

ГИДРОБИОЛОГИЯ

А. Г. РОДИНА и А. С. ТРОШИН

**ПУТЬ ФОСФОРА, ВНОСИМОГО В ПРУДОВУЮ ВОДУ
С РАСТИТЕЛЬНЫМ УДОБРЕНИЕМ**

(Представлено академиком Е. Н. Павловским 16 VII 1954)

При загрузке в рыбоводные пруды даже больших количеств травы в качестве удобрения органогены (особенно фосфор) в воде даже в самой зоне удобрения, как правило, химическими методами исследования совершенно не обнаруживаются. Выяснение путей различных соединений, отдаваемых в воду травой, а также ряда других вопросов, связанных с удобрением прудов и питанием рыбы в прудовых хозяйствах, может быть успешно решено при помощи метода меченых атомов.

Предметом настоящей работы является выяснение ближайшей судьбы фосфора, вносимого с травой в прудовую воду. Для выяснения скорости процесса отдачи травой в воду фосфорных соединений и поглощения их микроорганизмами были проведены две серии экспериментов. В качестве индикатора был взят радиоактивный фосфор P^{32} .

Отобранные для опытов стебли и листья клевера были подвялены, как это обычно делается перед внесением травы в пруды, и погружены в два аквариума с профильтрованной через бумажный фильтр прудовой водой в количестве по 100 г подвяленной травы на 1 л воды. Радиоактивность воды в первом аквариуме была доведена до 1 мк/л, во втором до 0,1 мк/л. Радиоактивный фосфор вносился в воду в виде раствора K_2HPO_4 . В этих аквариумах трава находилась 18 час., после чего она была трижды промыта в чистой прудовой воде и перенесена в два других аквариума, содержащих по 3 л профильтрованной прудовой воды без радиоактивного фосфора.

Из всех аквариумов через определенные промежутки времени брались пробы травы, воды и бактерий. Пробы воды для анализа помещались в латунные тарелочки объемом 0,1 мл и выпаривались досуха. Трава предварительно высушивалась, растиралась в порошок в агатовой ступке и по 30 мг такого порошка переносилось в тарелочки. Все тарелочки с радиоактивными пробами заворачивались в тонкую алюминиевую фольгу, после чего при помощи счетчика Гейгера — Мюллера определялось число импульсов в пробе. Радиоактивность массы бактерий, развившихся в воде аквариумов, определялась путем подсчета импульсов высушенных фильтров со сконцентрированными на них бактериями. При концентрации бактерий на фильтрах проводилось промывание их водой, лишенной бактерий, для удаления с поверхности клеток растворов, могущих содержать радиоактивный изотоп.

Во всех случаях вносилась поправка на распад фосфора и на поглощение β -частиц в массе проб. При взятии проб отбирались отдельные экземпляры растений для изготовления радиоавтографов. Все эксперименты были проведены при температуре воздуха от 23 до 34° и температуре воды от 26 до 31,5°.

В момент перенесения клевера из первых аквариумов во вторые растения полностью сохраняли свой внешний вид и не носили следов

разложения (см. рис. 1, *а* и *б*). Процесс разложения травы развился весьма интенсивно уже во вторых аквариумах (без изотопов). Листья и стебли клевера постепенно утрачивали свой внешний вид и через 7 суток превратились в бесформенную массу, лежащую на дне сосуда и издающую сильный запах сероводорода. Вода в аквариумах стала мутной от большого количества развившихся в ней бактерий. К концу опыта в обоих аквариумах развилась мощная бактериальная пленка.

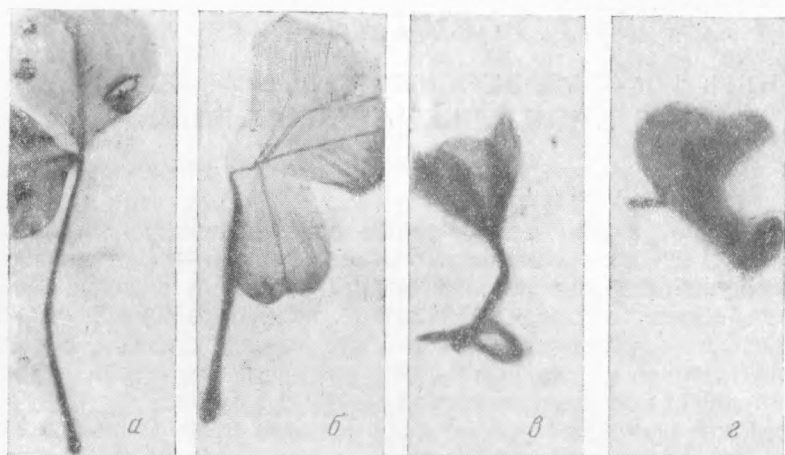


Рис. 1. Радиоавтографы растений клевера. *а* и *б* — растения при переносе их из первых аквариумов во вторые; *в* — через 5 суток после начала разложения; *г* — в конце опыта

Первая половина опыта показала, что трава интенсивно поглощает радиоактивный фосфор из окружающего ее раствора. Это видно по кривым нарастания радиоактивности проб клевера, представленным на

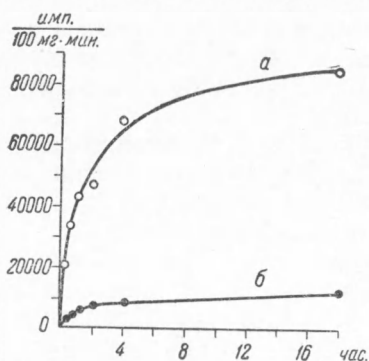


Рис. 2. Кривые поглощения P^{32} травой из раствора. *а* — раствор с 1 мк/л P^{32} ; *б* — раствор с 0,1 мк/л P^{32}

рис. 2. Наиболее быстрое поглощение травой активного фосфора наблюдается в первые 5 час.; через 18 час. процесс этот почти полностью прекращается. По радиоавтографам видно, что местом поступления фосфора в растения были срезы стеблей и повреждения в листьях (рис. 1 *а* и *б*). Поступивший в растения через срезы стеблей фосфор распределяется в листьях по сосудистой системе.

После перенесения травы из первых аквариумов в воду без радиактивного фосфора начался обратный процесс отдачи травой фосфора в воду (см. рис. 3). Основная масса лабильного фосфора поступает из растений в воду в первые 2—4 часа, после чего отдача фосфора клевером в окружающую среду становится незначительной.

Кривые рис. 4 показывают изменения радиоактивности прудовой воды после погружения в нее травы, предварительно находившейся в растворе с $K_2HPO_4^{32}$ с активностью 1 мк/л, и развившихся в ней бактерий. Ход кривой *а* указывает на то, что в первое время радиоактивность среды очень сильно возрастает за счет выхода лабильного фосфора из растений. В дальнейшем кривая радиоактивности среды растет медленно. Одновременно с этим наблюдается увеличение числа бактерий в среде (кривая *б*)

и возрастание радиоактивности их массы, сконцентрированной на мембранном фильтре (кривая *в*).

С увеличением числа бактерий и с возрастанием их радиоактивности концентрация активного фосфора в отфильтрованной среде (без бактерий) падает и к 72 час. доходит до очень малой величины (кривая *г*). Измерения, проведенные в конце опыта, показывают, что 1 мл фильтрованной среды дает 200 имп/мин, а нефильтрированной 5510, тогда как вначале (через 2 часа после перемещения травы из раствора с радиоактивным фосфором в нерадиоактивную воду) нефильтрированная (с бактериями) и фильтрованная (без бактерий) пробы среды давали почти одинаковое количество импульсов (в среднем около 2500 имп/мин).

Аналогичная картина распределения радиоактивного фосфора в среде между травой, бактериями и водой наблюдалась и в другой серии (с 0,1 мл/л P^{32}) (см. рис. 4 Б). Радиоавтографы травы (рис. 1, *в* и *г*) показывают, что по мере того, как бактерии развиваются в тканях клевера, пронизывая их сплошь, меняется картина распределения радиоизотопа в листьях. Фосфор в это время равномерно распределен в тканях листьев, находясь уже не в них самих, а в телах бактерий.

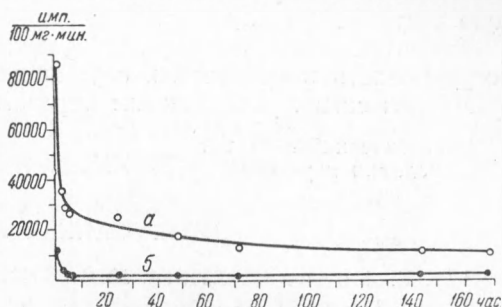


Рис. 3. Кривые отдачи P^{32} травой в среду. *а* — трава предварительно находилась в растворе с 1 мк/л P^{32} ; *б* — то же с 0,1 мк/л P^{32}

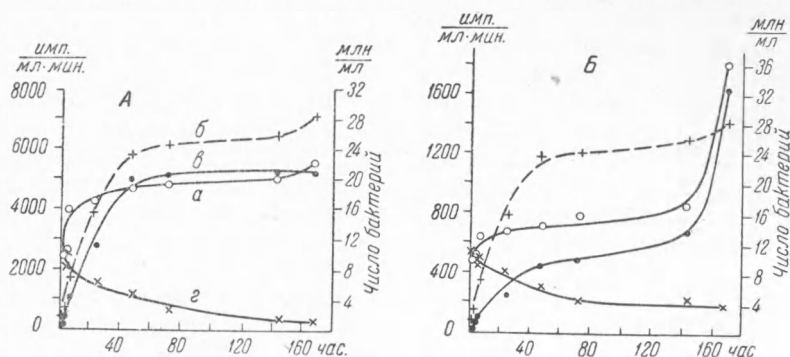


Рис. 4. Кривые распределения радиоактивного фосфора между средой и бактериями. Среда — прудовая вода с травой, предварительно находившейся в растворе с 1 мк/л (А) и 0,1 мк/л P^{32} (Б). *а* — среда с бактериями — на 1 мл; *б* — рост числа бактерий во времени; *в* — бактерий, находящихся в 1 мл среды; *г* — профильтрованная среда (без бактерий) — на 1 мл

За весь срок наблюдений не было отмечено отдачи фосфора в воду поглощавшими его бактериями. Пленка, развивавшаяся на поверхности воды в аквариумах, обнаруживала также высокую радиоактивность (54 889 имп/мин на 100 мл сухого веса в аквариумах с травой низкой радиоактивности и 263 062 имп/мин в аквариуме с травой более высокой радиоактивности). Эти наблюдения полностью соответствуют наблюдениям Лароу, Мосли и Вишофф (²) относительно поглощения фосфора культурами *B. coli* и длительного задержания его в клетках.

Таким образом, проведенные эксперименты показывают, что фосфор *, вносимый с травой в прудовую воду, быстро переходит в окружающую среду и здесь почти нацело перехватывается бактериями, которые в большом количестве развиваются в этих условиях.

Можно думать, что в прудах при внесении растительной массы в качестве удобрения, когда в зоне внесения развиваются в короткий промежуток времени миллионы бактерий на 1 мл (¹), они потребляют подавляющую часть фосфора, который отдает в воду трава.

Таким образом, фосфорные соединения, вносимые в пруд с травой, могут попасть в организмы, служащие кормом рыбам, а через них и в организмы самих рыб главным образом через бактерий.

Зоологический институт
Академии наук СССР

Поступило
5 II 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Г. Родина, ДАН, 84, № 6 (1952). ² L. W. Larow, V. N. Mosley, R. Wischoff, J. Bacter., 52, No. 2 (1950).

* При выдерживании подвяленной травы в растворе радиоактивной соли $K_2H^{32}O_4$ поступающий из окружающей среды в растения фосфор мог частично включаться в органические соединения тканей листьев. Ввиду этого бактерии в наших условиях опыта поглощали не только минеральный радиоактивный фосфор, но и радиоактивный органический фосфор.