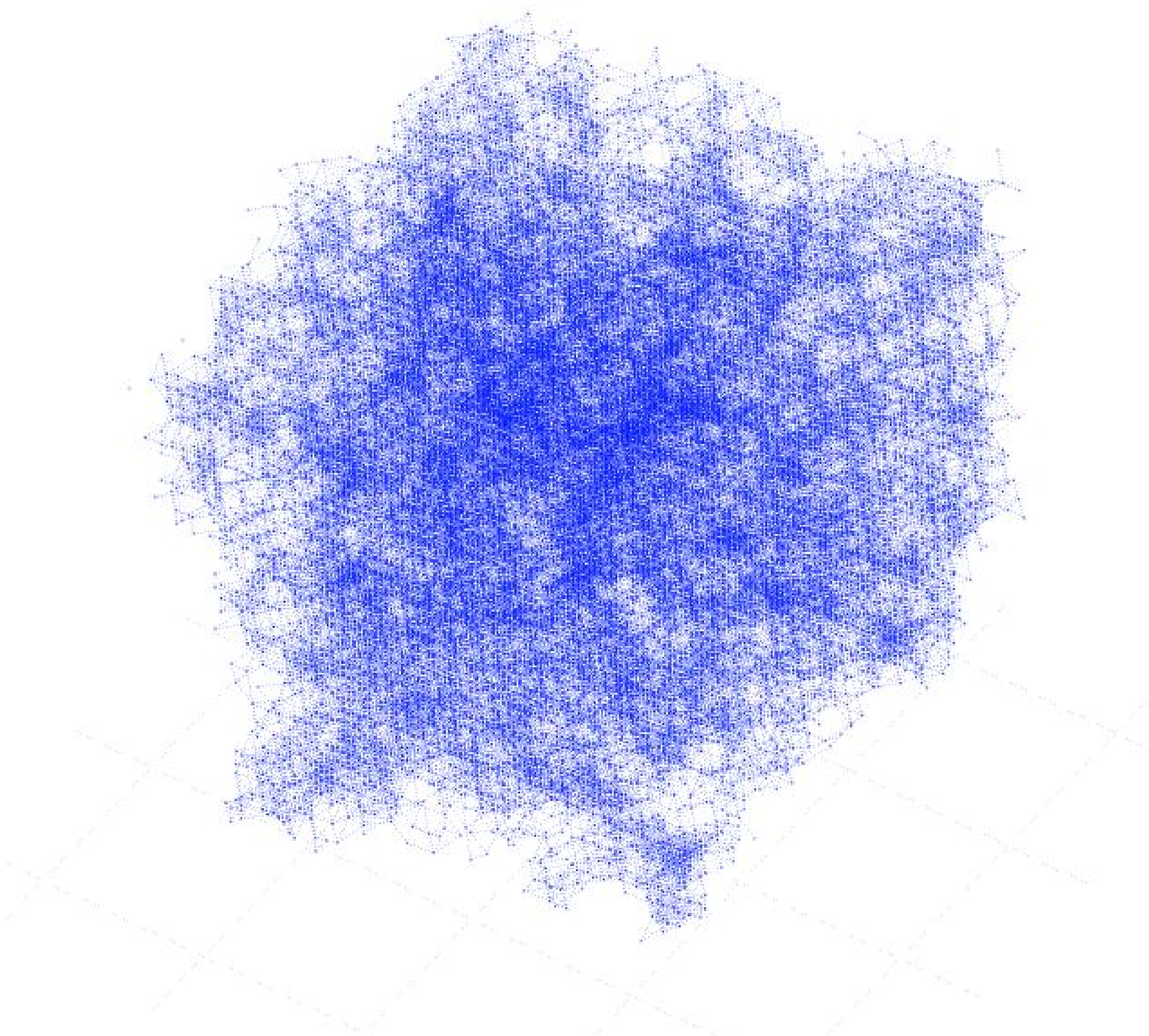
Конструкции, «живущие» по правилу «5: 1 2 4 10 19..26» быстро схлопываются; приведён результат следующего правила, «6: 1..4 7 14 20..26». Хорошо видно заранее заданные рамки.

График 16. Трёхмерная «жизнь», правило «6: 1..4 7 14 20..26». Процесс.



Попытка зайти с другой стороны, начать перебор с больших чисел — обнаруживает, к примеру, правило «5: 2 6 8..26», дающее практически "вечноживущие" плотные конструкции с переливающейся «бахромой».

График 17. Трёхмерная «жизнь», правило «5: 2 6 8..26». Процесс.



Явно с этой стороны интересного нет.

Третий вариант — начать пересчёт, вместо как с единицы, с той или иной константы.

«Спектры с основанием»

При переборе от констант получаются следующие правила:

5: 2 3 7 14 20 22..26
5: 3 4 8 18 25
5: 4 5 10 13..26

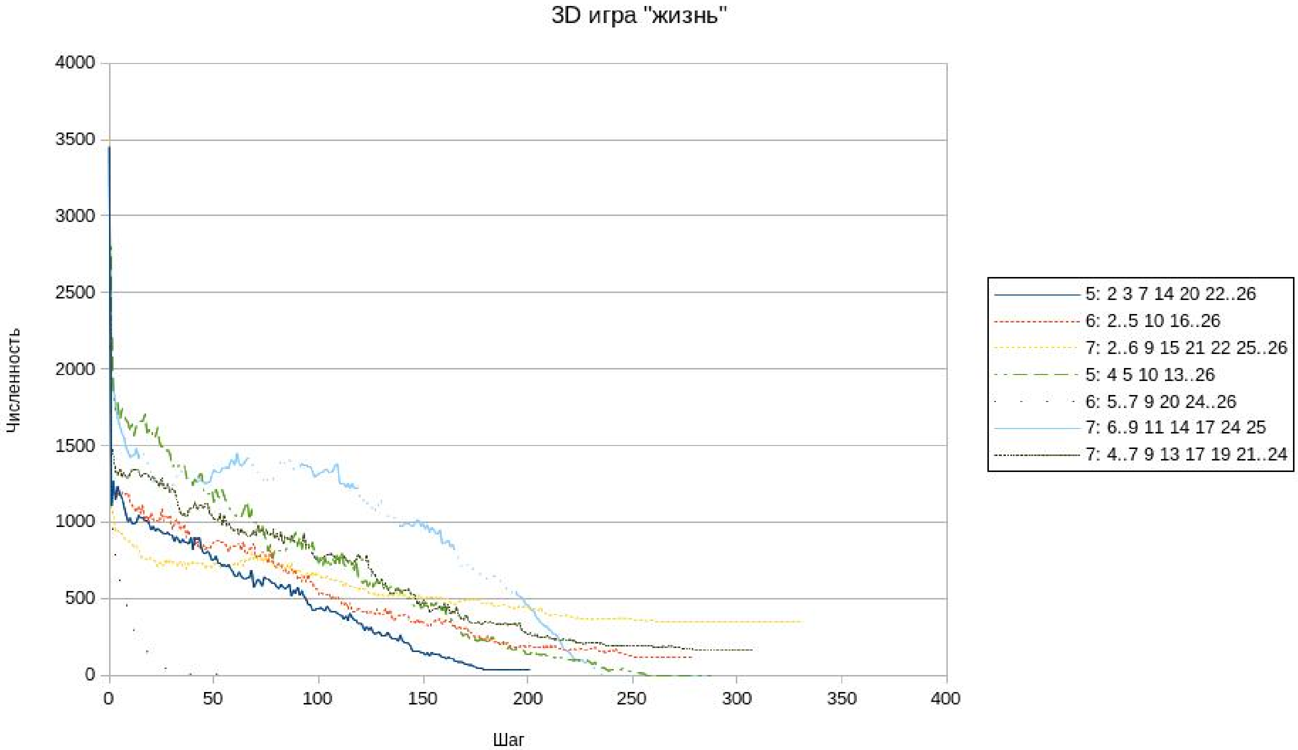
6: 2..5 10 16..26
6: 3..6 12 14..26
6: 4..6 9 12 17 18 20 21 23..26
6: 5..7 9 20 24..26

7: 2..6 9 15 21 22 25..26
7: 3..7 12..17 20 22..25
7: 4..7 9 13 17 19 21..24
7: 5...8 11 13 17
7: 6..9 11 14 17 24 25

8: 2..7 9 19..22 25
8: 3..8 12 16..26
8: 4..8 10 14 ..26
8: 5..9 12 15..20 22 23 25
8: 6..10 13 19 20 23 25 26

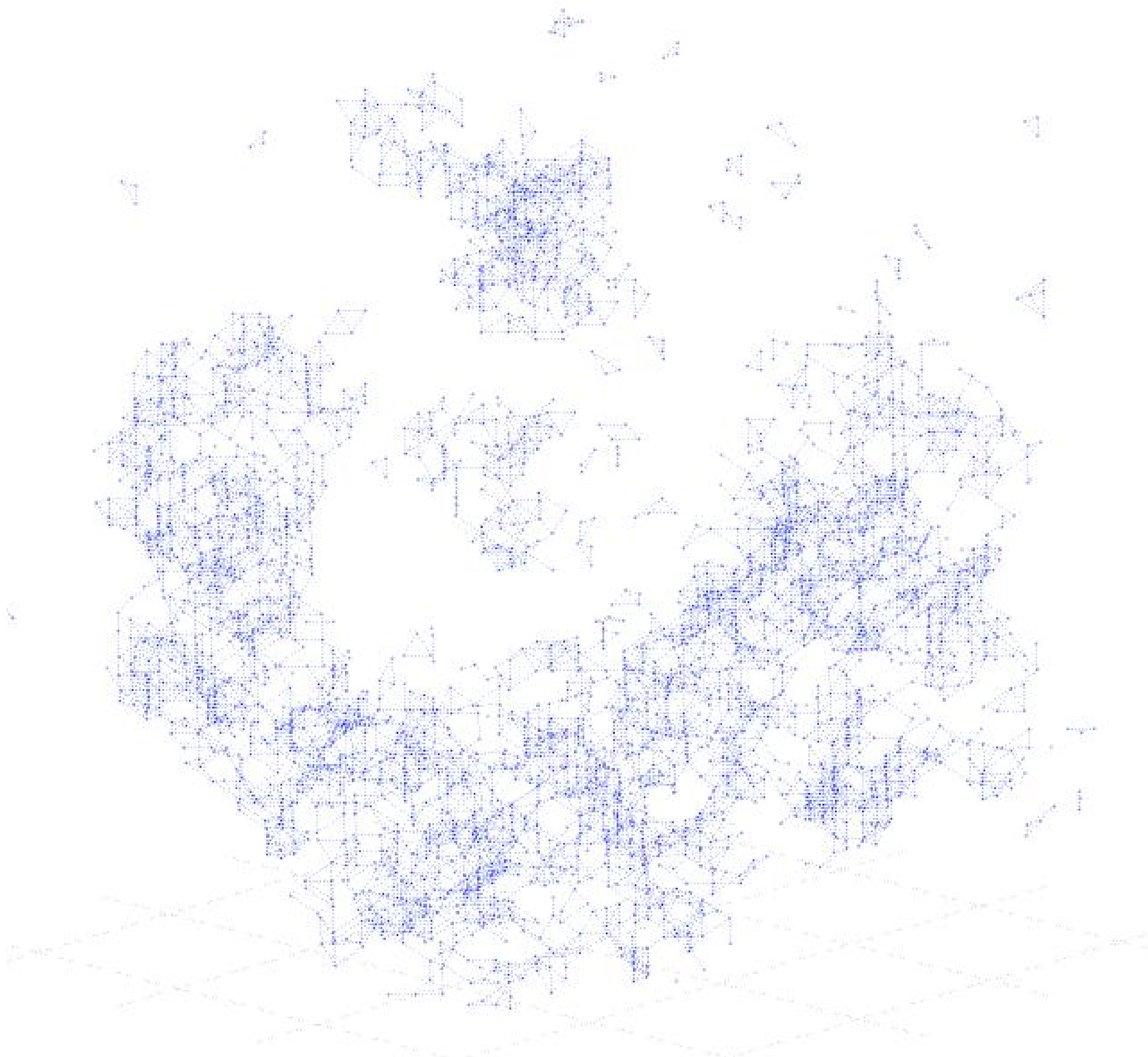
Всё они дают конструкции достаточно «короткоживущие», и сходящие на осадок практически линейно.

График 18. Численность конструкций «спектров с основанием» трёхмерной «жизни» в зависимости от правил.



Выглядит в процессе это приблизительно так.

График 19. Трёхмерная «жизнь», правило «5: 2 3 7 14 20 22..26». Процесс.



Какие-то самые верхние числа соседей в полученных условиях могут быть и ошибочными, давать «расхождение» на ещё больших «затравках», которые на моём компьютере слишком долго считать. Суть дела это меняет мало, потому, что большие числа вносят меньший вклад, только компенсирующий издержки «коротких правил», и определяют скорее продолжительность «жизни», чем её динамику. К тому же эта продолжительность всё равно выходит короткой.

Чтобы исключить пропуск каких-то интересных вариантов, дополнительно, ещё одной модификацией программы, были перебраны варианты с числом рождения равным пяти, минимумом соседей 2, а следующим за ним допустимым числом большим, чем 3.

Эти варианты:

5: 2 4 7 15 19 20 22..24 26
5: 2 5 6 20 24..26

быстро сходятся, базовый вариант «5: 2 3 7 14 20 22..26» лучше, чем они. Из чего следует вполне логичный, коль скоро вклад меньших чисел больше, вывод, что уже полученные результаты вообще — лучшее из того, что возможно получить; и во всех из них всё остаётся более-менее в пределах начальной затравки.

Кроме того, возможен ручной перебор, которым, к примеру, я нашёл правило

6: 1 3 5..7 13 18..26

в котором «спектр» допустимого числа соседей начинается «сверху». С таким правилом, однако, «жизнь» весьма похожа на уже рассмотренные.

Или, скажем, правило

5: 5 6 9 11 18 19 21 24..26

задающее очень бурно «кипящую», но всё-таки однородную «жизнь»; и провёл другие эксперименты, о которых тут излишне писать в силу их безрезультатности.

Выводы

Думаю, что перебрал все возможные типы правил однородной трёхмерной «жизни», по крайней мере достаточно для окончательных выводов и прекращения поиска.

Перебор принёс какие-то результаты, в том смысле, что нашлись такие правила, в прошлый раз пропущенные, при которых конструкции «живут» довольно долго, разнообразно, и без заполнения собой всего пространства.

Между тем, отсутствовал даже единственный раз чтобы я видел в рамках таких условий конструкцию типа вполне обычного для «плоской жизни» «самолёта», последовательно сдвигающегося в ту или иную сторону. Тем более, регулярно испускающего «самолёты» генератора, «пушки».

На таких «самолётах» и «генераторах» была в «плоской жизни» построена машина Тьюринга, абстрактная вычислительная машина; по всей видимости, именно возможность создания/возникновения чего-то, в том или ином смысле, «разумного», приводит к тому, что игра выглядит привлекательно, интересно.

В объёме такое отсутствует, по всей видимости из-за большей связности происходящих в нём процессов, которые, поэтому, больше напоминают рост кристаллов, кипение жидкостей в отсутствии веса, поведение электрических полей в телах, газопылевые туманности, и прочую физику микро и макромира, чем жизнь.

«Грааля» нет.

Философские выводы из полученного отрицательного результата могут быть разные. К примеру, такой, что сомнительна жизнь в космосе растительного свойства.

Кроме того, модель показывает отсутствие возможности спонтанного возникновения разума в объёме, по крайней мере при условии однородности жизни.

Коллективная двуполая трёхмерная «жизнь»

Так же, как и в двухмерном варианте, возможна разновидность трёхмерной игры «жизнь», в которой каждое «существо» может быть одного из двух разных полов.

Изначально от исследования этой разновидности я отказался. Двумерная, плоская, двуполая «жизнь» по опыту в целом весьма похожа на одномерную — разумно было предположить, что, в отсутствии интересных результатов по бесполой трёхмерной «жизни», они будут отсутствовать и по двуполому трёхмерному варианту. Однако, в какой-то момент оказалось, что время есть, а лучших идей, чем проверить это, нет.

Возможны две подразновидности двуполой «жизни»: в первой для выживания «существа» всё равно, какого именно пола его соседи. Разнополых соседей должно быть в определённых пределах суммарно. Тогда как для рождения в пустой ячейке пространства нужно, чтобы число соседей одного пола было в одном диапазоне, а число соседей другого — в другом; при обратном их соотношении рождается «существо» противоположного пола.

Другие аспекты правил задают возможные дальнейшие подразновидности игры. К примеру, возможен вариант с принудительной заменой пола, если соседей другого пола больше определённого; здесь рассмотрен более простая и представляющаяся более здоровой разновидность, когда «существа» рождаются только в пустые ячейки, а если на одну ячейку претендуют оба пола, то рождение в ней отсутствует.

При исследовании этого варианта, с равномерными диапазонами по каждому из трёх чисел в рамках 1..9, оказывается, что минимальное допустимое число соседей обоего пола находится в пределах до 4 — чем оно больше, тем меньше чисел даёт стабильные долгоживущие результаты.

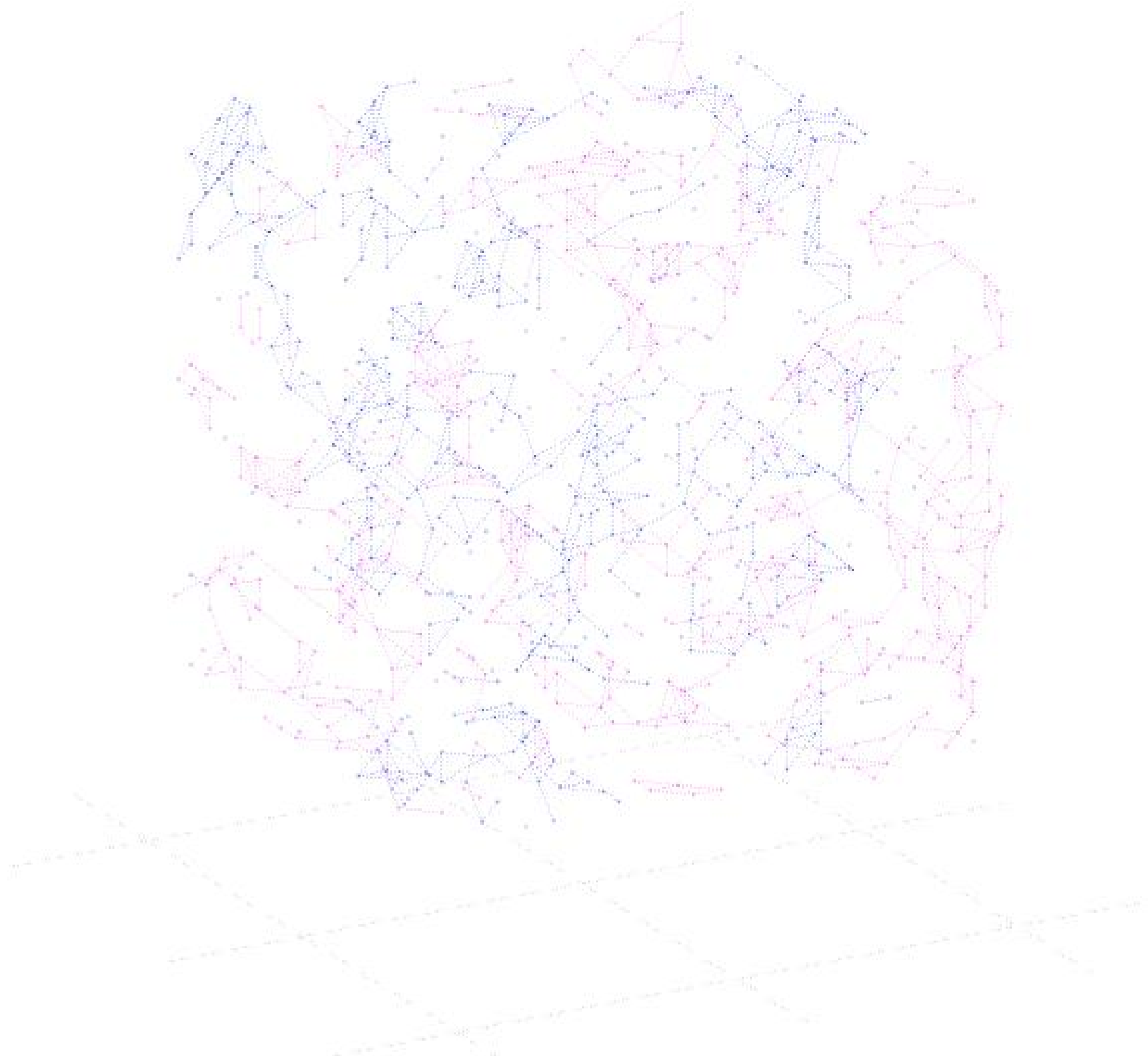
Для базы 1..7, от одного до семи соседей произвольного пола для выживания, оптимальными правилами, при которых финальный результат наиболее многочислен, но конечен, оказываются

1..7, 5..9, 2..8
1..7, 5..8, 2..9
1..7, 5..9, 1..2
1..7, 5..9, 2..7
1..7, 5..9, 2..6.

Правило «1..7, 5..9, 2..8» означает, что выживание «существа» происходит при наличии от 1 до 7 соседей безотносительно их полу, для рождения «существа» определённого пола у пустой ячейки должно быть от 5 до 9 соседей этого пола, и от 2 до 8 противоположного.

Во всех вариантах правил по этой базе процесс довольно скоротечен, результат находится практически в пределах исходного куба затравки; в финальной конструкции области разного пола разделены свободным местом и «искрящими» осцилляторами.

График 20. Двуполая трёхмерная «жизнь», правило «1..7, 5..9, 2..8». Результат.

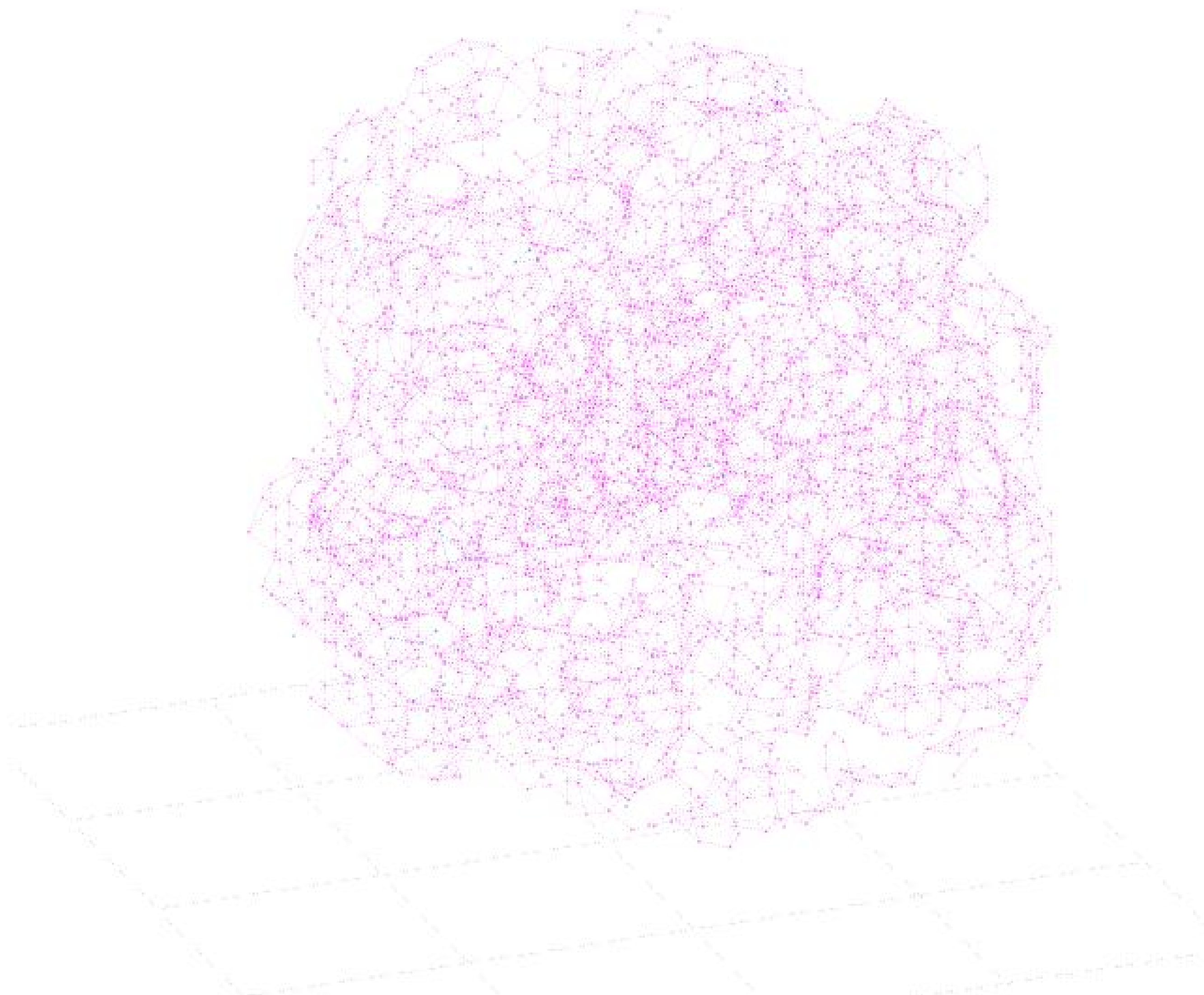


Для базы 1..8 оптимальные правила

1..8, 5..7, 2..8
1..8, 4..9, 3..5
1..8, 5..6, 2..8
1..8, 4..9, 2..2
1..8, 5..8, 2..6.

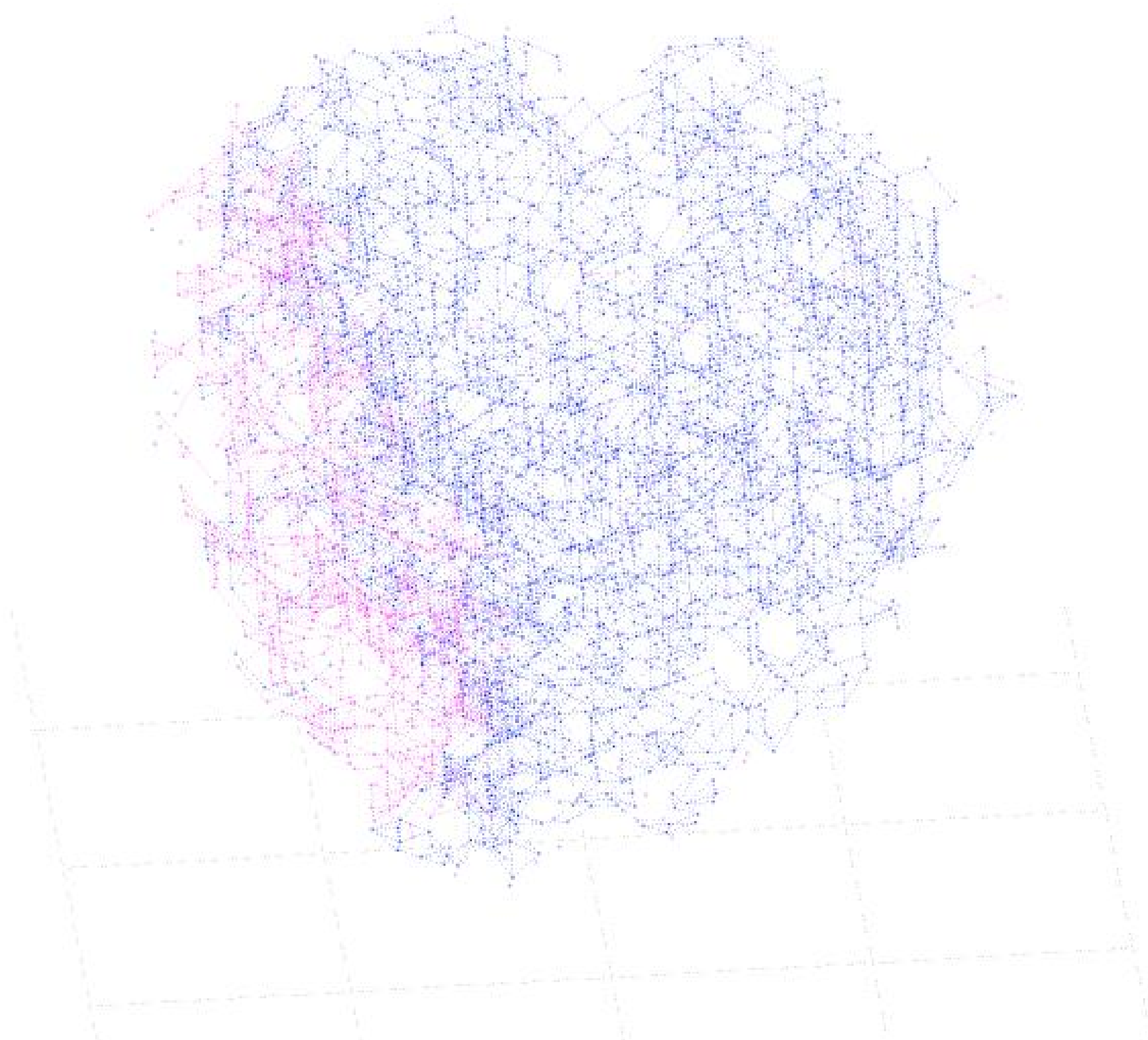
В результатах, кроме четвёртого, близкая к «затравке» плотная конструкция одного пола.

График 21. Двуполая трёхмерная «жизнь», правило «1..8, 5..7, 2..8». Результат.



В развитии образуются обычно две крупные области разного пола, разделённые «фронтом»; он может расширяться и менять форму, но в конце концов область одного пола оказывается областью другого как бы окружена, загнана в угол, после чего происходит её поглощение, превращение в другой пол, и на выходе оказывается конструкция одного пола с минимальными вкраплениями другого.

График 22. Двуполая трёхмерная «жизнь», правило «1..8, 4..9, 3..5». Процесс.

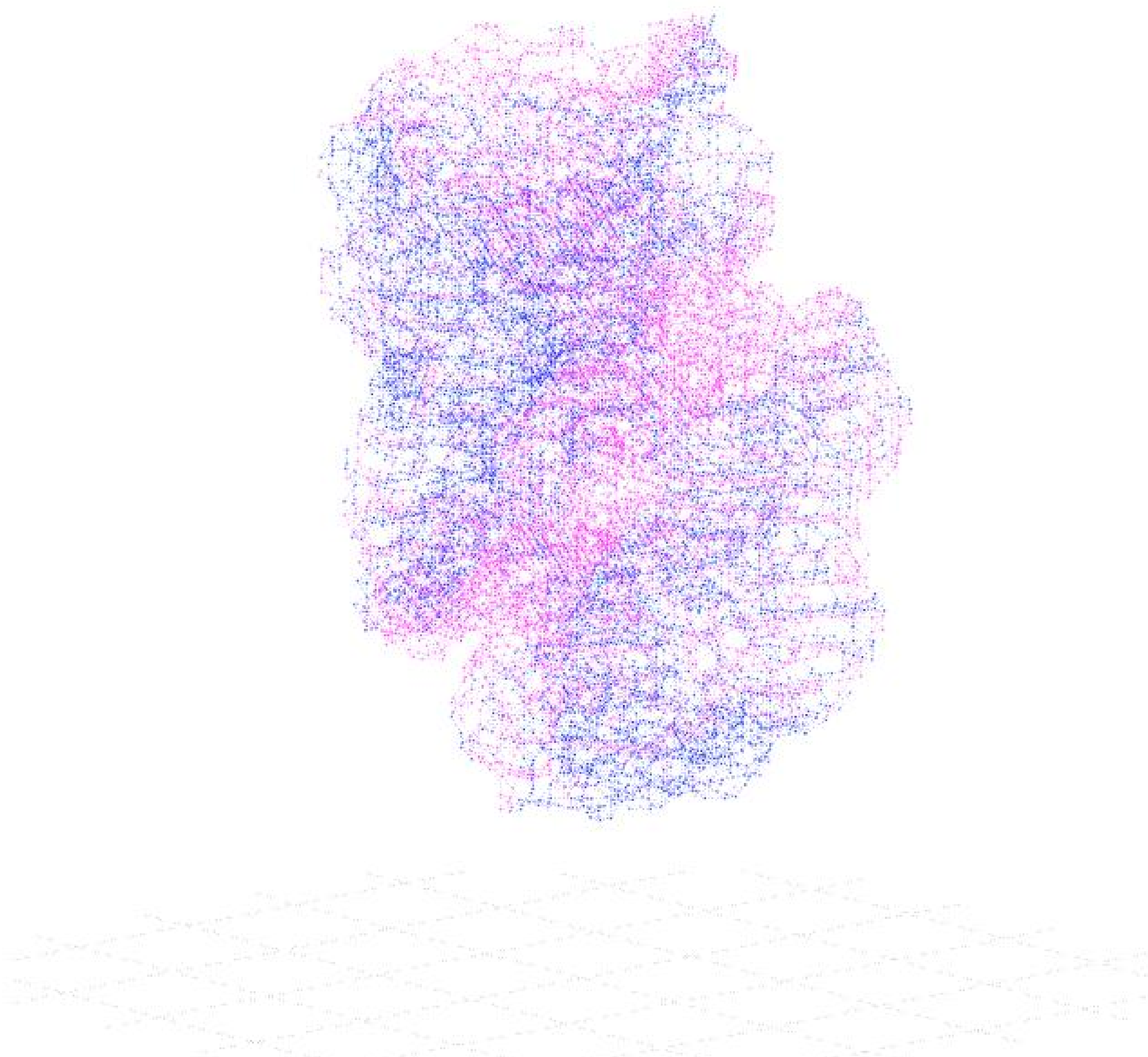


Для базы 1..9 оптимальны правила

1..9, 4..9, 3..3
1..9, 5..6, 2..4
1..9, 3..9, 3..3
1..9, 5..9, 1..2
1..9, 6..9, 1..3.

Получаются замысловатые конструкции из областей двух полов, разделённых осцилляторами.

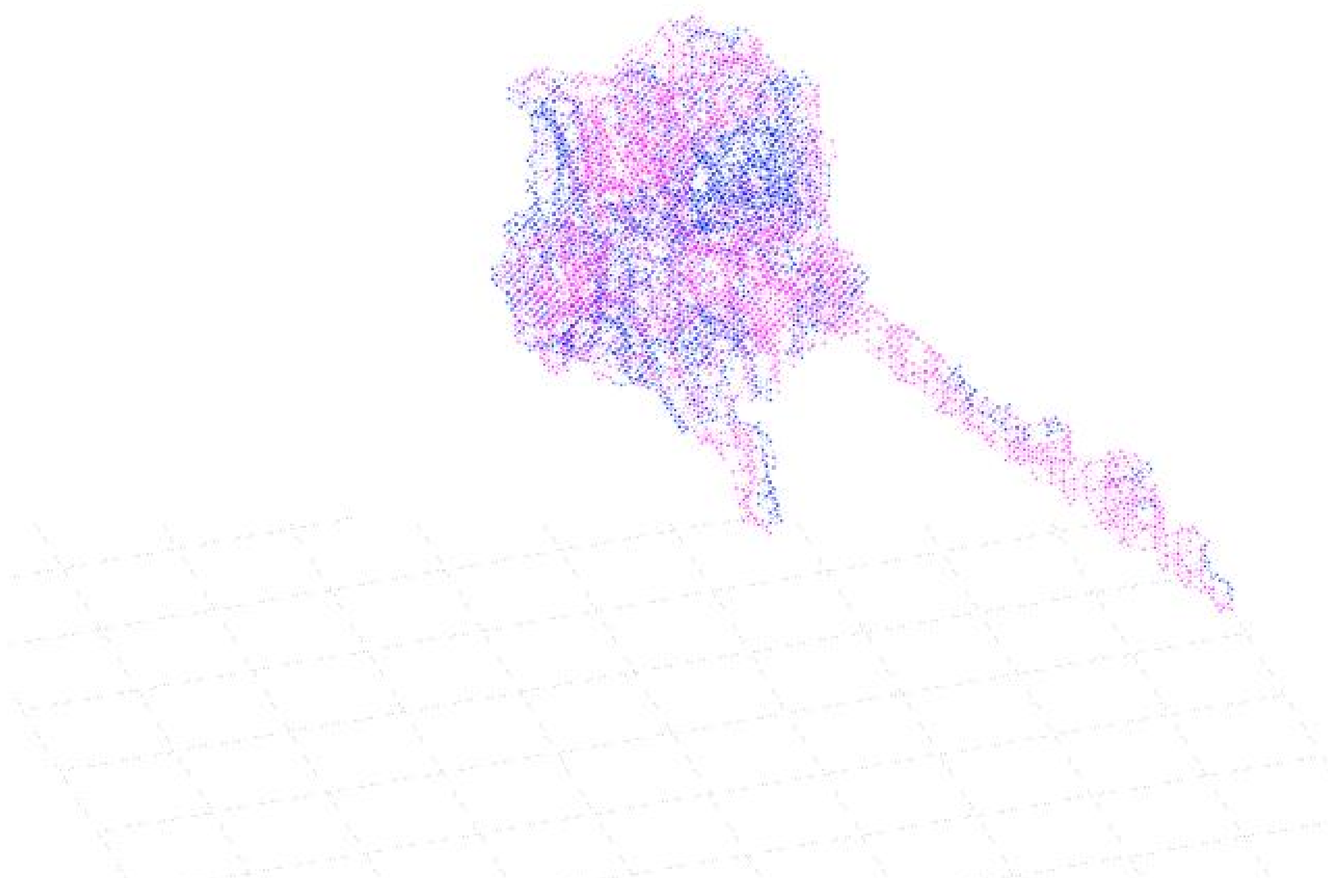
График 23. Двуполая трёхмерная «жизнь», правило «1..9, 4..9, 3». Результат.



Кроме того, часть правил, к примеру 1..9, 4..9 2..2, при общей стабильности развития, иногда дают уходящие в бесконечность диагональные «лучи»; это вообще характерно для числа рождения противоположного пола равного двум.

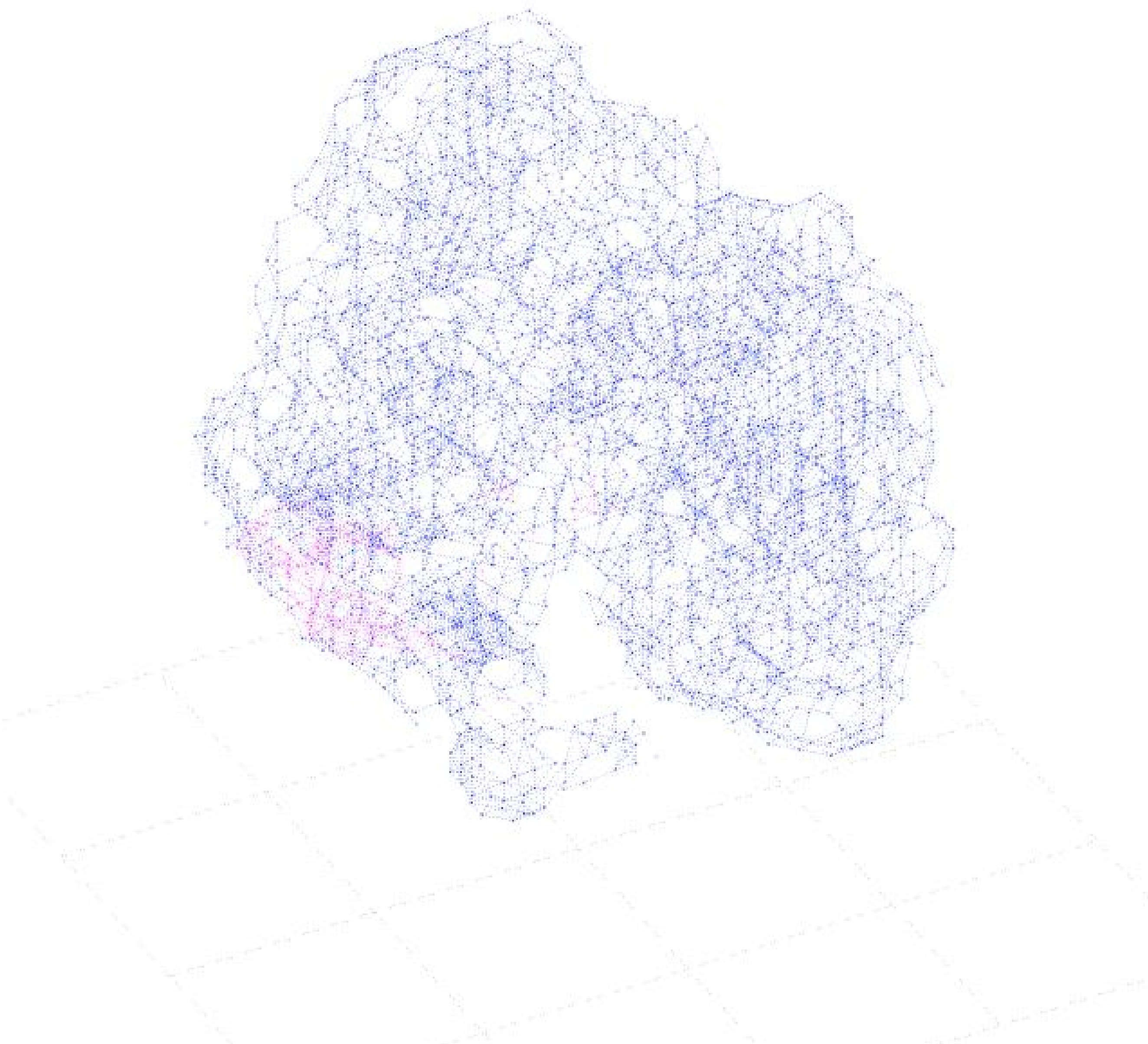
Возможно, эти «лучи» могли бы быть аналогами «самолётов» плоской жизни, и тогда в объёме тоже можно было бы создать машину Тьюринга; но, поскольку возможен ход процесса обратно по «лучу», это предположение представляется скорее сомнительным.

График 24. Двуполая трёхмерная «жизнь», правило «1..9, 4..9, 2..2». Процесс.



Дополнительно, чисто визуально интерес представляют 1..9, 6..9, 1..3; 1..9, 5..8, 1..2; и 1..9, 6..8, 1..4; которые дают интересные «конструтивистские» процессы и структуры.

График 25. Двуполая трёхмерная «жизнь», правило «1..9, 6..9, 1..3». Процесс.

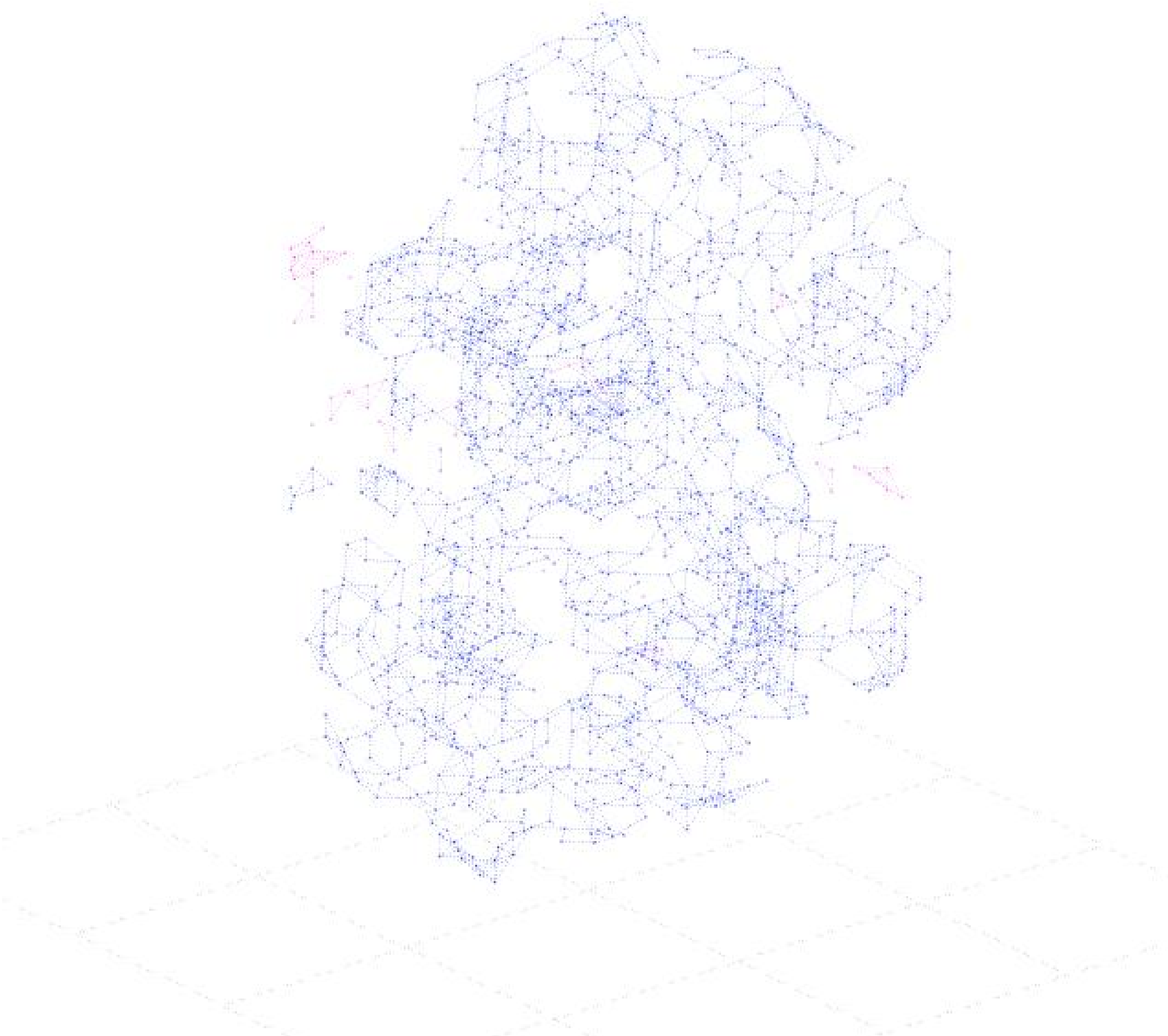


На базе 2..7 оптимальны правила

2..7, 5..6, 1..4
2..7, 5..6, 1..5
2..7, 5..5, 1..8
2..7, 5..5, 1..9
2..7, 5..5, 1..7.

Выход первых двух почти полностью однополый, вторых трёх двуполый.

График 26. Двуполая трёхмерная «жизнь», правило «2..7, 5..6, 1..4». Результат.

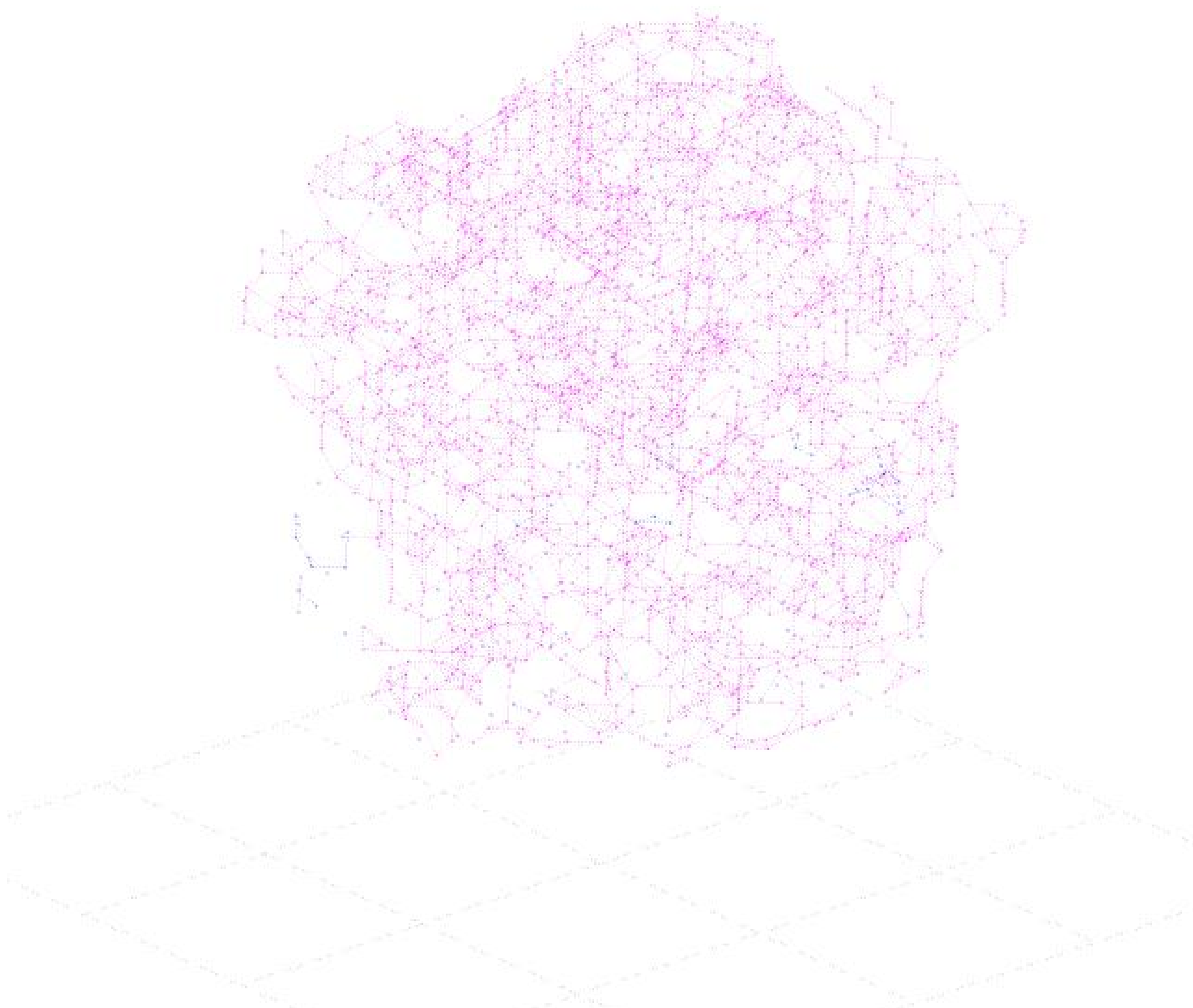


На 2..8 оптимальный выход дают правила

2..8, 5..8, 2..5
2..8, 4..6, 3..9
2..8, 5..9, 2..5
2..8, 4..7, 3..9
2..8, 5..6, 2..9.

Результат тем скорее однополый, чем больше масштаб процесса.

График 27. Двуполая трёхмерная «жизнь», правило «2..8, 5..8, 2..5». Результат.

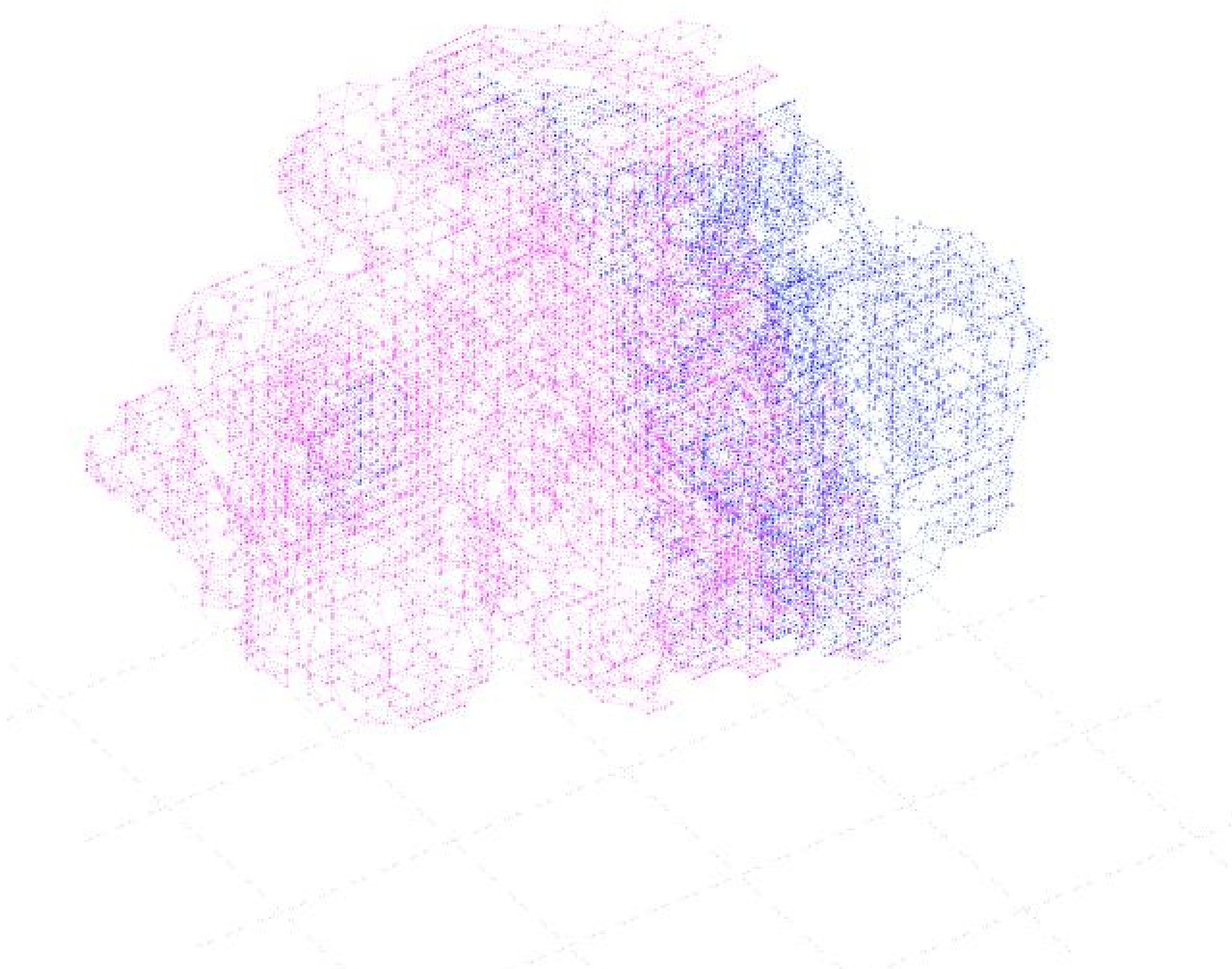


На базе 2..9 наиболее интересны

2..9, 5..9, 1..2
2..9, 5..6, 2..4
2..9, 5..6, 1..3
2..9, 6..9, 1..4
2..9, 5..5, 1..4.

Результат, обычно, двуполый.

График 28. Двуполая трёхмерная «жизнь», правило «2..9, 5..9, 1..2». Результат.

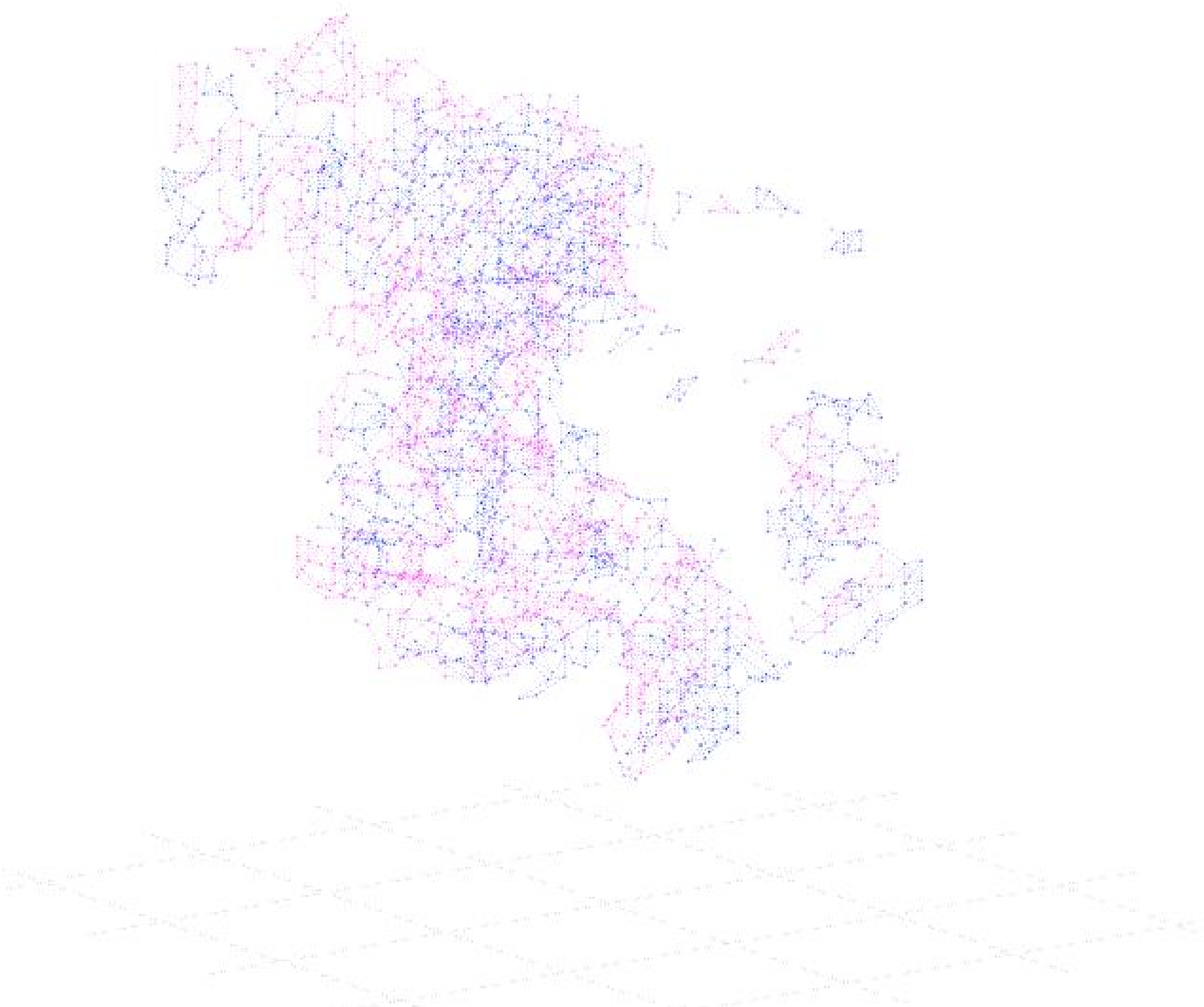


База 3..7 даёт слишком короткоживущие процессы. На 3..8 числа

3..8, 4..9, 2..2
3..8, 3..3, 2..3
3..8, 5..5, 1..4
3..8, 5..5, 1..5
3..8, 4..8, 2..2

создают двуполые конструкции. Сам процесс интересный, но, к досаде, довольно короткий.

График 29. Двуполая трёхмерная «жизнь», правило «3..8, 3..3, 2..3». Результат.

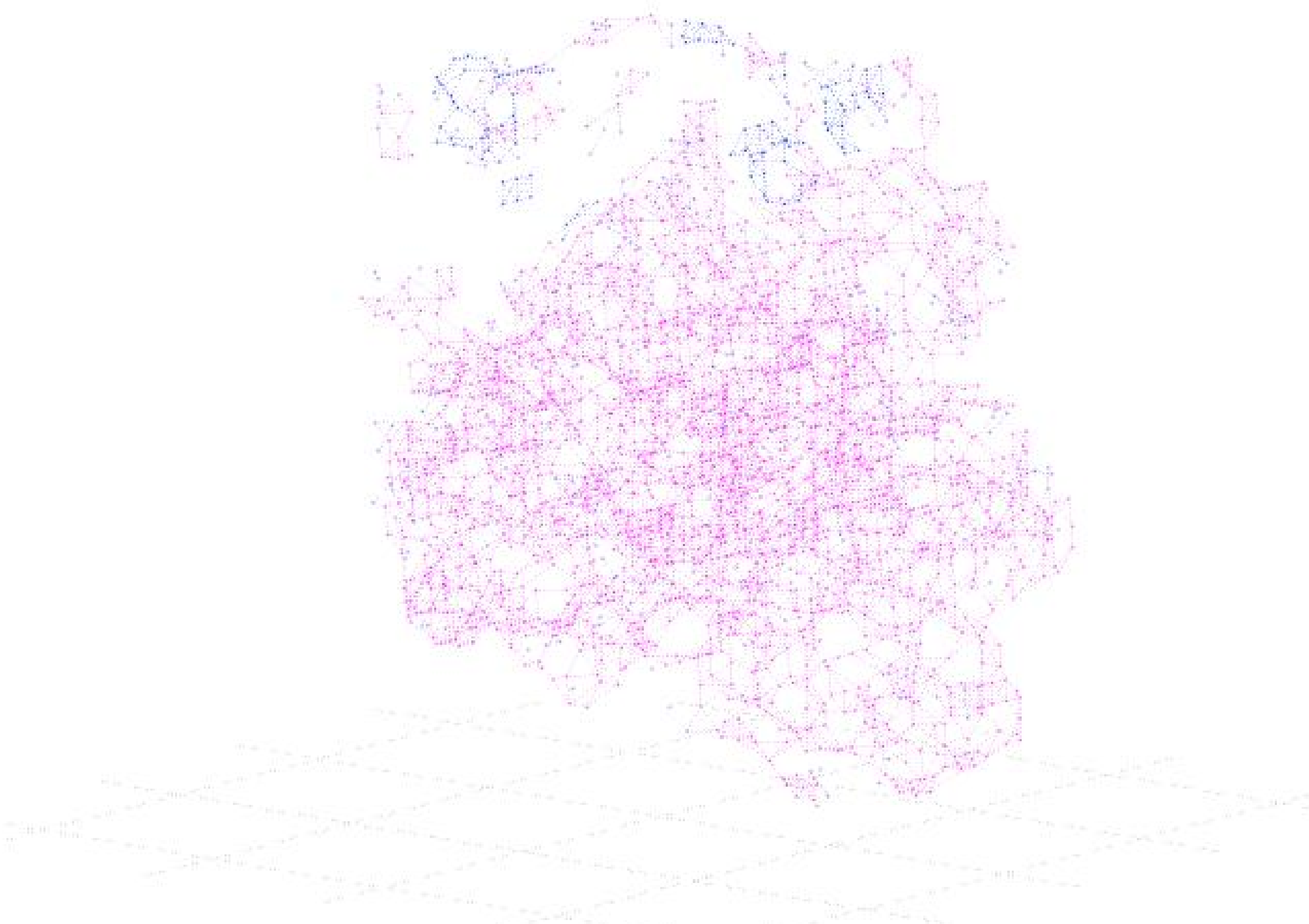


На базе 3..9 правила

3..9, 4..8, 3..7
3..9, 5..8, 2..4
3..9, 5..8, 2..7
3..9, 5..6, 2..4
3..9, 4..7, 3..4

задают процессы более долгоиграющие, но довольно локальные. Результат обычно однополый.

График 30. Двуполая трёхмерная «жизнь», правило «3..9, 4..8, 3..7». Результат.

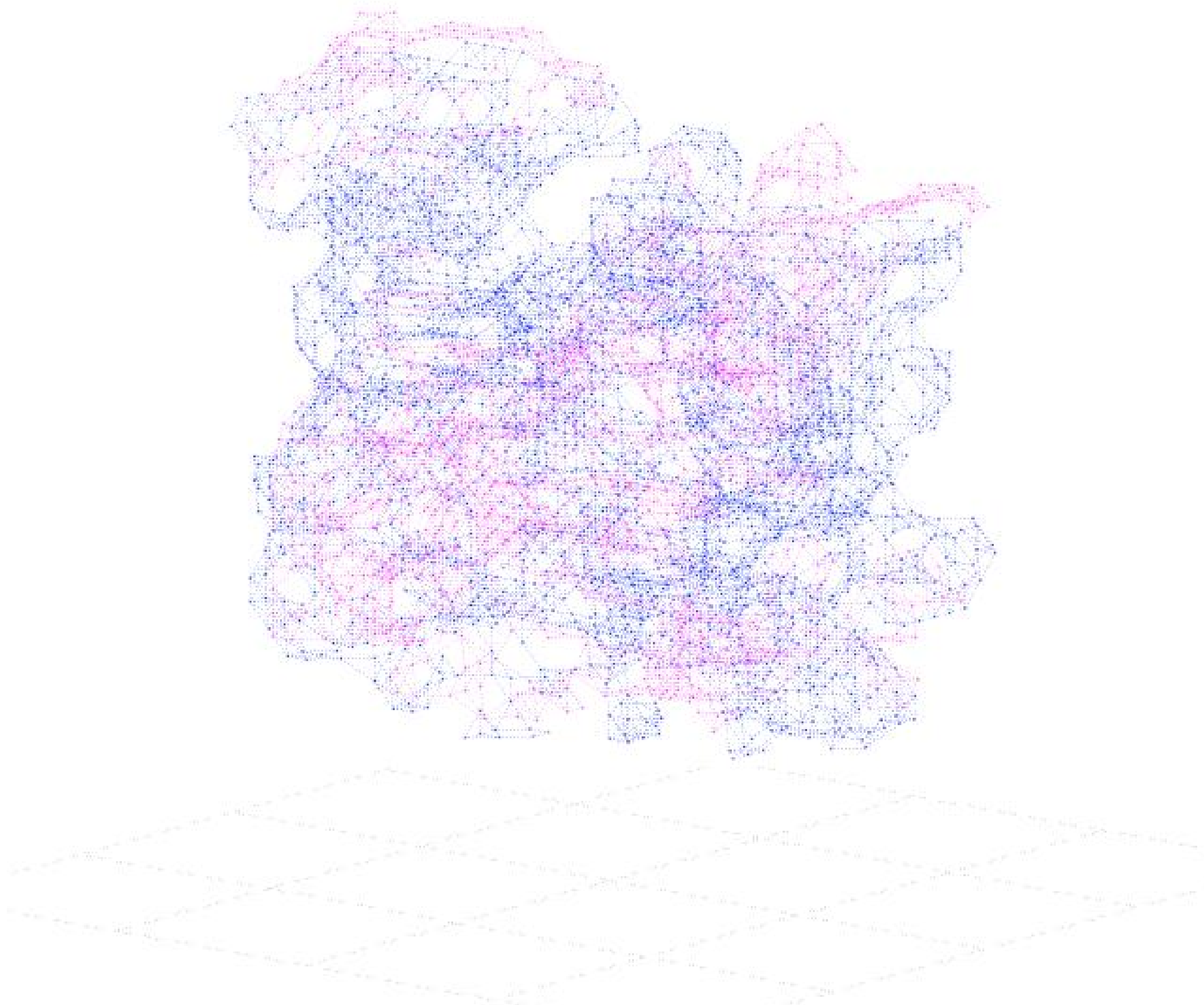


По базе 4..9 достаточно длительные процессы дают только два варианта правил:

4..9, 5..6, 1..3
4..9, 5..8, 1..3.

Выход двуполый, результат обычно локальный, и быстро сходит на нет; в исключениях длится чуть дольше.

График 31. Двуполая трёхмерная «жизнь», правило «4..9, 5..6, 1..3». Результат.



В целом, эта разновидность «жизни» представляется описывающей мало жизнь как таковую. Больше похоже на то, что это модель каких-то военных процессов, чем развития; что-то типа пространственной игры «Го». Понятно, подобие частично, но модели явно можно найти какое-то применение — впрочем, вне рамок этого исследования, поскольку в целом оно представляется скучным.

Взаимосвязаная двуполая трёхмерная «жизнь»

В другом варианте двуполой трёхмерной «жизни» для выживания «существа» требуется, чтобы число соседей его пола было в определённом диапазоне, тогда как другого пола — в ином. Как упомянуто ранее, возможны многие варианты такой игры, пола могут быть как антагонистичными, когда диапазон допустимых чисел соседей противоположного пола мал, так и альтруистичными, когда он больше диапазона своего пола. Взаимосвязь может быть однобокой, и так далее; здесь рассмотрен самый простой вариант, в котором диапазоны одни и те же для соседей своего и противоположного пола.

Результаты поиска по этой разновидности игры разумно разделить на две группы. В первой конечны и рост численности популяции, и её размеры; часть из найденных правил такого свойства приведена ниже.

1..9, 5..5, 1..4
1..9, 6..7, 1..6
1..9, 5..5, 1..5
1..8, 4..6, 3..4
1..8, 4..5, 3..6
1..8, 5..5, 2..7
1..7, 4..6, 3..5
1..7, 3..8, 3..3
1..7, 5..7, 1..2
2..9, 4..6, 3..4
2..9, 5..7, 3..8
2..9, 4..5, 3..6
2..8, 4..6, 3..4
2..8, 4..9, 3..3
2..8, 5..8, 2..3
2..7, 5..8, 2..8
2..7, 3..7, 3..3
2..7, 2..3, 2..2
3..9, 5..8, 3..7
3..9, 5..9, 3..4
3..9, 3..9, 3..3.

В целом, как и следовало бы ожидать, развитие в такой «жизни» напоминает бесполый вариант, но появляется «костяк» пронизывающий всю получающуюся структуру. В части правил образуются листы со сторонами разного пола, в других результат подобен губке, в третьих действительно больше всего похоже на кости. Цвета на графике зависят от полв.

График 32. Двуполая взаимосвязанная трёхмерная «жизнь», правило «1..9, 6..7, 1..6». Результат.

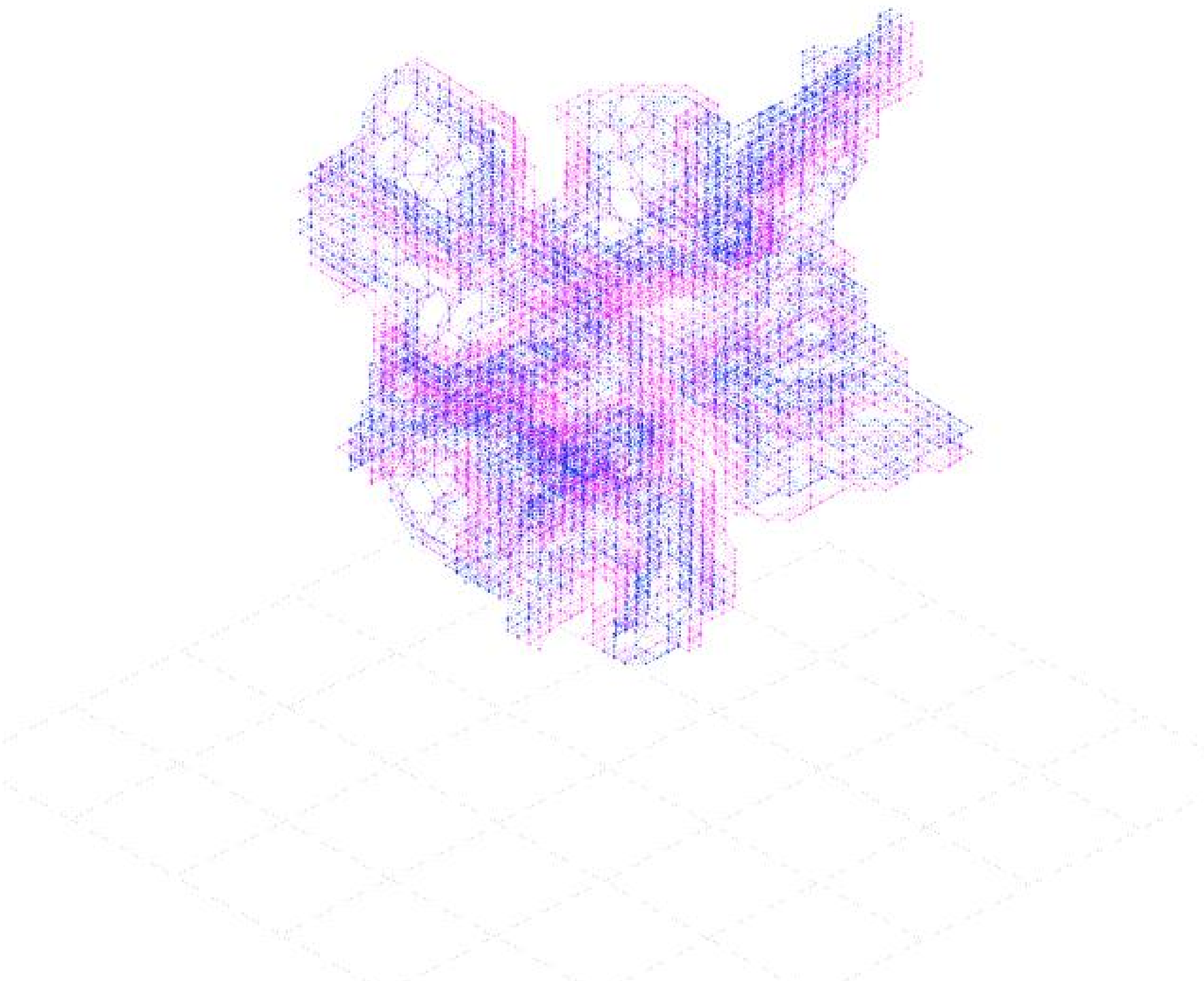


График 33. Двуполая взаимосвязанная трёхмерная «жизнь», правило «1..8, 5..5, 2..7». Результат.

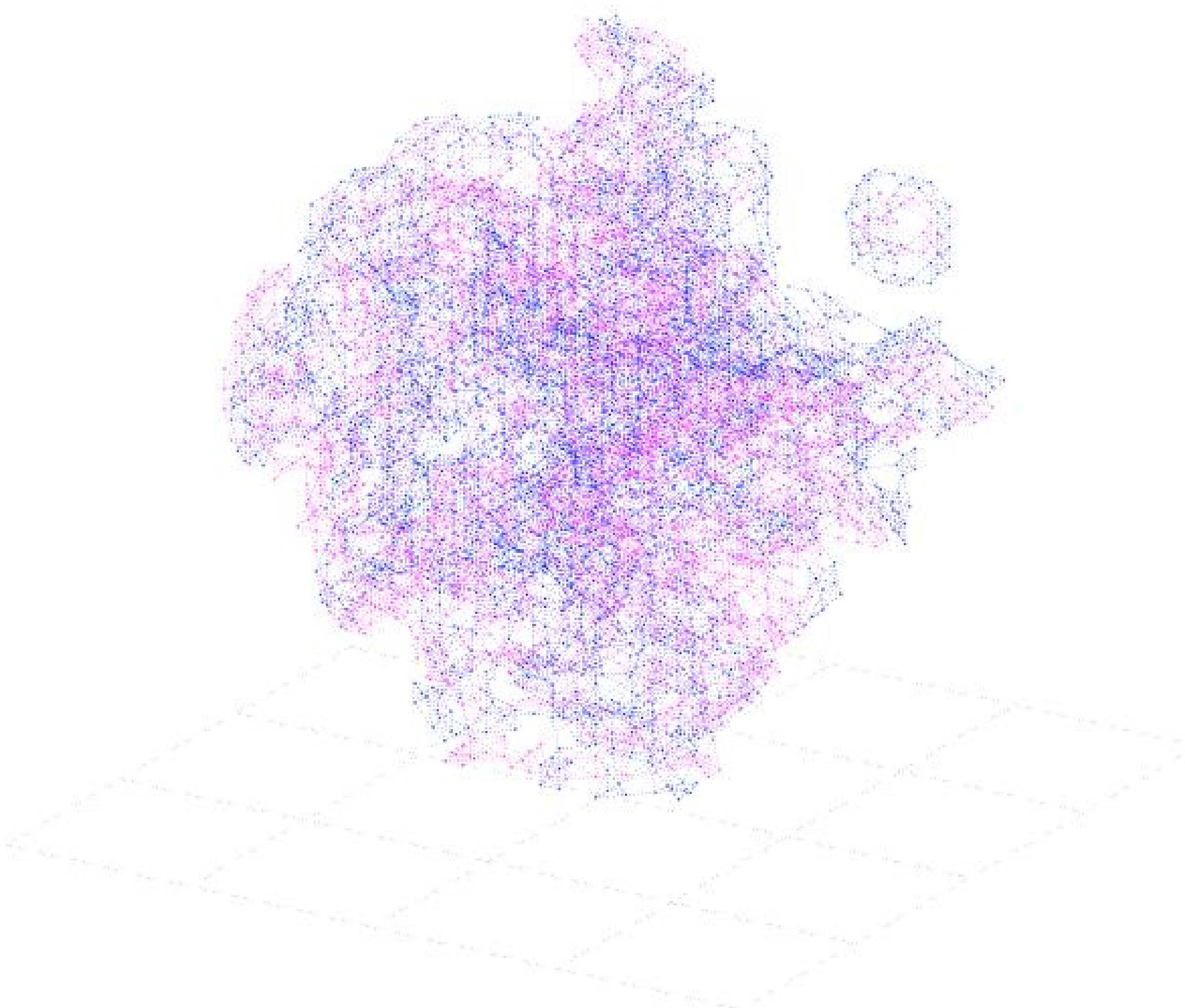


График 34. Двуполая взаимосвязанная трёхмерная «жизнь», правило «1..7, 5..7, 1..2». Результат.

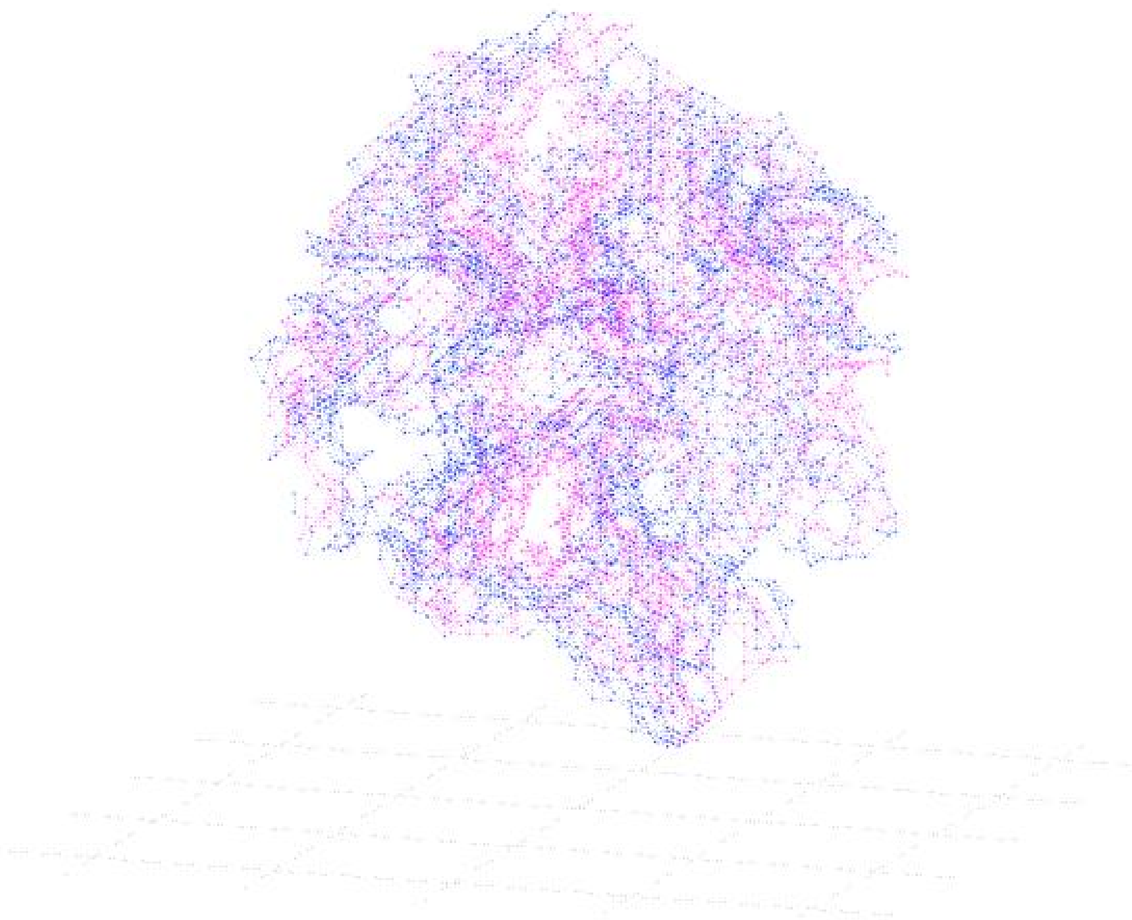


График 35. Двуполая взаимосвязанная трёхмерная «жизнь», правило «2..9, 5..7, 3..8». Результат.

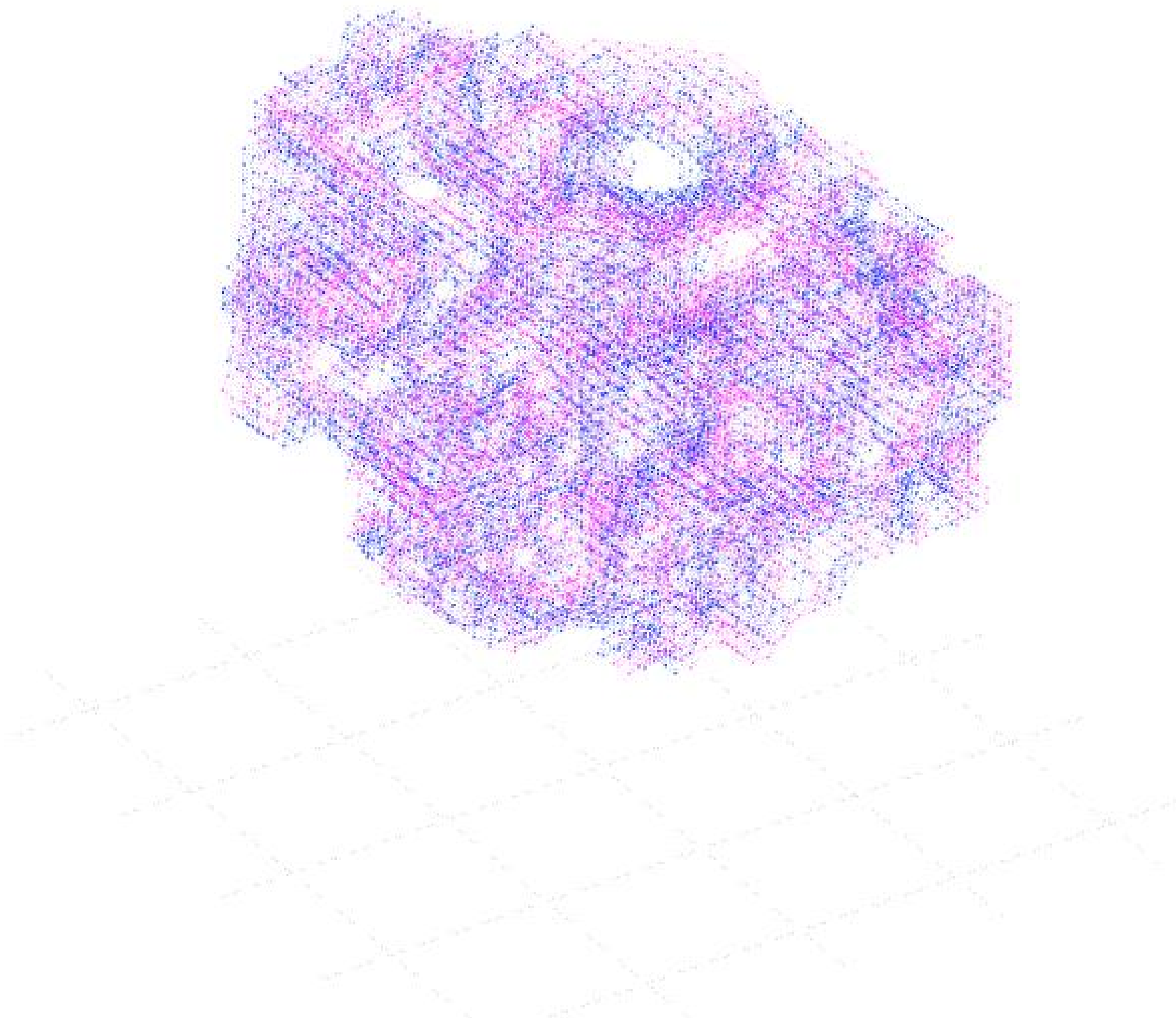
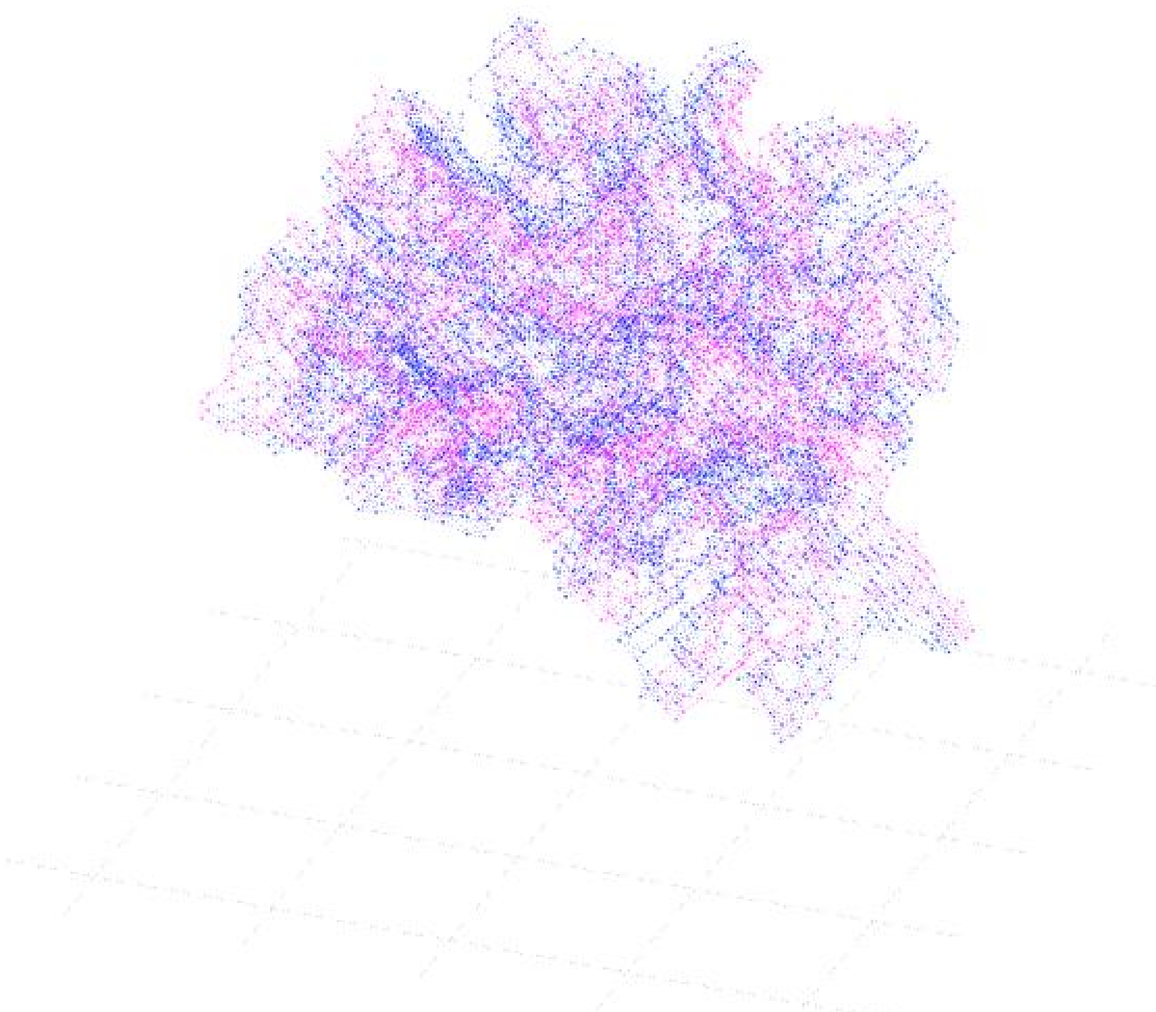
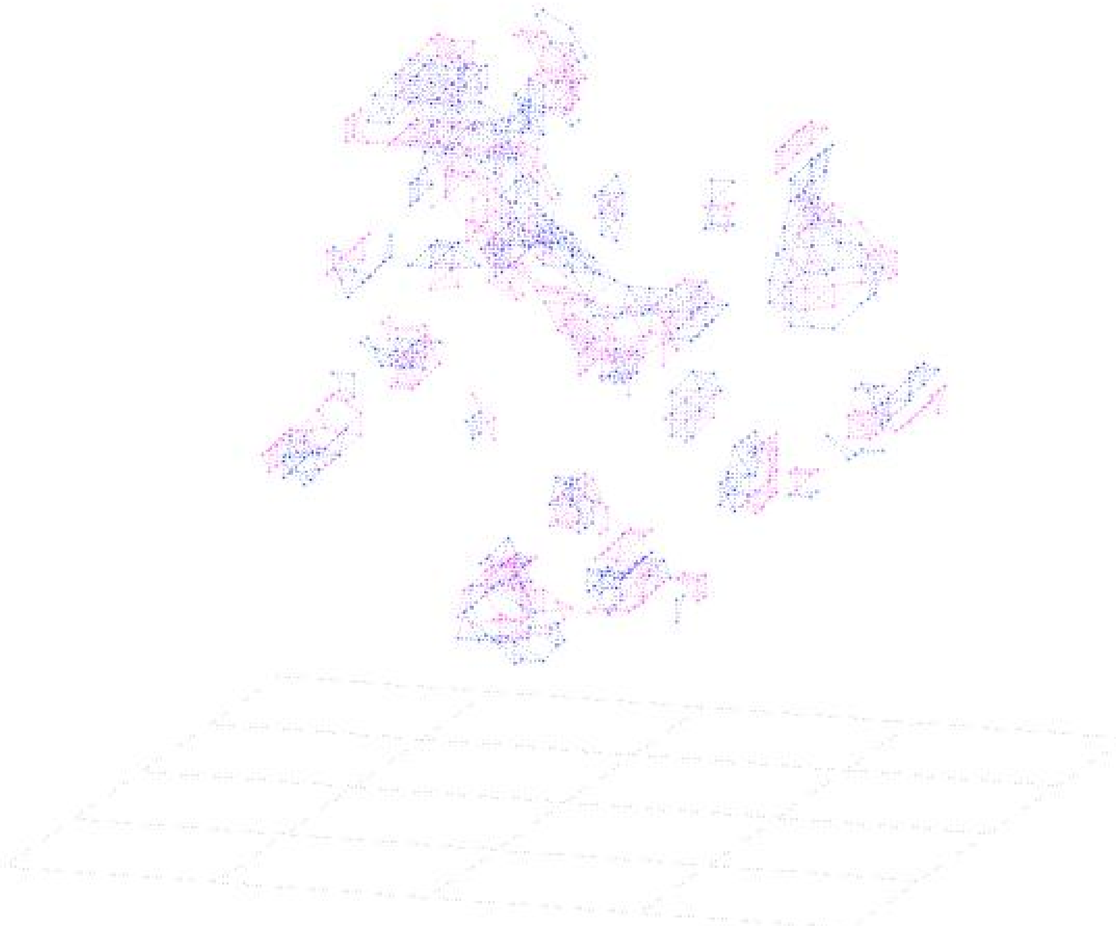


График 36. Двуполая взаимосвязанная трёхмерная «жизнь», правило «2..8, 5..8, 2..3». Результат.



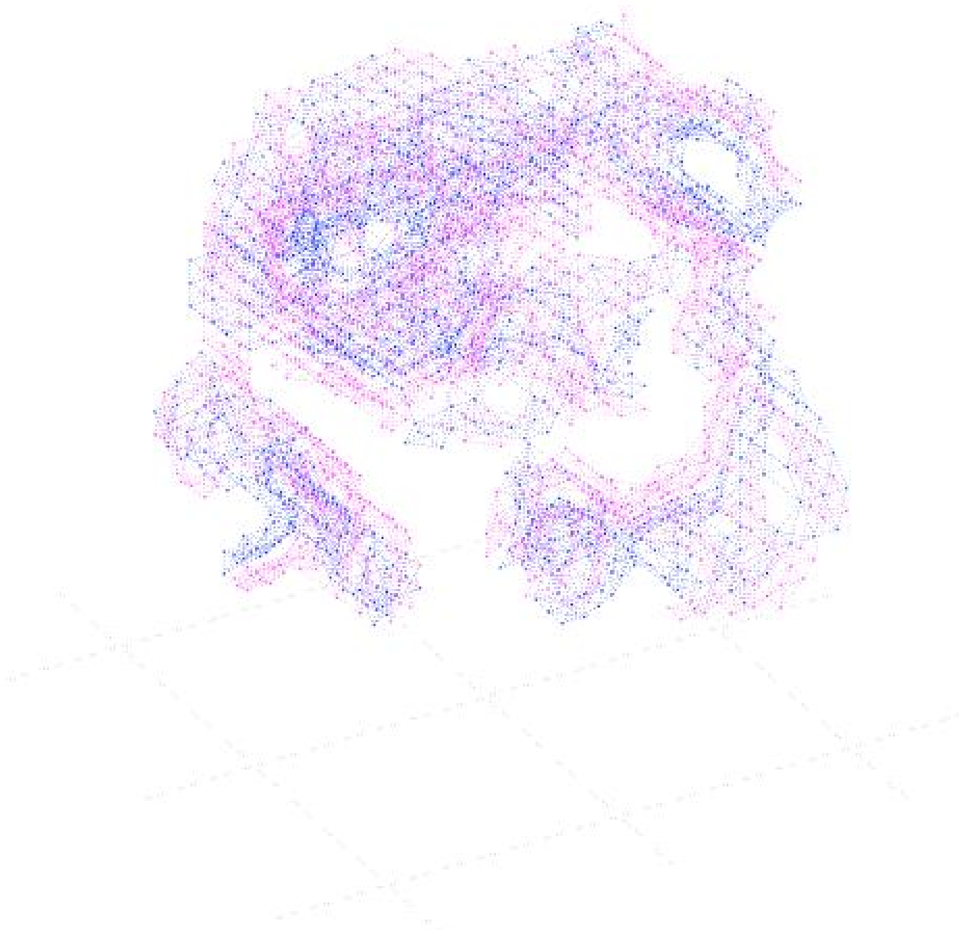
По большей части, процессы при таких правилах напоминают развёртку, что-то среднее между ростом, разворачиванием бутона, и решением сложной задачи по сопромату, но на части «стационарных» правил, с большими минимальными допустимыми числами соседей, процесс больше похож на плоскую «жизнь», с образованием отдельных областей и взаимодействием между ними, при котором часть областей исчезает, но появляются новые.

График 37. Двуполая взаимосвязанная трёхмерная «жизнь», правило «2..7, 5..8, 2..8». Процесс.



Крайней базой для таких правил оказывается диапазон 3..9 — с его уменьшением или повышением минимального допустимого числа соседей процесс превращается в выкипание с минимальным или нулевым остатком.

График 38. Двуполая взаимосвязанная трёхмерная «жизнь», правило «3..9, 5..8, 3..7». Результат.



В целом, это заметно больше похоже на жизнь, чем всё рассмотренное до того, но на жизнь растительного свойства. Растения, как известно, тоже бывают двуполыми; из них, впрочем, это ближе всего многоклеточным водорослям.

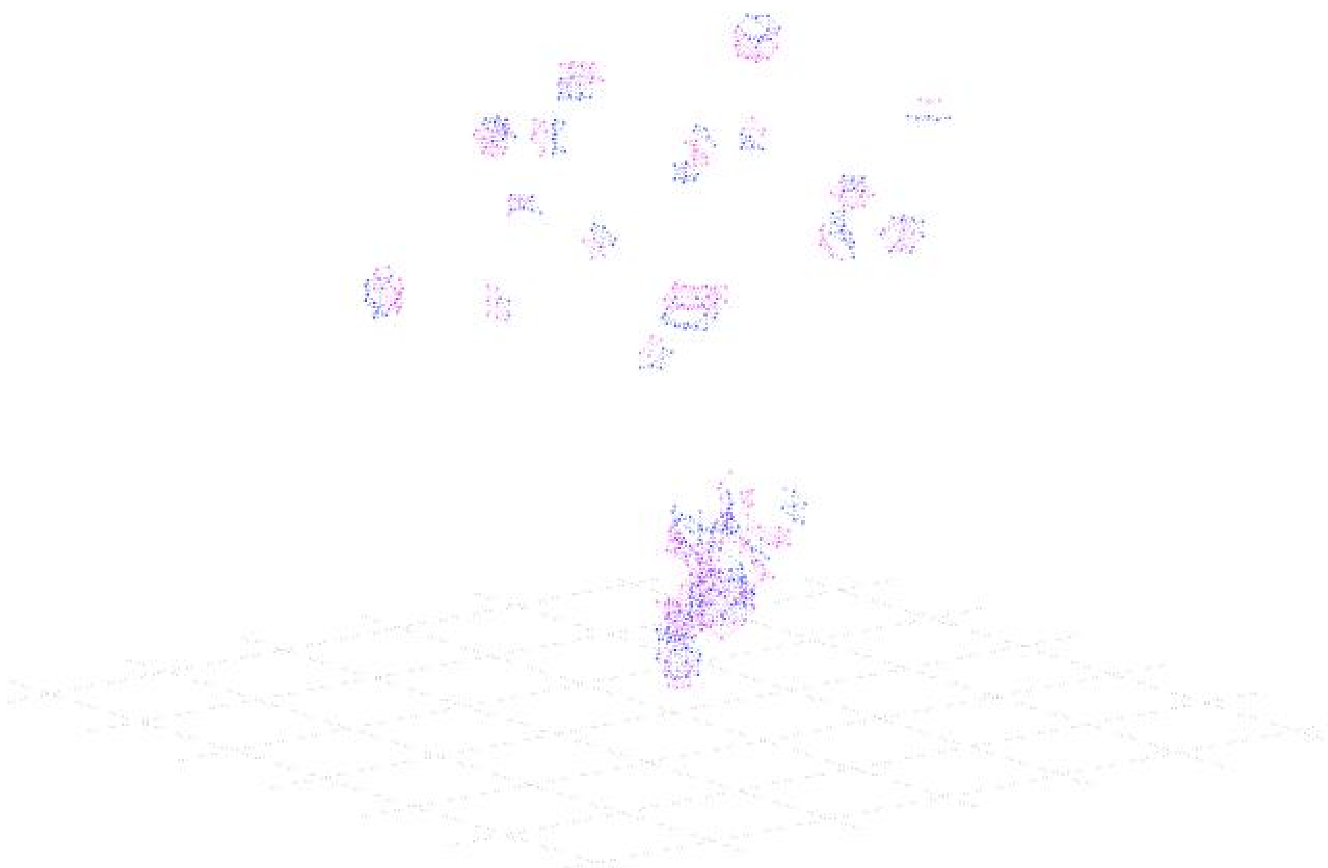
Во второй представляющей интерес группе правил, при умеренном росте численности значителен рост пространственных размеров «популяции»; такие правила были найдены дополнительной модификацией автомата поиска.

В первой, выделенной ручным просмотром, подгруппе таких правил

1..8, 4..9, 1..1
1..8, 5..8, 2..3
1..8, 6..8, 2..9
2..7, 5..9, 1..3,

рост размеров обусловлен простым разрастанием; развитие, принципиально подобное уже рассмотренному ранее, просто заходит достаточно далеко в смысле пространства.

График 39. Двуполая взаимосвязанная трёхмерная «жизнь», правило «2..7, 5..9, 1..3». Результат.



Во второй подгруппе правил,

1..7, 3..3, 1..1
1..9, 5..8, 2..3
1..9, 5..9, 2..3
2..9, 5..7, 2..3
2..9, 5..8, 2..3
2..9, 5..9, 2..3,

разрастание обусловлено ранее уже рассмотренными «лучами», которые к большим числам превращаются в широкие «панели». Простой «луч», с одним и тем же движущимся маленьким осциллятором на конце, уходит в бесконечность всегда, тогда как панель, в силу флуктуаций в исходной своей затравке, может либо превратиться в узкий «луч», либо остановиться.

График 40. Двуполая взаимосвязанная трёхмерная «жизнь», правило «1..7, 3..3, 1..1». Процесс.

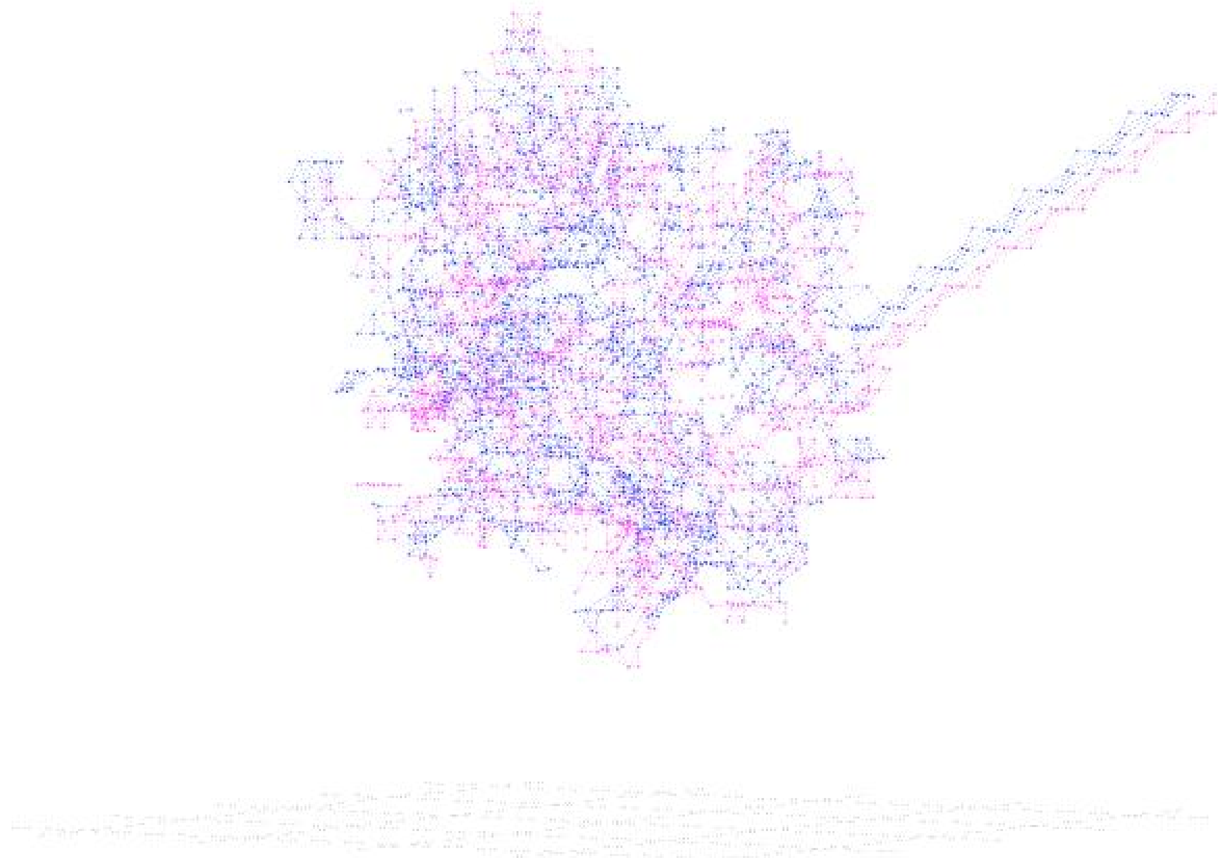
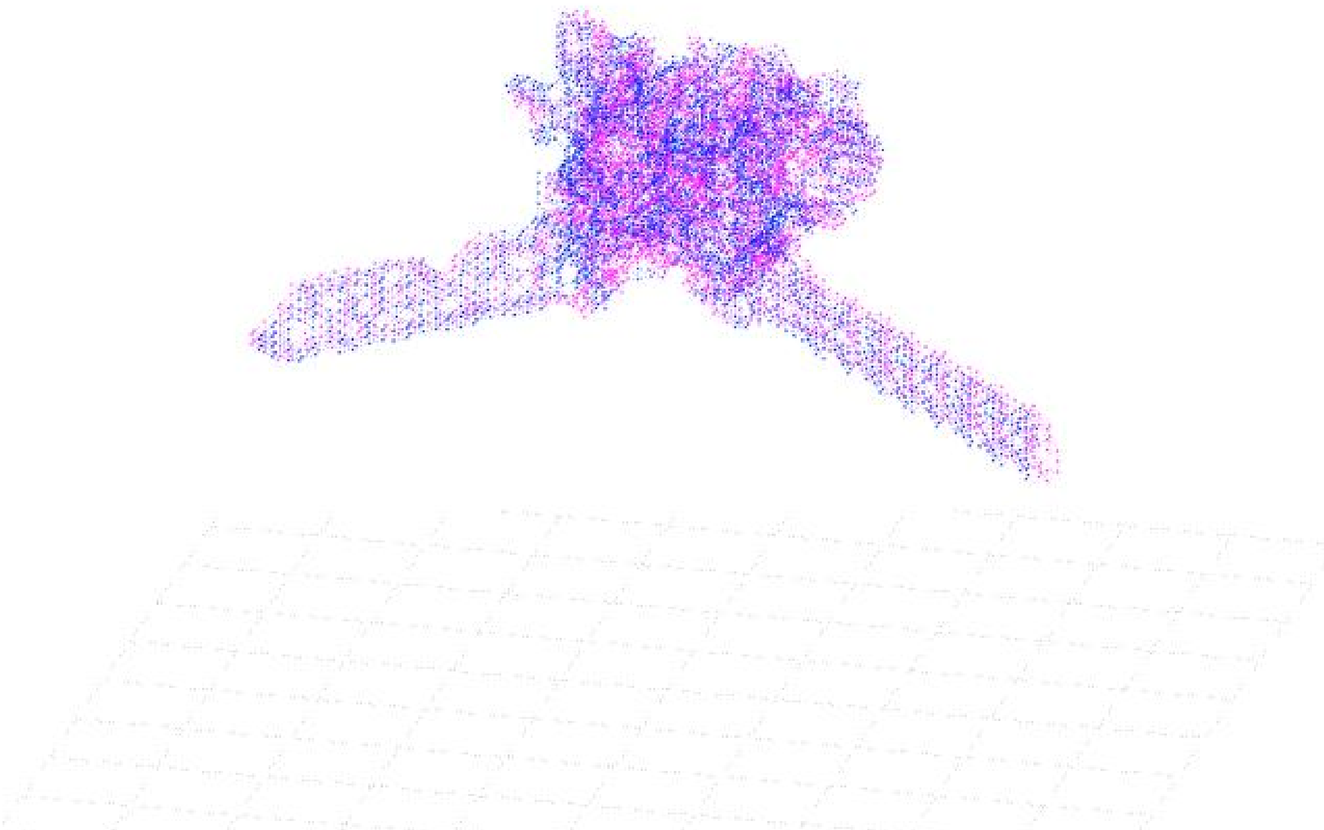


График 41. Двуполая взаимосвязанная трёхмерная «жизнь», правило «2..9, 5..9, 2..3». Результат.

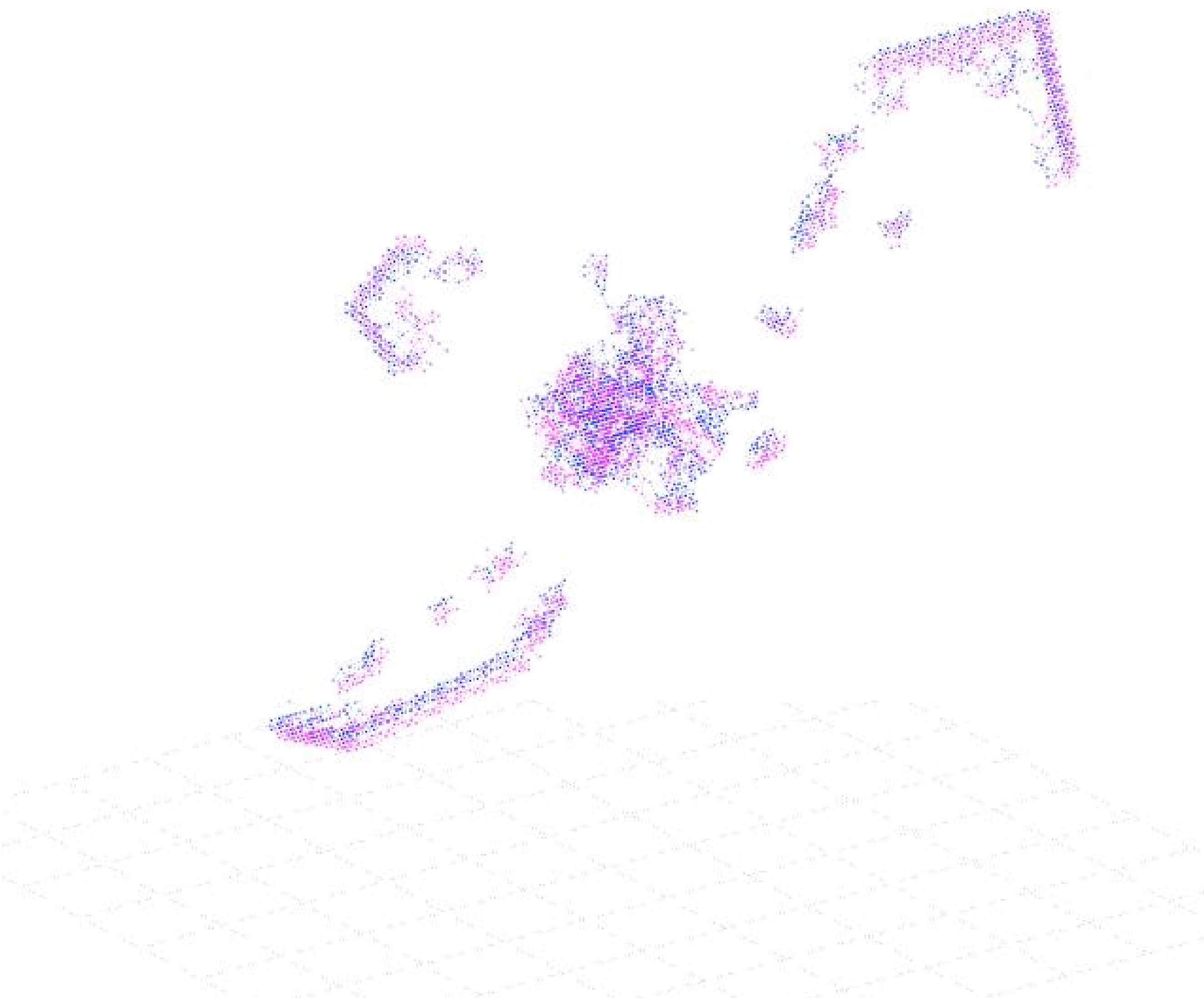


Следующая группа правил,

3..9, 2..8, 2..2
3..9, 2..9, 2..2
3..9, 3..8, 2..2
3..9, 3..9, 2..2,

создаёт весьма примечательные расходящиеся в бесконечность угловые «волны».

График 42. Двуполая взаимосвязанная трёхмерная «жизнь», правило «3..9, 2..8, 2..2». Процесс.



Это уже кое-что; возвращение процесса обратно по следам «волны» представляется сомнительным, и в принципе что-то логическое на такой базе уже можно было бы построить. Единственное — стартовая затравка, с высокой вероятностью запускающая «волны», сама достаточно быстро «выкипает», так что предположительное вычисление выходит одношаговым.

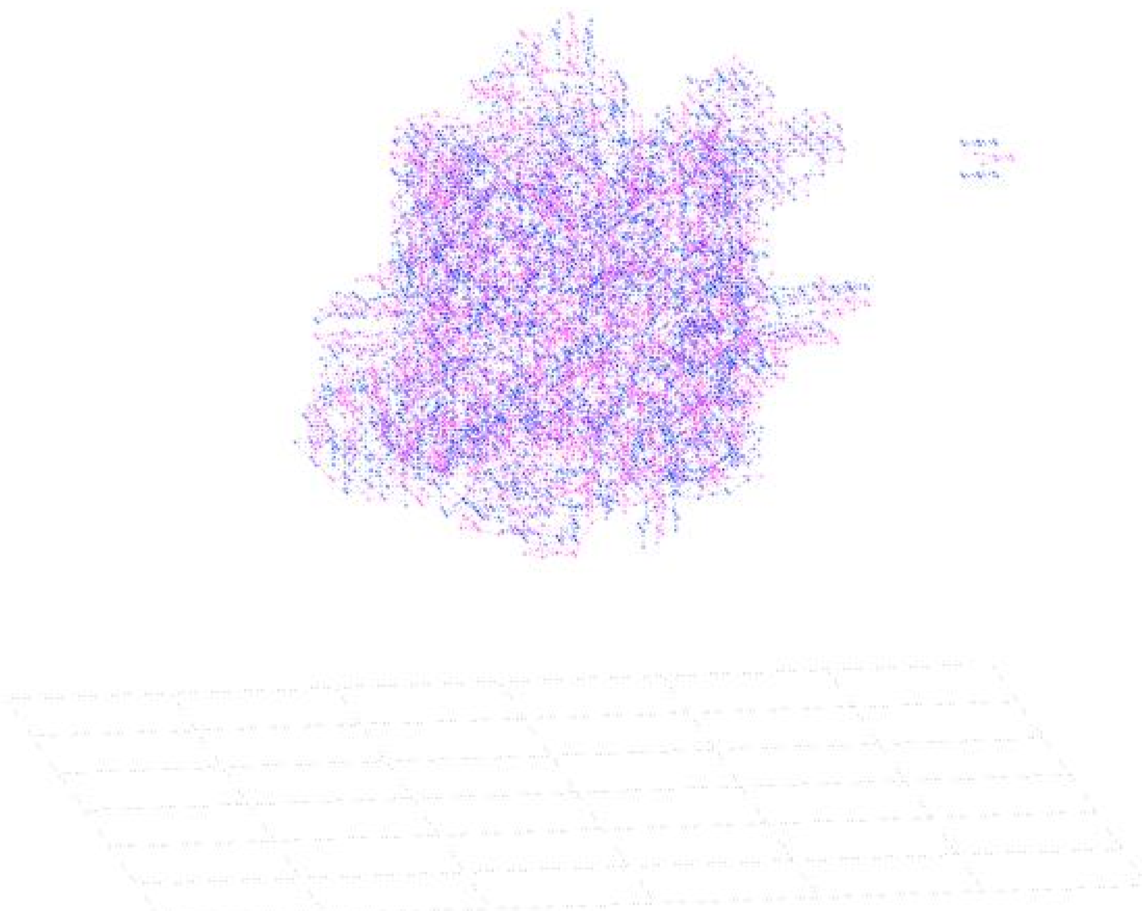
Наконец, группа правил

1..9, 2..2, 4..5
3..9, 2..2, 1..1
3..9, 2..2, 1..2
3..9, 1..2, 2..2
3..9, 1..1, 1..2
4..7, 2..3, 1..1
4..7, 1..3, 1..1
4..7, 1..1, 1..3
4..7, 1..1, 2..3
4..8, 1..3, 1..1
4..8, 1..1, 1..3
4..9, 2..3, 1..1
4..9, 1..3, 1..1
4..9, 1..2, 2..2
4..9, 1..1, 1..3
4..9, 1..1, 2..3
5..8, 1..3, 1..1
5..9, 2..3, 1..1
5..9, 1..3, 1..1
5..9, 1..1, 1..3
5..9, 1..1, 2..3

создаёт такие же «самолёты», как в плоской «жизни», но в объёме, и в части правил эти «самолёты» выходят довольно большими.

Правило «1..9, 2..2, 4..5» создаёт большие плотные конструкции, в процессе развёртки которых с умеренной вероятностью в пространство улетают «самолёты».

График 43. Двуполая взаимосвязанная трёхмерная «жизнь», правило «1..9, 2..2, 4..5». Процесс.



Правила

3..9, 2..2, 1..1
3..9, 2..2, 1..2
3..9, 1..2, 2..2
3..9, 1..1, 1..2

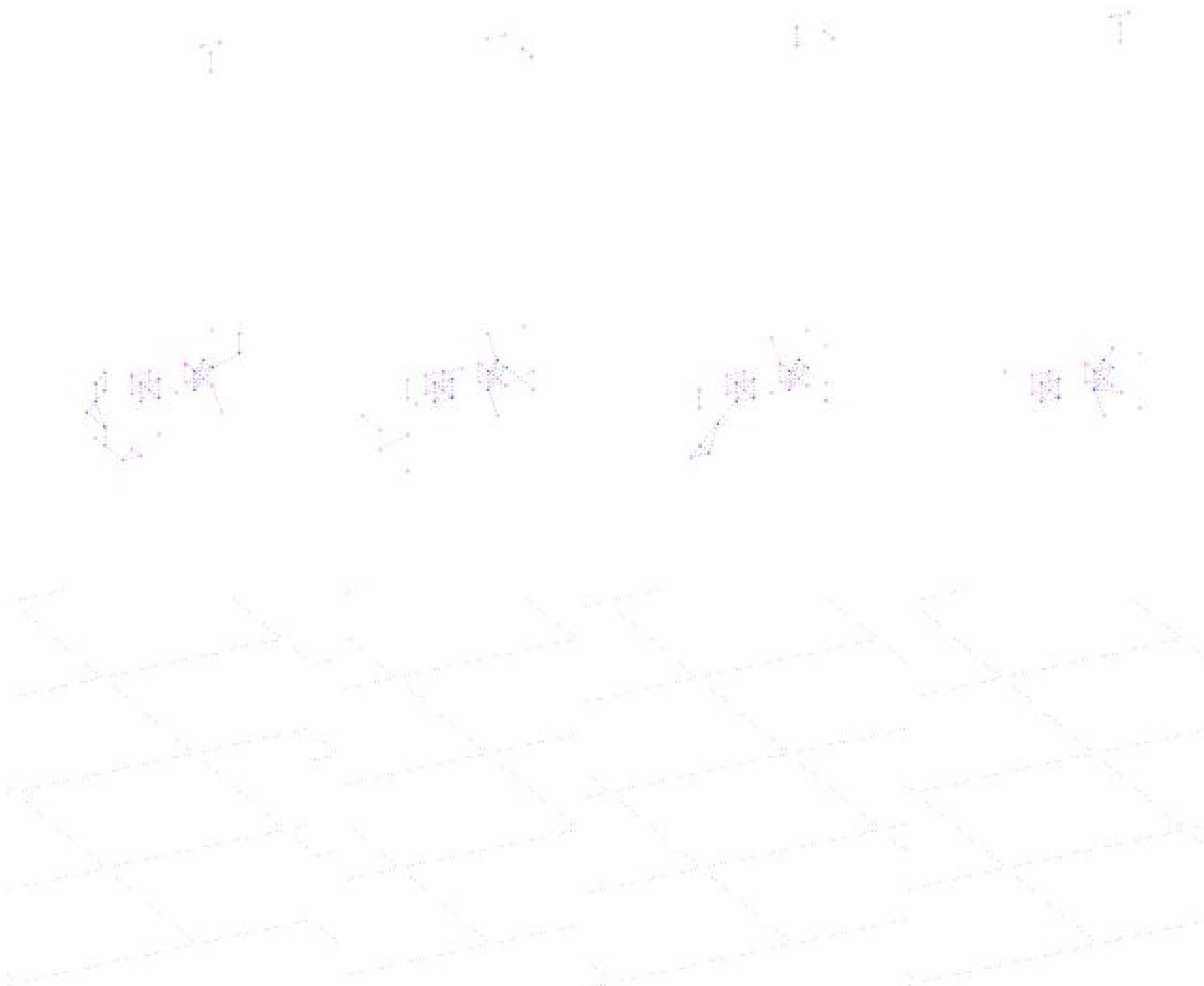
в большинстве случаев создают быстро «выкипающие» до нуля конструкции, с вылетом одного-двух «самолётов» в процессе. Между тем, изредка происходит иное.

Формируется «атом», двуполое ядро «протона», окружённое двуполым же разреженным облаком «электрона», быстро меняющим форму. Иногда процесс это циклический осциллятор, причём количество шагов может быть довольно большим; иногда цикличность кажущаяся, и через определённое время сваливается до циклического осциллятора, «протона» без облака, или исчезновения «атома». Более того, в обоих случаях «атом» может испускать «самолёты», в первом периодически, во втором внешне случайно, и самолёты эти могут быть разных размеров и сложности. На графике изображёны три шага процесса: справа «атом», слева испущенный им двухтактный «самолёт», если присмотреться, то на каждом шаге пола в нём меняются местами.

График 44. Двуполая взаимосвязанная трёхмерная «жизнь», правило «3..9, 1..2, 2..2». Процесс.

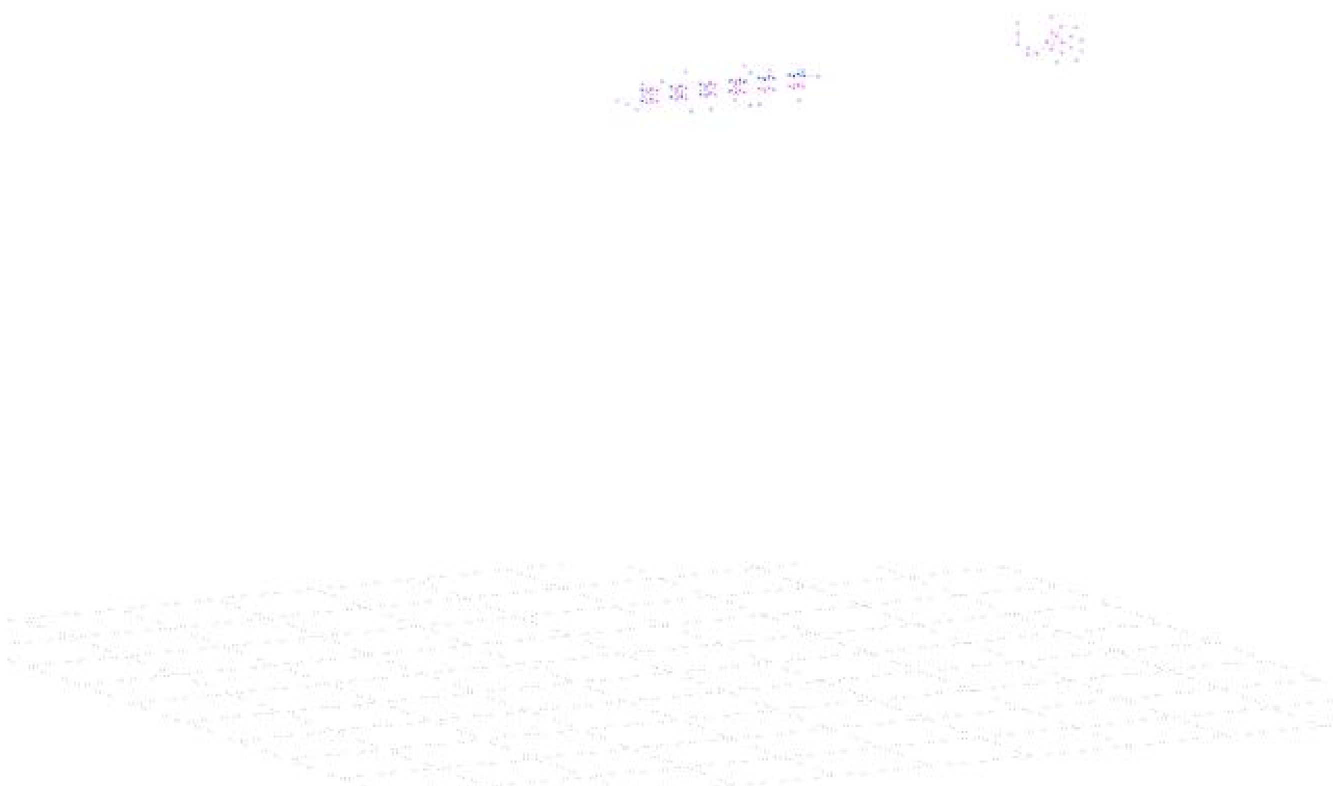
На графике «атом» находится справа, слева испущенный «атомом» самолёт-«фотон». Развитие продолжилось далее, через много шагов «атом» стал «двухпротонным», и продолжил время от времени испускать «фотоны».

График 45. Двуполая взаимосвязанная трёхмерная «жизнь», правило «3..9, 1..2, 2..2». Процесс.



Развитие продолжилось и дальше, и было принудительно остановлено на «пятипротонном» «атоме», продолжавшем периодически испускать «фотоны» разной степени сложности.

График 46. Двуполая взаимосвязанная трёхмерная «жизнь», правило «3..9, 1..2, 2..2». Процесс.

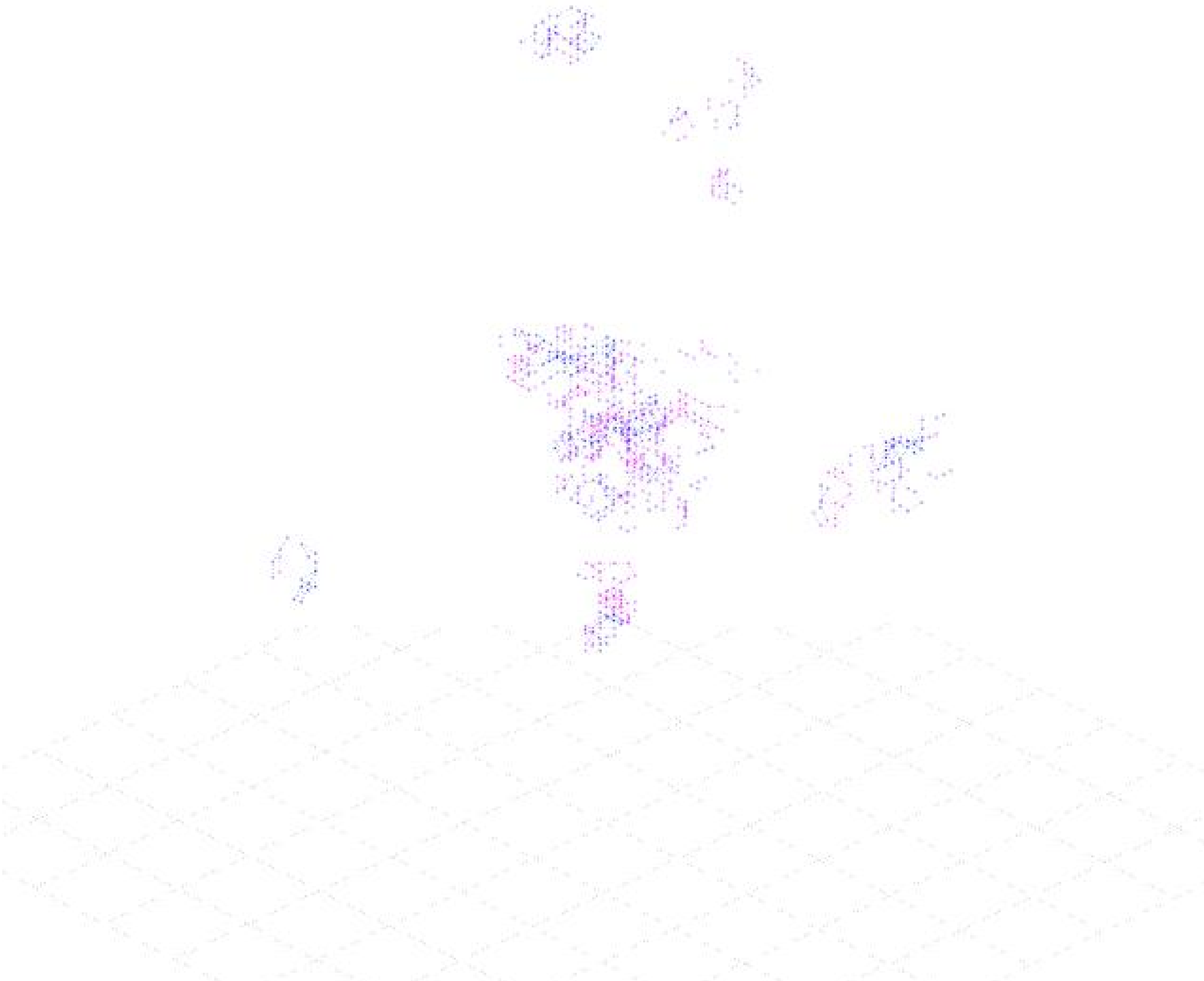


Правила

4..7, 2..3, 1..1
4..7, 1..3, 1..1
4..7, 1..1, 1..3
4..7, 1..1, 2..3

создают конструкции быстро выкипающие, с летящими во все стороны «самолётами».

График 47. Двуполая взаимосвязанная трёхмерная «жизнь», правило «4..7, 1..1, 2..3». Процесс.

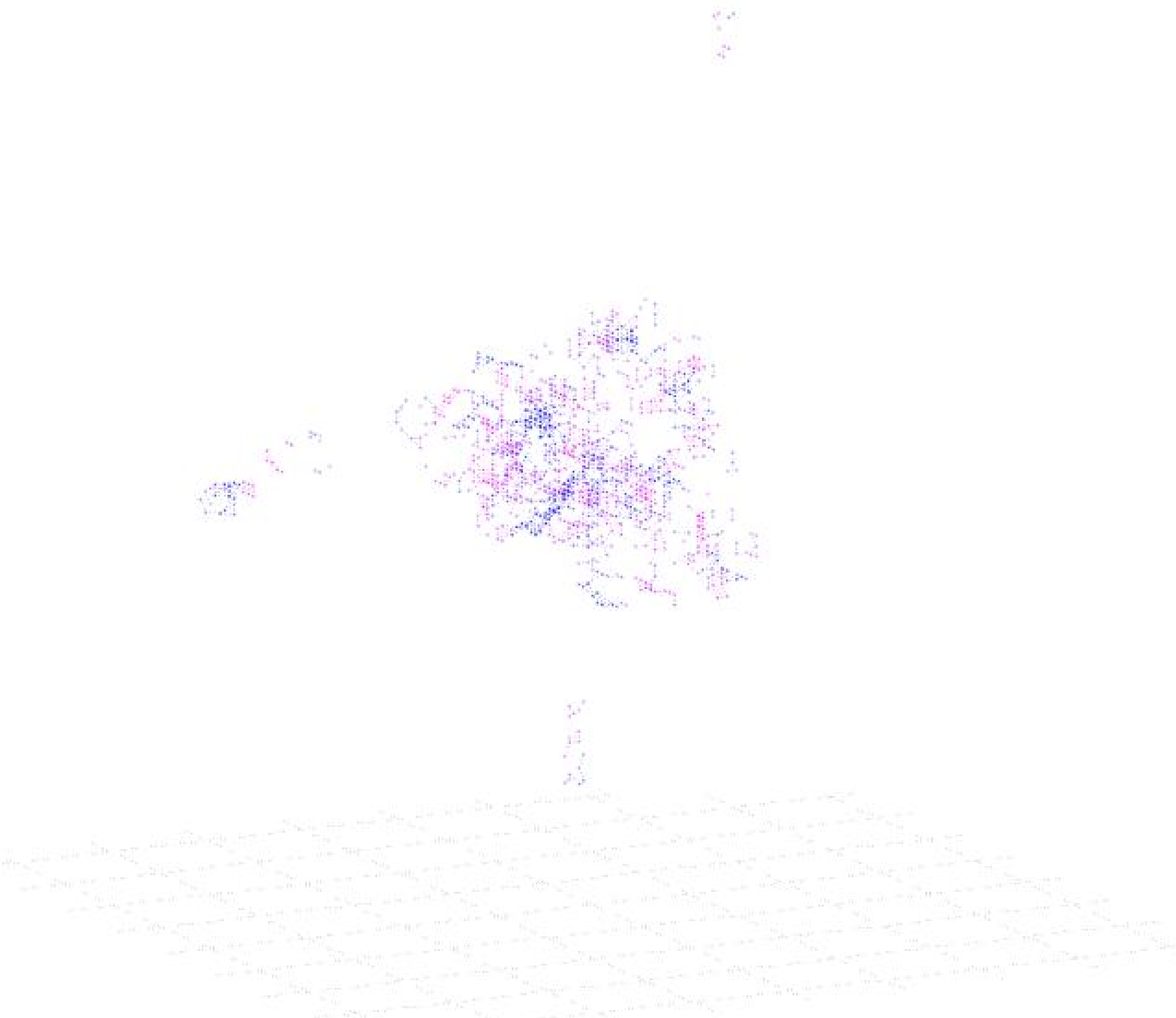


С правилами

4..8, 1..3, 1..1
4..8, 1..1, 1..3

«кипение» продолжается чуть дольше, но суть та же самая.

График 48. Двуполая взаимосвязанная трёхмерная «жизнь», правило «4..8, 1..3, 1..1». Процесс.

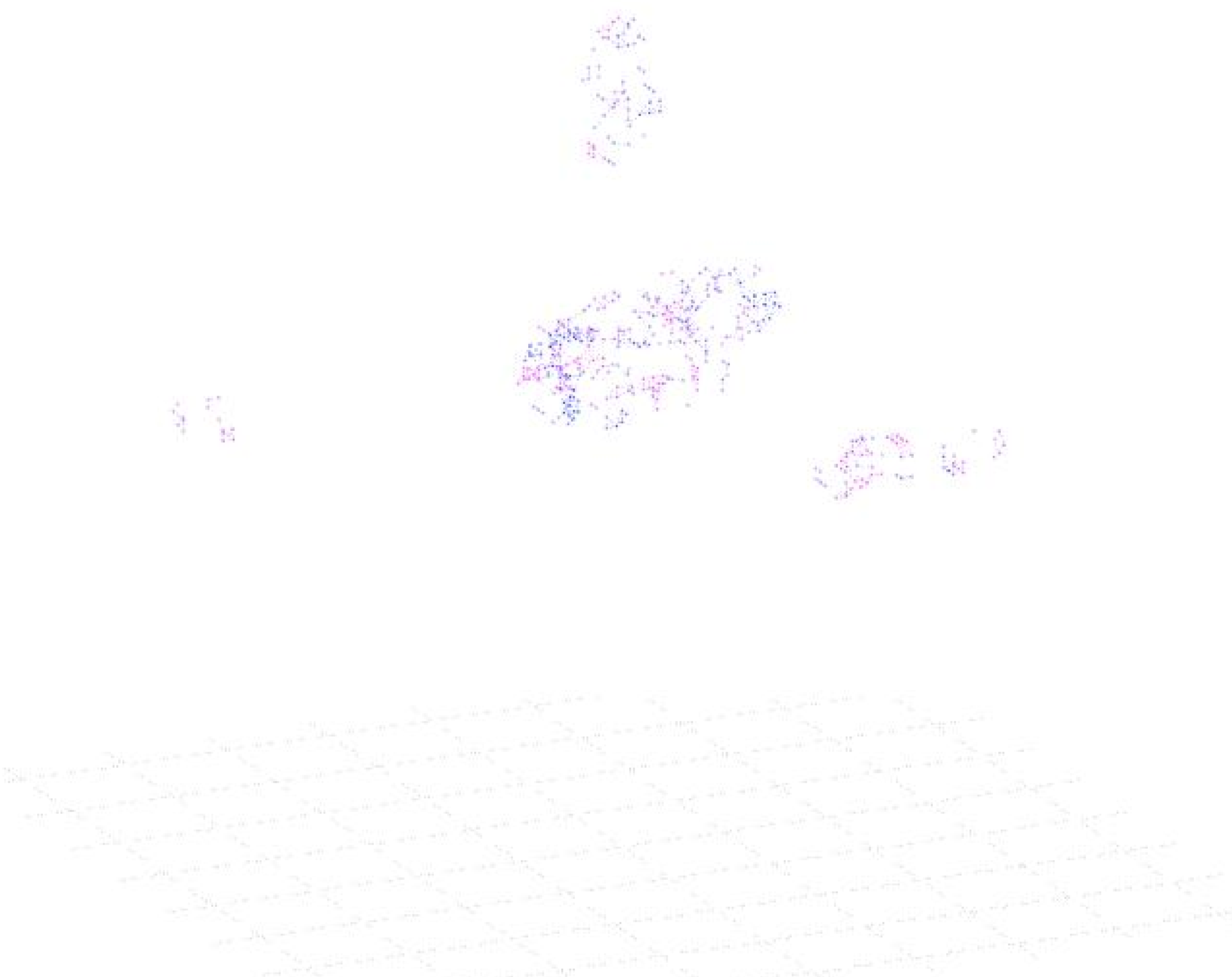


Ещё чуть дольше длится распад с правилами

4..9, 2..3, 1..1
4..9, 1..3, 1..1
4..9, 1..2, 2..2
4..9, 1..1, 1..3
4..9, 1..1, 2..3;

разлетающиеся «самолёты» оказываются довольно большими.

График 49. Двуполая взаимосвязанная трёхмерная «жизнь», правило «4..9, 1..3, 1..1». Процесс.



Правила

5..8, 1..3, 1..1
5..9, 2..3, 1..1
5..9, 1..3, 1..1
5..9, 1..1, 1..3
5..9, 1..1, 2..3

дают более динамичные, потому более короткоживущие результаты, и потому менее интересны.

Выводы

В обоих своих вариантах двуполая жизнь показала значительно более интересные результаты, чем бесполая.

Коллективный вариант, когда для выживания «существа» всё равно, какого именно пола соседи его окружают, по всей видимости, является промежуточным между бесполой и полноценной, взаимосвязанной двуполой. В нём достаточно, чтобы были две области разного пола с контактом между ними, внутренняя структура формируемых тел во много большей степени произвольна, и потому хаотична.

Взаимосвязанный же вариант, когда и для рождения, и для выживания требуются соседи обоих полов, более жёстким условием приводит к большему упорядочению, и, кроме формирования заметно более жизнеподобных статичных вариантов, позволяет достичь в объёме тех же сущностных результатов, что и на плоскости, а то и больших.

По ощущениям, такая трёхмерная «жизнь» может быть использована для моделирования довольно большого числа различных процессов, в разных областях знания.

Это то место, до которого я хотел дойти с трёхмерной «жизнью» двадцать лет назад. Дальнейшее, вероятно, дело более заинтересованных исследователей.