

<https://doi.org/10.3176/biol.1973.4.06>

УДК 576.3+581.14

ГЕН ШАНГИН-БЕРЕЗОВСКИЙ

## ГУМОРАЛЬНАЯ ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ В ПОПУЛЯЦИИ ОДНОКЛЕТОЧНЫХ

Ассоциации (скопления) особей одного вида — факт общеизвестный и повседневный. Примечательно, однако, что в оценке этого факта часто исходят из независимости особей друг от друга, считая, что их вынуждает к ассоциации сходство потребностей в определенных условиях жизни: «Причина образования скоплений тривиальна: организмы приспособляются к определенному комплексу условий среды, и естественно, что одинаково приспособленные особи стремятся скопиться в одной и той же экологической нише.» (Меттлер, Грегг, 1972, стр. 55).

Однако в скоплениях особей одного вида можно подметить явления и выявить процессы, говорящие о внутренне присущей виду взаимной зависимости особей, о связи, смысл которой не в том приспособлении, которое вынужденно ущемляет и подавляет реализацию потребностей особи, а в автоматике процессов, обеспечивающих стабильность и надежность развития популяции — тем самым процветание вида. Изучая скопления одноклеточных планктонных водорослей *Платимонас* (*Platymonas viridis* Rouch.), мы наблюдали движение клеток к источнику света не «облаком» и не фронтально с распределением «в цепь», а как бы колоннами — причем не обязательно по прямой, а с некоторым отклонением и с временным разделением «колонны» на ветви, которые затем соединялись вновь. Такое движение исключает статистику процесса, основанного на полной независимости его составляющих — напрашивалась мысль о связи, о системе сигналов от клетки к клетке в ходе их движения к свету.

Прямой путь к свету для клеток не самый короткий. Оставляя временно биофизическую интерпретацию такого явления, можно допустить, что сигналом клетке о выгодном направлении на пути к источнику света может быть выделение клетками углекислоты (градиент освещенности «подчеркивается» усиленным дыханием впереди идущих клеток и вызывает хемотаксис к пище у следующих за ними).

Не исключено, однако, что последующий анализ откроет более сложную связь. Известно, что в ходе фотосинтеза водные растения и фитопланктон существенно (от 7 до более чем 12!) меняют в среде их развития значения рН (Баас-Беккинг и др., 1963). Известно также, что многие необходимые для их жизни микроэлементы (в нашем случае марганец) переходят при высоких значениях рН в такое химическое и агрегатное состояние, что далее не могут уже поступать в организм. В наших опытах с культурой *Платимонас* повышение рН от 7,8 до 10 имело место даже до первого деления клеток, внесенных на свежую питательную среду. Высокие значения рН (до 11,6!) были найдены в межклеточном слое воды в покоящейся культуре по достижении максимума биомассы.

При этом среда культивирования заметно опалесцировала — в ней накапливались продукты жизнедеятельности клеток. Качественный химический анализ показывает, что в этом случае среда содержит ряд соединений: аминокислоты, органические кислоты, жиры, липиды и т. д. Помимо прямого действия восстановительного фотосинтеза (Баас-Беккинг и др., 1963), это не может не влиять на рН в среде обитания водорослей. Мы провели детальный сравнительный анализ развития популяции *Платимонас* и динамики рН в среде культивирования, считая, что вклад продуктов жизнедеятельности клеток (совокупно «метаболит», или «аутометаболит») в величину рН среды реален. Опыт включал варианты с добавкой метаболита и микроэлемента (марганец) в среду культивирования водорослей.

Опыт показал, что рН в воде, содержащей клетки, повышается по крайней мере в двух случаях: прежде всего при переносе клеток на свежую среду, не содержащую метаболита; далее, подъемы рН в приклеточном слое воды имеют место перед делением клеток. Вместе с тем после деления рН в приклеточном слое резко падает, а появление в культуре заметного количества молодых подвижных клеток делает это явление заметным в масштабах всей среды культивирования (рис. 1).

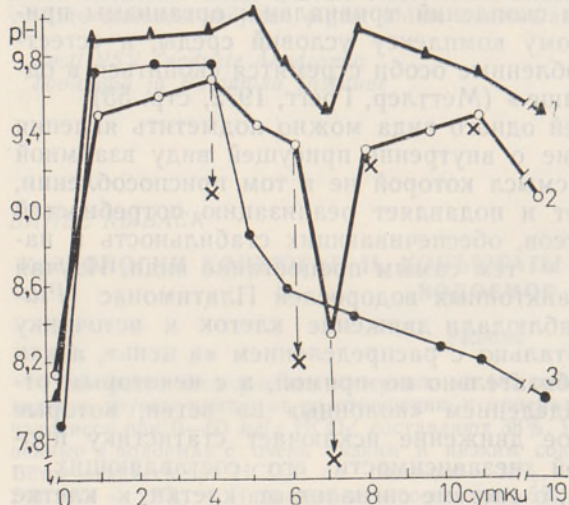


Рис. 1. Динамика изменения рН в среде культивирования водорослей. 1 — культура на среде Аллена-Нельсона (с добавкой азота и фосфора в океаническую воду); 2 — культура на океанической воде; 3 — культура на искусственной морской воде (без микроэлементов; остановка развития через неделю). Лаг-фаза до 4—5 дней, далее до 8 дней логарифмическая фаза роста, затем линейная фаза и выход на «плато». Стрелками и крестиками отмечены уровни падения рН в местах скопления подвижных клеток.

Сопоставление указанных моментов с тем фактом, что по достижении стационарного состояния культура переходит (в закрытой системе) в состояние аутоконсервации — при этом рН в межклеточной среде достигает особо высоких значений, позволяет считать, что в ходе развития клеток и культуры в целом в популяции действует гуморальная обратная связь. Продукты обмена влияют через динамику рН в среде на форму нахождения в ней необходимых клеткам элементов — на примере поступления марганца (важного биокатализатора у *Платимонас*) это можно представить следующим образом. По достижении максимума биомассы (по исчерпанию в среде в первую очередь азота и фосфора) высокие значения рН, обеспеченные накоплением в ней аутометаболита, делают дальнейшее поступление марганца в клетки невозможным. То же происходит при переносе клеток на новую среду: они в порядке стресс-эффекта выбрасывают в приклеточный слой воды метаболиты, повышающие рН до 10 (при 9,3 марганец из ионного состояния переходит в коллоидное и неусвояем). Особо важен момент перехода от лаг-фазы к логарифмической фазе роста: в данном случае, как и позднее

перед каждым делением, клетки защищены через метаболит высоким значением рН от поступления биокатализатора, в данном случае — марганца. С другой стороны, после деления юные клетки способны резко снижать рН в среде обитания (через активное дыхание, но, возможно, и путем выделения собственного метаболита). Следствием этого является переход марганца в усвояемую форму и поступление его в клетки.

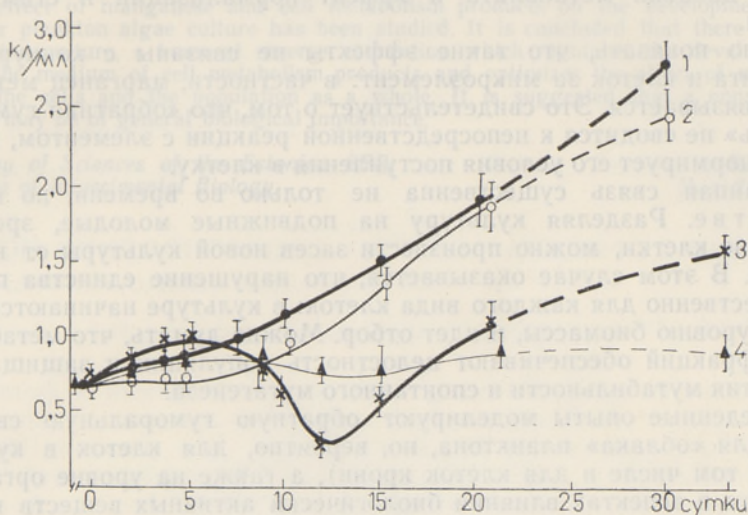


Рис. 2. Накопление биомассы на среде с добавкой марганца. 1 — культура на среде Аллена-Нельсона с добавкой марганца (200 мкг/л); 2 — то же без добавки марганца; 3 — добавка марганца в «голодную» среду (азот и фосфор только за счет распада части клеток); 4 — то же без добавки марганца.

Итак, постулируемая обратная связь должна во времени действовать таким образом: юные клетки (метаболизм) — снижение рН и поступление нужного вещества (марганец); накопление нужного вещества — созревание клеток (метаболизм) — повышение рН — блокада поступления марганца. Далее новое деление и новая волна обратной связи. По истощении питательных веществ — аутоконсервация через обратную связь в масштабах всей культуры. Последнее подтверждается развитием популяции в присутствии марганца, но без существенной добавки азота и фосфора (рис. 2).

Вместе с тем, в присутствии аутометаболита даже высокие концентрации марганца, на 4 порядка превышающие его содержание в океанической воде, не производят токсического эффекта (рис. 3). На рис. 3 приводится обобщенная оценка развития культуры *Платимонас* в случае добавки марган-

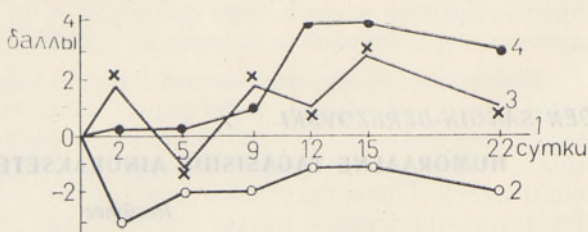


Рис. 3. Плюс-минус-балльная статистическая оценка развития культуры водорослей в присутствии «аутометаболита» и с добавкой марганца (2 мг/л). 1 — линия отсчета — развитие на среде Аллена-Нельсона без добавки марганца и «аутометаболита»; 2 — то же с добавкой марганца; 3 — то же с добавкой метаболита; 4 — то же с добавкой марганца и метаболита. Начало развития при рН 8,60. Обобщенный эффект воздействия по показателям количества нормальных, подвижных, делящихся клеток и по общему количеству клеток в популяции.

ца в отсутствие и в присутствии метаболита (плюс—минус балльная оценка развития по показателям развития биомассы: количества нормальных, делящихся, подвижных и общего количества клеток от засева до выхода на «плато» — Шангин-Березовский, 1973). Аутометаболит вносили путем добавки 30% старой среды культивирования, лишенной клеток. Как можно видеть, резко токсичный эффект марганца переходит в случае добавки метаболита в эффект нормализации и стимуляции развития.

Можно показать, что такие эффекты не связаны с конкуренцией метаболита и клеток за микроэлемент: в частности, марганец метаболитом не связывается. Это свидетельствует о том, что «обратная гуморальная связь» не сводится к непосредственной реакции с элементом, а качественно нормирует его условия поступления в клетку.

Указанная связь существенна не только во времени, но в пространстве. Разделяя культуру на подвижные молодые, зрелые и стареющие клетки, можно произвести засев новой культуры от каждой фракции. В этом случае оказывается, что нарушение единства популяции существенно для каждого вида клеток: в культуре начинаются «бие-ния» по уровню биомассы, и идет отбор. Можно думать, что метаболиты разных фракций обеспечивают целостность популяции и защищают ее от развития мутабельности и спонтанного мутагенеза.

Проведенные опыты моделируют обратную гуморальную связь не только для «облака» планктона, но, вероятно, для клеток в культуре ткани (в том числе и для клеток крови), а также на уровне организма как целого в аспектах влияния биологически активных веществ на развитие нормы и патологии и на мутационный процесс в популяции.

## ЛИТЕРАТУРА

- Меттлер Л., Грегг Т., 1972. Генетика популяций и эволюция. М.  
 Баас-Беккинг Л. Г. М., Каплан И. Р., Мур Д., 1963. Пределы колебаний рН и окислительно-восстановительных потенциалов природных сред. В сб.: Геохимия литогенеза. М.: 11—84.  
 Шангин-Березовский Г. Н., 1973. Плюс—минус балльная оценка эффекта воздействия как средство анализа гетерогенности популяций. В сб.: Биометрические методы. М. (В печати).

Институт экспериментальной биологии  
 Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию  
 21/V 1973

GEN SANGIN-BEREZOVSKI

## HUMORAALNE TAGASISIDE AINURAKSETE POPULATSIOONIDES

### Resümee

Mangaani ja raku ainevahetusproduktide toime uurimine üherakuliste planktonivetikate arenemisele kultuuris näitas, et planktonipopulatsioonis esineb humoraalne tagasiside, mis reguleerib elukeskkonda laskuvate raku ainevahetusprotsesside produktide kaudu rakkude arenemist ning optimeerib mangaani toimet nii rakkudele kui ka populatsioonile tervikuna. Sellist tüüpi sised on nähtavasti üldbioloogilist laadi.

Eesti NSV Teaduste Akadeemia  
 Eksperimentaalioloogia Instituut

Toimetusse saabunud  
 21. V 1973

GEN SHANGIN-BEREZOVSKY

## HUMORAL REVERSE CONNECTION IN THE POPULATIONS OF UNICELLULARS

## Summary

The effect of manganese and cell metabolism products on the development of the unicellular plankton algae culture has been studied. It is concluded that there exists, in the plankton culture, a humoral reverse connection which regulates the development of cells by the medium of cell metabolism products and optimizes the effect of manganese both on the cells and the population as a whole. It is suggested that a connection of that kind may be of general biological importance.

Academy of Sciences of the Estonian SSR,  
Institute of Experimental Biology

Received  
May 21, 1973